

Cofinanțat de  
Uniunea Europeană



Acest proiect a fost pregătit pentru Spitalul Clinic de Recuperare Iași, Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași și Ordinul Asistenților Medicali Generaliști, Moașelor și Asistenților Medicali din România – Filiala Iași și reflectă opinia autorilor.

Acest material nu reprezintă poziția CE sau a Guvernului României, care nu poartă răspunderea modului în care informația conținută în acest ghid ar putea fi utilizată.

ELENA REZUȘ



Cofinanțat de  
Uniunea Europeană



GHID PENTRU INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN RECUPERARE

„FORSAN – Formare pentru sănătate –  
sprijinirea recuperării eficiente în sistemul spitalicesc”

Cod SMIS 349197

Proiect cofinanțat din Fondul Social European  
Plus (FSE+) prin Programul Sănătate

Contract de finanțare nr. 100625/29.08.2025

SPITALUL CLINIC DE RECUPERARE IAȘI,

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
„GRIGORE T. POPA” DIN IAȘI

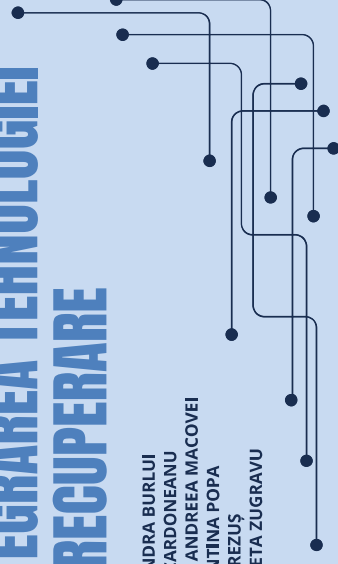
ORDINUL ASISTENȚILOR MEDICALI GENERALIȘTI, MOAȘELOR  
ȘI ASISTENȚILOR MEDICALI DIN ROMÂNIA – FILIALA IAȘI

Februarie 2026

COORDONATOR: ELENA REZUȘ

## GHID PENTRU INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN RECUPERARE

ALEXANDRA BURLUI  
ANCA CARDONEANU  
LUANA ANDREEA MACOVEI  
FLORENTINA POPA  
ELENA REZUȘ  
GEORGETA ZUGRAVU



UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
GRIGORE T. POPA IAȘI



2026

**Coordonator:**  
**Elena Rezuș**

**Colectiv de autori:**  
Alexandra BURLUI  
Anca CARDONEANU  
Luana Andreea MACOVEI  
Florentina POPA  
Elena REZUȘ  
Georgeta ZUGRAVU

# **GHID PENTRU INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN RECUPERARE**

**2026**



## **Colectiv de autori (în ordine alfabetică):**

### **Alexandra BURLUI**

Şef lucrări Dr.

*Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” Iași*

Medic primar reumatologie

Doctor în Medicină

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*

### **Anca CARDONEANU**

Şef lucrări Dr.

*Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” Iași*

Medic primar reumatologie

Doctor în Medicină

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*

### **Luana Andreea MACOVEI**

Conf. Univ. Dr.

*Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” Iași*

Medic primar reumatologie

Medic primar recuperare, medicină fizică și balneologie

Doctor în Medicină

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*

### **Florentina POPA**

Medic primar epidemiologie

Medic specialist recuperare, medicină fizică și balneologie

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*

### **Elena REZUȘ**

Prof. Univ. Dr.

*Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” Iași*

Medic primar reumatologie

Medic primar recuperare, medicină fizică și balneologie

Doctor în Medicină

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*

### **Georgeta ZUGRAVU**

Medic primar reumatologie

Medic primar recuperare, medicină fizică și balneologie

Doctor în Farmacie

*Spitalul Clinic de Recuperare Iași*



## PREFAȚĂ

Ultimele decenii au fost marcate de o accelerare fără precedent a progreselor din domeniul tehnologiilor digitale, al roboticii și al inteligenței artificiale, cu un impact profund asupra întregului sistem medical. Recuperarea medicală, prin natura sa interdisciplinară și orientată spre funcționalitate și calitatea vieții pacientului, se află printre domeniile în care aceste transformări sunt deosebit de vizibile.

Modalitățile prin care sunt evaluate deficitale funcționale, prin care sunt planificate intervențiile terapeutice și monitorizată evoluția pacienților se schimbă într-un ritm susținut. Integrarea tehnologiilor moderne în practica de recuperare medicală aduce beneficii semnificative atât pentru pacient, cât și pentru profesionistul din sănătate. Dispozitivele moderne permit o dozare mai precisă a efortului terapeutic, o personalizare crescută a intervențiilor și o monitorizare continuă a progresului. În același timp, aceste soluții pot crește motivația pacientului, pot facilita implicarea activă în procesul de recuperare și pot extinde accesul la servicii specializate dincolo de limitele fizice ale instituțiilor medicale.

Cu toate acestea, entuziasmul generat de inovație este însoțit de o serie de provocări reale. Una dintre cele mai importante este selecția adecvată a soluțiilor terapeutice dintre numeroasele tehnologii disponibile, într-un context în care oferta evoluează rapid, iar nivelul dovezilor științifice este adesea neconcludent. În prezent, unul dintre obstacolele majore în utilizarea optimă a tehnologiei în recuperare este lipsa unor repere standardizate clare. În absența unor recomandări bine definite, aplicarea acestor soluții este adesea neuniformă, dependentă în mare măsură de experiența individuală a clinicianului, de resursele locale și, uneori, insuficient fundamentată științific. Această variabilitate poate conduce la rezultate inconstante și la dificultăți în compararea datelor sau în integrarea tehnologiei în modele coerente de îngrijire.

Pornind de la aceste realități, prezentul ghid a fost elaborat cu scopul de a oferi profesioniștilor din domeniul recuperării medicale un cadru de orientare în utilizarea tehnologiilor moderne. El își propune să faciliteze înțelegerea principiilor de bază, a indicațiilor și limitărilor principalelor categorii de soluții tehnologice, să sprijine integrarea lor rațională și sigură în practica clinică și să contribuie la dezvoltarea unei abordări mai unitare, bazate pe dovezi și pe bune practici.

Doresc să adresez sincere mulțumiri tuturor colegilor care au contribuit la apariția acestei publicații, pentru expertiza, timpul și dedicarea lor. Prin efortul lor comun, acest ghid devine nu doar un instrument profesional, ci și o expresie a colaborării necesare pentru a aduce inovația, în mod responsabil, în slujba pacientului.

*Prof. Univ. Dr. Elena Rezuș*



## Cuprins

1. PRINCIPII GENERALE DE IMPLEMENTARE A TEHNOLOGIILOR ÎN REABILITARE .....	3
Introducere .....	3
Integrarea tehnologiilor în reabilitare: condiții necesare .....	4
1.1. Cadru legal și administrativ .....	4
1.2. Principii etice și de confidențialitate .....	4
1.3. Principii clinice .....	4
1.4. Principii tehnice .....	5
1.5. Alte condiții necesare .....	6
2. ROLUL TENHNOLOGIILOR ÎN EVALUARE.....	9
Introducere .....	9
Obiective ale utilizării tehnologiilor pentru monitorizare .....	9
2.1. Rolurile membrilor echipei în evaluare .....	10
2.2. Tehnologii utilizate în evaluare .....	12
2.3. Integrarea cu Clasificarea Internațională a Funcționării, Dizabilității și Sănătății (ICF) .....	34
2.4. Evaluări standardizate .....	38
3. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA APARATULUI LOCOMOTOR .....	45
Definiție .....	45
Obiective .....	45
3.1. Tipuri de tehnologii .....	46
1. Tehnologii robotice și exoschelete .....	47
2. Realitate virtuală, realitate augmentată, realitatea mixtă.....	48
3. Tehnologii de stimulare electrică/neuromodulare .....	48
4. Sisteme de analiză a mișcării și biofeedback .....	50
5. Aplicații digitale și platforme de telereabilitare.....	50
3.2. Caracteristici, efecte, indicații, contraindicații, mod de aplicare .....	51
1. Dispozitive robotice pentru membrele superioare .....	51

2. Exoschelete pasive pentru membrele inferioare (exoschelete pasive pentru genunchi sau șold-orteze șold sau genunchi, exoschelete pentru antrenament static).....	103
3. Sisteme robotizate pentru mers.....	111
4. Tehnologii cu laser terapeutic, câmp electromagnetic, cu unde de șoc extracorporeale .....	166
4. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA CARDIOVASCULARĂ .....	185
Definiție .....	185
Evoluția reabilitării cardiovasculare .....	185
Obiective .....	187
Indicații .....	188
Fazele programului de reabilitare cardiovasculară.....	190
4.1. Faza 1 (inpatient) a reabilitării cardiovasculare.....	192
4.2. Faza 2 (outpatient) a reabilitării cardiovasculare.....	219
4.3. Faza 3 (de menținere) a reabilitării cardiovasculare .....	238
5. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA NEUROLOGICĂ ...	249
5.1. Interfețe creier-computer .....	252
5.2. Realitatea virtuală și realitatea augmentată .....	259
5.3. Robotica și dispozitivele asistate robotic.....	264
5.4. Neuroprotezele inteligente și dispozitivele asistate de AI.....	270
5.5. Sistemele AI-Enhanced .....	276
5.6. Telereabilitarea sau telemedicina .....	281
5.7. Dispozitive portabile ( <i>wearables</i> ) și senzori .....	284
5.8. Ingineria neuromorfică.....	287
5.9. Importanța ghidurilor internaționale în reabilitarea neurologică .....	292
5.10. Integrarea tehnologiilor în recuperarea neurologică în România: o privire de ansamblu .....	294

# 1. PRINCIPII GENERALE DE IMPLEMENTARE A TEHNOLOGIILOR ÎN REABILITARE

## Introducere

Implementarea tehnologiilor în monitorizarea și tratamentul pacienților candidați pentru programe de reabilitare medicală se bazează pe câteva principii generale esențiale menite să asigure eficacitatea intervenției și siguranța pacientului.

Metodele tehnologizate de evaluare și tratament utilizate (ex. dispozitive cu senzori, platforme de telemedicină, aparatură utilizată în terapie – inclusiv roboți și sisteme de realitate virtuală) trebuie să fie validate științific. În acest sens, menționăm existența dovezilor clare privind acuratețea evaluării, caracterul reproductibil al măsurătorilor și impactul pozitiv (dovedit) asupra rezultatelor funcționale.

Selecția tehnologiilor se realizează în funcție de obiective clinice realiste, în funcție de particularitățile pacientului (diagnostic, comorbidități, complicații și alte date relevante) și în funcție de resursele disponibile. Un alt principiu important este integrarea armonioasă a tehnologiilor în circuitul clinic existent în așa fel încât utilizarea lor să completeze raționamentul clinic.

De asemenea, aplicarea diverselor tehnologii în reabilitarea medicală trebuie să respecte principiile de etică și confidențialitate (ex. informarea pacientului cu privire la diagnostic, prognostic funcțional și intervenții, semnarea consimțământului informat, măsuri de protecție a datelor), alături de alte măsuri pentru siguranța pacientului (ex. buna funcționare a aparaturii, respectarea regulilor de igienă, asepse și antisepsie).

Nu în ultimul rând, este esențială pregătirea specifică a echipei medicale pentru particularitățile utilizării tehnologiilor, presupunând un proces structurat de formare și dezvoltare continuă a membrilor. Întreaga echipă medicală (medic, asistent medical, kinetoterapeut, asistent de fizioterapie, infirmieră, brancardier) contribuie la implementarea și monitorizarea programului de recuperare, asigurând o abordare integrată și centrată pe nevoile pacientului.

## **Integrarea tehnologiilor în reabilitare: condiții necesare**

Diverse tipuri de tehnologii pot fi utilizate în reabilitare, de la selecția pacienților (ex. consultații cu ajutorul platformelor de telemedicină) până la terapia propriu-zisă și monitorizarea pe parcursul și post-tratament. Pentru implementarea tehnologiilor este necesară respectarea anumitor condiții și principii, după cum urmează: *cadru legal și administrativ, principii etice și de confidențialitate, principii clinice, principii tehnice, alte condiții necesare.*

### **1.1. Cadru legal și administrativ**

- Standarde europene, naționale și regionale (respectarea reglementărilor pentru actele medicale și pentru utilizarea tehnologiilor);
- Existența unei infrastructuri adaptate.

### **1.2. Principii etice și de confidențialitate**

- Informarea pacientului (și, după caz, a familiei și/sau îngrijitorilor);
- Semnarea consimțământului informat;
- Asigurarea confidențialității datelor (respectarea măsurilor de protecție a datelor pe tot parcursul îngrijirii) – GDPR (*General Data Protection Regulation*);
- Respectarea măsurilor de siguranță a pacientului pe tot parcursul îngrijirii (ex. selecția unor metode de evaluare și tratament tehnologizate care să nu dăuneze pacientului, sistarea utilizării tehnologiei în cazul apariției unor efecte adverse sau complicații).

### **1.3. Principii clinice**

- Stabilirea diagnosticului de certitudine și a diagnosticului funcțional, notarea altor particularităților clinice și paraclinice relevante (ex. comorbidități, complicații, istoric de alergii, preferințe ale pacientului);
- Stabilirea obiectivelor de tratament și evaluare (bine definite, adaptate la caz);

- Stabilirea strategiei terapeutice personalizate (pentru evaluare și tratament, în funcție de caz), inclusiv durata tratamentului, recomandări de reevaluare și de repetare a curei (sau continuare a unor programe la domiciliu);
- Justificarea utilizării unei anumite tehnologii pentru monitorizare/tratament (stabilirea indicațiilor și contraindicațiilor);
- Alegerea unor tehnologii validate științific și în conformitate cu reglementările în vigoare;
- Respectarea cadrului legal și de protecție a datelor;
- Respectarea principiilor etice (ex. informarea pacientului/apartinătorilor în legătură cu fiecare din etapele programului de recuperare, semnarea consimțământului informat, asigurarea siguranței pacientului pe parcursul fiecărei etape a terapiei de reabilitare – evaluare/tratament);
- Adaptarea intervențiilor în funcție de caz, cu ajustarea strategiei pe parcursul evoluției.

#### **1.4. Principii tehnice**

- Disponibilitatea tehnologiilor și infrastructurii necesare implementării;
- Disponibilitatea personalului instruit pentru utilizarea unor tehnologii specifice;
- Utilizarea unor tehnologii aprobate pentru utilizare în Uniunea Europeană, de exemplu cu marcaj CE (*Conformité Européenne*) și în conformitate cu MDR (*Medical Device Regulation*);
- Buna funcționare a aparaturii utilizate (ex. mentenanța efectuată corect, la zi);
- Buna funcționare a resurselor utilizate de tehnologie (ex. sursa de curent electric, rețea Internet, sursa de apă);
- Existența unui sistem de suport tehnic disponibil în cadrul instituției unde se desfășoară programul de recuperare;
- Respectarea regulilor de igienă, aseptie și antisepsie, în funcție de situație;
- Respectarea reglementărilor legale, a regulilor de etică și confidențialitate;
- Respectarea normelor de securitate și sănătate în muncă (SSM);
- Asigurarea siguranței pacientului și a personalului implicat.

## 1.5. Alte condiții necesare

- Spații dedicate utilizării anumitor tehnologii (după caz, ex. spațiu dedicat testării de efort la cicloergometru, spații dedicate utilizării roboților pentru reabilitarea neuromotorie);
- Nivel minim de educație digitală a personalului;
- Nivel minim de educație digitală a pacientului (ex. telemedicină – inclusiv aplicații, dispozitive cu utilizare la domiciliu);
- Asigurarea accesibilității pentru pacienți cu diferite tipuri de dizabilități (ex. cecitate);
- Integrarea tehnologiilor în fluxurile de lucru existente și în sistemele informatice utilizate (ex. interoperabilitate cu dosarul medical electronic, modalități clare de documentare a intervențiilor);
- Mecanisme de monitorizare și ameliorare continuă a calității serviciilor medicale (ex. indicatori specifici pentru utilizarea tehnologiilor, colectarea datelor de feedback din partea pacienților și personalului, audit periodic);
- Asigurarea resurselor financiare necesare (ex. costuri de achiziție, mentenanță, licențe software, consumabile) și a unui model sustenabil de decontare/finanțare.

Implementarea tehnologiilor în cadrul programelor de reabilitare presupune accesul la aparatură modernă alături de respectarea cumulativă a unui ansamblu de condiții legale, etice, clinice, tehnice și organizatorice.

Un cadru juridic clar, protecția datelor și siguranța pacientului reprezintă fundamente ale utilizării responsabile a tehnologiilor în contextul terapiei de recuperare. De asemenea, este importantă integrarea tehnologiilor în strategia terapeutică individualizată (pe baza unor obiective bine definite și a utilizării unor metode validate științific).

Disponibilitatea infrastructurii adecvate, a personalului instruit și a unor spații și resurse adaptate asigură funcționarea optimă și continuă a intervențiilor de reabilitare medicală. Succesul implementării tehnologiilor în acest context depinde de colaborarea dintre membrii echipei medicale, de comunicarea și colaborarea eficientă cu pacientul (și cu familia sau îngrijitorii, dacă este cazul), de educația digitală minimă a tuturor celor implicați și de monitorizarea continuă a calității actului medical.

## Bibliografie

1. Alexander M, editor. *Telerehabilitation, E-Book: Principles and Practice*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2021.
2. Alfieri FM, da Silva Dias C, de Oliveira NC, Battistella LR. Gamification in musculoskeletal rehabilitation. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2022 Dec;15(6):629-36.
3. American Physical Therapy Association. *Telehealth in Physical Therapy* [Internet]. APTA; 2020–2023. Available from: <https://www.apta.org/patient-care/telehealth-practice> [Accesat: 27 octombrie 2025].
4. European Union. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council (General Data Protection Regulation) [Internet]. Off J Eur Union. 2016. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj> [Accesat: 27 octombrie 2025].
5. European Union. Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2017 on medical devices, amending Directive 2001/83/EC, Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385/EEC and 93/42/EEC [Internet]. Off J Eur Union. 2017 May 5 [cited 2025 Dec 9];L117:1–175. Available from: <https://www.medical-device-regulation.eu/download-mdr/> [Accesat: 27 octombrie 2025].
6. Golbus JR, Lopez-Jimenez F, Barac A, Cornwell III WK, Dunn P, Forman DE, Martin SS, Schorr EN, Supervia M. Digital technologies in cardiac rehabilitation: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation*. 2023 Jul 4;148(1):95-107.
7. Gower V, Aprile I, Falchini F, Fasano A, Germanotta M, Randazzo M, Spinelli F, Trieste L, Gramatica F, Turchetti G. Cost analysis of technological vs. conventional upper limb rehabilitation for patients with neurological disorders: an Italian real-world data case study. *Front Public Health*. 2024 Oct 14;12:1445099.
8. Kraus S, Schiavone F, Pluzhnikova A, Invernizzi AC. Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research. *J Bus Res*. 2021 Feb 1;123:557-67.
9. Mennella C, Maniscalco U, De Pietro G, Esposito M. Ethical and regulatory challenges of AI technologies in healthcare: A narrative review. *Heliyon*. 2024 Feb 29;10(4).
10. Moumdjian L, Moens B, Maes PJ, Leman M. Rehabilitation and patient perspectives with virtual reality and augmented feedback in multiple sclerosis and stroke. *Disabil Rehabil*. 2020;42(9):1199–1205.

11. Nizeyimana E, Joseph C, Plastow N, Dawood G, Louw QA. A scoping review of feasibility, cost, access to rehabilitation services and implementation of telerehabilitation: implications for low-and middle-income countries. *Digit Health*. 2022 Oct;8:20552076221131670.
12. Pearce L, Costa N, Sherrington C, Hassett L. Implementation of digital health interventions in rehabilitation: A scoping review. *Clin Rehabil*. 2023 Nov;37(11):1533-51.
13. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2025 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924> [Accessed: 27 octombrie 2025].
14. World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2001. Available from: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> [Accessed: 27 octombrie 2025].
15. World Health Organization. WHO Disability Assessment Schedule 2.0 (WHODAS 2.0) [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2010. Available from: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health/who-disability-assessment-schedule> [Accessed: 3 noiembrie 2025].
16. World Health Organization. WHO guideline: recommendations on digital interventions for health system strengthening [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2019. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924> [Accessed: 27 octombrie 2025].

## **2. ROLUL TENHNOLOGIILOR ÎN EVALUARE**

### **Introducere**

Utilizarea tehnologiilor în recuperare rămâne un domeniu în continuă dezvoltare, cu impact major asupra acurateții evaluării pacienților care necesită tratament recuperator. Integrarea sistematică a platformelor digitale, a telemedicinii și a senzorilor în procesul de evaluare facilitează evaluarea obiectivă a parametrilor funcționali, reducerea variabilității inter- și intra-examinator și o monitorizare mult mai precisă a evoluției clinice. Astfel, decizia terapeutică se bazează nu doar pe observația clinică și pe scoruri standardizate, ci și pe date măsurabile, care susțin o încadrare corectă a deficitului, o definiție mai fină a obiectivelor recuperatorii și o ajustare timpurie a intervențiilor atunci când răspunsul la terapie este suboptimal.

Mai mult, tehnologiile moderne favorizează extinderea evaluării dincolo de consultațiile (și terapia) față în față. Utilizarea senzorilor portabili și a instrumentelor de monitorizare la distanță surprind activitățile pacientului și diverși parametri ai stării de sănătate în situații din viața reală (înafara cadrului spitalicesc, mediu controlat în care este promovat un comportament sanogen pe tot parcursul expunerii). Acest tip de evaluare continuă permite identificarea precoce a riscului de regres, documentarea aderenței la programul recomandat și susținerea intervențiilor post-recuperare.

Utilizarea tehnologiilor nu substituie raționamentul clinic (ci îl completează), oferind medicului un suport obiectiv și dinamic pentru luarea deciziilor, cu potențialul de a îmbunătăți semnificativ rezultatele funcționale și calitatea vieții pacientului.

### **Obiective ale utilizării tehnologiilor pentru monitorizare**

Utilizarea tehnologiilor moderne (platforme pentru telemedicină și dispozitivele cu senzori) în evaluarea pacienților candidați pentru terapie de recuperare are ca scop îmbunătățirea preciziei diagnosticului funcțional, monitorizarea obiectivă a evoluției (inclusiv la distanță – continuu, în anumite situații) și optimizarea personalizată a programelor de reabilitare.

Obiectivele generale ale implementării tehnologiilor (dispozitive bazate pe senzori și telemedicină) pentru evaluarea pacienților în cadrul terapiei de recuperare se regăsesc mai jos:

- obținerea unei evaluări funcționale obiective (ex. parametri de mers, echilibru, amplitudine de mișcare la nivelul unor articulații, frecvență cardiacă, variabilitatea frecvenței cardiace, nivel de activitate fizică, etc.) cu posibilitatea înregistrării evoluției în arhive electronice;
- monitorizarea continuă, în timp real (inclusiv la distanță), a stării pacientului, reducerea dependenței de evaluările strict „în cabinet/spital” și extinderea monitorizării către viața de zi cu zi;
- creșterea nivelului de siguranță a pacientului (ex. detectarea precoce a episoadelor de aritmii, intoleranța la efort, desaturare), inclusiv prin supraveghere la distanță;
- creșterea aderenței la programul de recuperare și la alte recomandări;
- optimizarea utilizării resurselor medicale (ex. reducerea numărului de vizite față în față, prioritizarea pacienților care necesită asistență medicală imediată), cu reducerea costurilor legate de asistența medicală.

## **2.1. Rolurile membrilor echipei în evaluare**

În cadrul terapiei de recuperare, utilizarea tehnologiilor pentru evaluarea pacienților presupune o responsabilitate distribuită în mod complementar între membrii echipei medicale. Coordonarea și comunicarea eficientă între profesioniști este deosebit de importantă pentru a asigura aplicarea metodelor de evaluare în condiții optime, validitatea clinică a datelor, siguranța pacientului și integrarea informațiilor în deciziile terapeutice.

Membrii echipei contribuie în mod diferit (dar complementar, fiecare rol fiind esențial) la selecția tipurilor de tehnologii, aplicarea în siguranță și interpretarea corectă a datelor furnizate de instrumentele de evaluare (tehnologiile utilizate, de la platformele de telemedicină până la sisteme bazate pe senzori).

Câteva exemple de atribuții ale membrilor echipei medicale în cadrul evaluării tehnologizate a pacienților (în contextul terapiei de recuperare) sunt următoarele:

### *1. Medic:*

- stabilește diagnosticul (prezumptiv/de certitudine);
- stabilește diagnosticul funcțional;

- stabilește indicația utilizării tehnologiilor de evaluare (inclusiv telemedicină și senzori);
- selectează tipurile, frecvența și ritmicitatea evaluărilor în funcție de patologie și obiective;
- integrează rezultatele evaluărilor cu diagnosticul funcțional și planul recuperator;
- realizează schimbări de conduită terapeutică în funcție de evoluție;
- asigură consimțământul informat;
- asigură o comunicare eficientă cu pacientul, familia și îngrijitorii;
- completează foaia de observație a pacientului (inclusiv evoluția) și introduce date în sistemele informatice;
- coordonează activitatea echipei.

2. *Asistent medical:*

- pregătește pacientul și familia/îngrijitorii pentru evaluările tehnologizate (inclusiv pentru desfășurarea consultațiilor la distanță);
- colectează date clinice de bază și le introduce în sistemele informatice;
- asistă la utilizarea dispozitivelor de monitorizare și a senzorilor;
- supraveghează siguranța procedurilor de evaluare;
- contribuie la educarea pacientului, familiei și îngrijitorilor privind respectarea evaluărilor repetate;
- poate facilita programarea pacienților pentru evaluare.

3. *Kinetoterapeut:*

- aplică protocoale de evaluare funcțională cu suport tehnologic (sisteme de analiză a mișcării, senzori inerțiali, platforme de echilibru);
- interpretează datele în raport cu obiectivele kinetoterapiei;
- ajustează și documentează programul de exerciții pe baza parametrilor mășurați în dinamică;
- colaborează cu medicul pentru adaptarea planului recuperator pe parcursul evoluției.

4. *Asistent fizioterapie:*

- pregătește și calibrează echipamentele utilizate în evaluarea funcțională și în monitorizarea răspunsului la procedurile fizicale;

- asigură poziționarea corectă a senzorilor și a pacientului;
- supraveghează toleranța la evaluări și înregistrează parametrii relevanți în sistemele de documentare.

5. *Infirmieră:*

- contribuie la pregătirea practică a pacientului pentru evaluări (igienă, îmbrăcăminte adecvată, ajutor la mobilizare) ;
- sprijină menținerea pozițiilor necesare pentru investigații și utilizarea senzorilor;
- observă și raportează echipei eventualele dificultăți sau disconfort legate de utilizarea diferitor dispozitive.

6. *Brancardier:*

- asigură transportul și poziționarea în siguranță a pacientului către și de la zonele unde se realizează evaluările tehnologizate;
- sprijină echipa în manevrarea pacienților cu mobilitate redusă în raport cu echipamentele de evaluare;
- contribuie la fluidizarea circuitului pacientului în contextul unui flux complex de evaluări.

Membrii echipei pot fi implicați în toate etapele terapiei de recuperare (înaintea tratamentului, pe parcursul terapiei și post-terapie), în proporții diferite (ex. brancardierul nu va fi implicat în evaluarea prin telemedicină, când pacientul se află la domiciliu). Utilizarea tehnologiilor în evaluarea pacienților devine eficientă cu condiția unei colaborări interdisciplinare coerente, în care responsabilitățile și atribuțiile sunt delimitate clar, iar telemedicina și sistemele bazate pe senzori sunt integrate într-un proces unitar, centrat pe pacient și pe evoluția funcțională pe termen lung.

## **2.2. Tehnologii utilizate în evaluare**

### **1. Telemedicina**

Telemedicina reprezintă utilizarea tehnologiilor de informație și comunicații pentru furnizarea de servicii medicale la distanță (ex. prevenție primară sau secundară, diagnostic prezumptiv, recomandare tratament/ajustarea tratamentului, reabilitare și urmărire a pacienților).

Evaluarea, tratamentul și activitățile de reabilitare la distanță prezintă din ce în ce mai mult interes în ultimii ani, constatându-se creșterea

frecvenței de utilizare a telemedicinii în context pandemic (COVID-19, Coronavirus Disease – 19) și post-pandemic. Serviciile de telemedicină aplicabile în diferite domenii de reabilitare trebuie acordate ținând cont de implicațiile clinice specifice fiecărei discipline, de cadrul legal, alături de alți factori importanți (ex. factori etici, administrativi, tehnici, financiari) (Tabelul 1).

Evaluarea pacienților prin telemedicină se realizează prin mijloace diverse de comunicare la distanță precum:

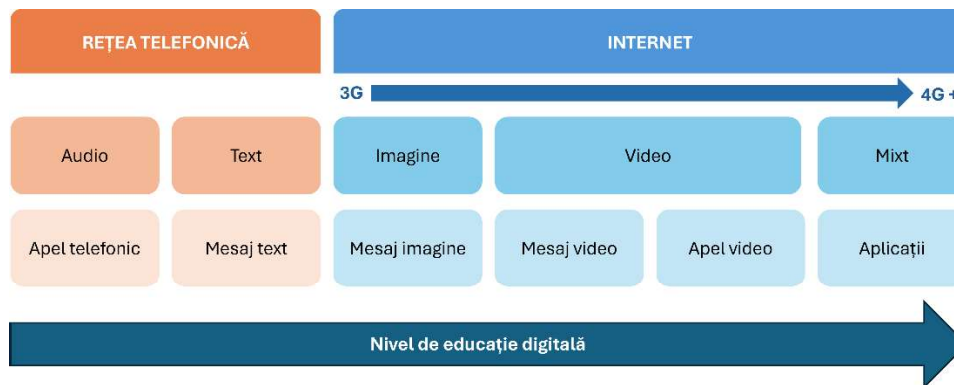
- apel telefonic;
- apel video;
- mesaje text;
- înregistrare audio;
- transmitere imagini (fotografii);
- transmitere înregistrări video (filmare);
- transmitere rapoarte digitale de analiză generate de dispozitivele portabile cu senzori;
- aplicații mobile sau site-uri web (cu acces pentru pacienți și pentru echipa medicală).

Integrarea telemedicinii în recuperare necesită atât o infrastructură tehnologică modernă, cât și un cadru administrativ și juridic adecvate. Pentru evaluarea unui pacient prin telemedicină (indiferent de metoda de comunicare la distanță selectată), trebuie îndeplinite cumulativ următoarele condiții:

- existența unui cadru tehnologic funcțional și securizat (platforme și echipamente care să asigure calitatea semnalului, confidențialitatea și integritatea datelor medicale transmise);
- accesul pacientului și echipei medicale la aceste tehnologii (dispozitive adecvate, conexiune stabilă la internet sau rețea telefonică, compatibilitate între sisteme);
- un nivel minim necesar de educație digitală al ambelor părți (capacitatea de a utiliza aplicațiile și dispozitivele) (Figura 1);
- un nivel minim necesar de educație legată de sănătate a pacientului (capacitatea pacientului de a înțelege instrucțiunile medicale la distanță și de a transmite corect informațiile clinice relevante);
- respectarea standardelor etice, consimțământului informat și a reglementărilor privind protecția datelor cu caracter personal
- respectarea cadrelor administrative și juridice.

**Tabelul 1.** Principii-cheie de urmărit și etapele de implementare a telereabilității (Adaptat după: *Alexander M, editor. Telerehabilitation, E-Book: Principles and Practice. Elsevier Health Sciences; 2021 Nov 28.*).

<b>Principii-cheie</b>	<b>Etapele de implementare a telereabilității</b>
<i>Principii administrative</i>	<i>Etapa de dezvoltare</i>
Ghiduri de reglementare Standarde naționale și regionale Politici și proceduri Domenii de aplicare Calitatea serviciilor Riscuri Viabilitate	Sprijin organizațional Finanțarea serviciului Revizuirea altor programe Evaluarea nevoilor Stabilirea obiectivelor, planului și politicilor Stabilirea procedurilor și strategiilor Explorarea particularităților tehnologiilor și implementării
<i>Principii clinice</i>	<i>Etapa de implementare</i>
Instruire - Echipa medicală - Pacienți/familie/îngrijitori Siguranța pacientului Confidențialitate	Identificarea și programarea pacienților Desfășurarea vizitelor de telereabilitare Gestionarea informațiilor și documentarea Facturare și rambursare
<i>Principii tehnice</i>	<i>Etapa de evaluare</i>
Echipament adecvat Confidențialitatea și securitatea informațiilor Întreținerea (mentenanța) și adaptarea tehnologiilor	Satisfacția pacientului Feedback-ul din partea furnizorilor Analiza costurilor
<i>Principii etice</i>	
Conformitate Coduri de etică Valori organizaționale Autonomie Alocarea resurselor și echitatea	



**Figura 1.** Telemedicina. Metode de comunicare la distanță și nivel de educație digitală (Adaptat după: *Cardoso S. Modalities for the implementation of telerehabilitation [Internet]. Humanity & Inclusion, Rehabilitation Division; 2022, Available from:*

*[https://www.hi.org/sn\\_uploads/document/Modalities-for-implementation-of-telerehabilitation\\_PG44\\_Brief.pdf](https://www.hi.org/sn_uploads/document/Modalities-for-implementation-of-telerehabilitation_PG44_Brief.pdf) (Accesat: 4 decembrie 2025).).*

Utilizarea telemedicinii pentru evaluarea pacienților în contextul reabilitării are numeroase avantaje:

- crește accesibilitatea la servicii medicale prin depășirea barierelor geografice și logistice (pacientul poate fi evaluat fără să se deplaseze la spital/cabinet medical, util mai ales pentru persoanele care se mobilizează dificil sau din zone rurale care nu au acces facil la mijloace de transport);
- facilitează continuitatea îngrijirii medicale (monitorizare periodică simplificată, reevaluare mai frecventă);
- reduce timpii de așteptare pentru programare și consultație;
- permite observarea pacientului în mediul său obișnuit (acasă), putând oferi informații mai acurate despre impactul funcțional;
- facilitează evaluările multidisciplinare (medic, kinetoterapeut, psiholog clinician – se pot conecta în aceeași sesiune);
- permite utilizarea de chestionare, scale funcționale și teste standardizate (care pot fi aplicate online);
- permite documentare și arhivare mai ușoară a datelor: imagini video, rapoarte digitale generate de dispozitivele cu senzori utilizate la domiciliu;
- permite adaptarea mai rapidă a planului de recuperare în funcție de evoluția pacientului;
- facilitează implicarea familiei/îngrijitorilor în evaluare (participă ușor la consultație online);

- facilitează educația pacientului, membrilor familiei și îngrijitorilor și conduce la stabilirea unor strategii de self-management sau management asistat la domiciliu;
- permite creșterea aderenței (compliancei) la programul de reabilitare prin contact mai frecvent cu echipa medicală;
- reduce costurile de transport pentru pacient (evaluări mai rare față în față);
- este cost-eficientă pentru furnizorii de servicii medicale;
- nivelul de satisfacție a pacienților poate fi comparabil cu evaluarea față în față (însă depinde de situație)
- facilitează colectarea datelor referitoare la perspectiva pacientului asupra rezultatelor terapiei de recuperare prin formulare PRO/PROM (*Patient-Reported Outcome/Patient-Reported Outcome Measure*) distribuite online sau prin aplicații;
- ușurează colectarea datelor pentru activitățile de cercetare medicală pentru care pacienții si-au acordat consimțământul (ex. studii clinice, cercetare doctorală).

Totuși, utilizarea telemedicinii pentru evaluarea pacienților în contextul terapiei de recuperare prezintă și o serie de dezavantaje importante (exemple):

- limitări legate de contactul la distanță cu pacientul (examinarea clinică directă, față în față, oferă o imagine mai acurată cu privire la starea generală de sănătate și la impactul funcțional; imposibilitatea intervenției rapide în situații de urgență apărute în timpul evaluării; imposibilitatea evaluării scorurilor de activitate în bolile imuno-inflamatorii cronice);
- limitări legate de tehnologie (este necesară disponibilitatea tehnologiilor de ambele părți – pacient și echipa medicală; deseori, este necesară o rețea de Internet stabilă și sigură; dependență de abilitățile digitale ale pacientului/familiei/îngrijitorilor; necesitatea adaptării documentației și fluxurilor de lucru la soluții digitale);
- probleme etice și de confidențialitate și securitate a datelor medicale (dificultăți în obținerea consimțământului informat; risc de breșe de securitate a datelor medicale dacă nu se folosesc platforme sigure);
- absența protocoalelor standardizate și adaptate pentru fiecare tip de tehnologie utilizată pentru evaluarea la distanță;
- absența recomandărilor (sau ghiduri de utilizare a telemedicinii) formulate de societățile științifice și medicale naționale și internaționale;

- absența unui cadru legal specific adaptat pentru fiecare tehnologie.

Pe durata tratamentului și post-terapie, telemedicina permite monitorizarea continuă a evoluției și ajustarea programului recuperator, oferind numeroase avantaje pentru pacient și pentru furnizorii de servicii medicale. Totuși, implementarea acestor soluții este condiționată de existența unei infrastructuri tehnice adecvate, de competențele digitale ale utilizatorilor și de respectarea strictă a normelor legale și de securitate și confidențialitate a datelor medicale.

## **2. Senzori utilizați în evaluare**

În ultimii ani, s-a remarcat creșterea interesului pentru managementul la distanță al unui număr mare de patologii, în domenii medicale diverse. Pentru a susține această inițiativă, au fost dezvoltate numeroase tipuri de tehnologii, cum sunt dispozitivele mobile și portabile (*wearable devices*) integrate cu diferiți senzori pentru monitorizarea unor indicatori ai stării de sănătate.

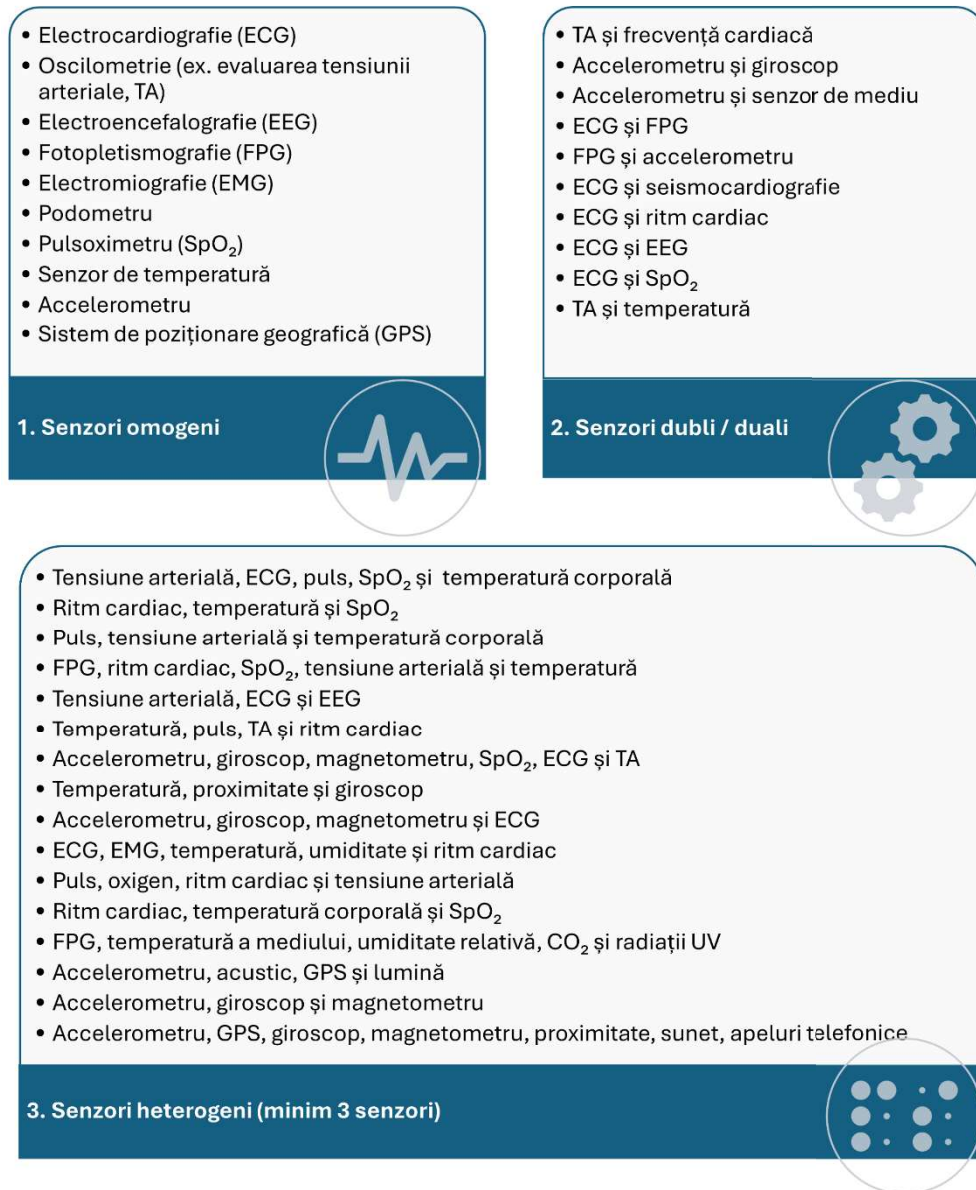
Un sistem de monitorizare a stării de sănătate bazat pe senzori mobili sau portabili oferă oportunități variate: diagnostic precoce, gestionarea în timp real a modificărilor patologice detectate (cu formularea timpurie a unor recomandări de reevaluare clinică și tratament) și prevenirea apariției complicațiilor (legate de boală sau tratament).

Implementarea unor astfel de strategii în managementul bolilor cronice într-un sistem integrat, prezintă avantaje notabile pentru pacienți: acces rapid la îngrijire (reducerea timpului de așteptare pentru pacienții cronici), scăderea unor costuri suportate de pacient (cum este cel de transport), creșterea nivelului de independență și oportunități de *self-management*. Nu în ultimul rând, utilizarea unor tehnologii portabile cu o interfață simplă reprezintă un atu în educația pacientului și pentru creșterea nivelului său de implicare, acesta putând fi instruit să recunoască anumite semnale de „alarmă” (modificări ale stării sale de sănătate care ar putea necesita asistență medicală, „red flags”).

Din punctul de vedere al personalului medical, evaluarea pacienților cu ajutorul unor tehnologii mobile sau portabile facilitează colectarea rapidă a datelor, scăderea numărului de gesturi pentru care este necesară prezența fizică a echipei medicale, urmărirea simultană a mai multor pacienți, stabilirea precoce a diagnosticului, respectiv monitorizarea în timp real a parametrilor legați de starea de sănătate și a răspunsului la tratament.

Senzorii integrați în dispozitivele medicale pentru evaluarea stării de sănătate (inclusiv cele mobile și portabile) pot fi împărțiți în 3 categorii: senzori omogeni (simpli, un singur tip de senzor), senzori duali (dubli, doi

senzori asociați) și senzori heterogeni (multipli, trei sau mai mulți senzori asociați) (Figura 2).



**Figura 2.** Tehnologii utilizate în evaluarea stării de sănătate (inclusiv mobile sau portabile): exemple de senzori omogeni, duali și heterogeni (Adaptat după: Anikwe CV, Nweke HF, Ikegwu AC, Egwuonwu CA, Onu FU, Alo UR, Teh YW. *Mobile and wearable sensors for data-driven health monitoring system: State-of-the-art and future prospect. Expert Systems with Applications.* 2022 Sep 15;202:117362.).

Sistemele bazate pe senzori heterogeni sunt utilizate frecvent datorită capacității lor de a combina mai mulți senzori din diverse domenii, oferind o abordare multifacetată și o eficacitate sporită. Combinarea mai multor senzori în același aparat (inclusiv pentru tehnologii mobile sau portabile) se poate asocia cu o acuratețe mai mare în monitorizarea stării de sănătate (evaluarea unui număr mai mare de parametri poate contura o imagine mai detaliată).

#### *A. Exemple de senzori omogeni (simpli)*

Senzorii omogeni (simpli sau unici) evaluează un singur aspect al stării de sănătate și sunt utilizați frecvent în practica clinică.

##### 1. Electrocardiografia (ECG)

Electrocardiografia/electrocardiograma (ECG) este o metodă neinvazivă valoroasă în evaluarea stării de sănătate a sistemului cardiovascular prin înregistrarea și analiza activității electrice a inimii. ECG oferă informații importante privind ritmul cardiac, morfologia undelor cardiace și posibilele anomalii de conducere cardiacă.

Senzorii ECG captează, amplifică, filtrează, transforma digital și transmit semnalele ECG, contribuind astfel la o monitorizare eficientă a stării de sănătate a cordului.

ECG este deosebit de utilă atât în screening, cât și pentru diagnosticul pozitiv al unui număr mare de patologii cardiace cum sunt tulburările de ritm (aritmii), tulburările de conducere atrioventriculară sau ventriculară, și infarctul miocardic. Pornind de la simptomele și semnele clinice, ECG poate fi folosită pentru diagnosticul diferențial (ex. excluderea unei patologii cardiace în caz de durere toracică anterioară). Nu în ultimul rând, ECG furnizează date referitoare la funcționarea stimulatorilor cardiace la persoanele care au necesitat implantarea unui astfel de dispozitiv (pacemaker)

ECG reprezintă o investigație de rutină în evaluarea stării de sănătate a sistemului cardiovascular și poate fi înregistrată în cadru spitalicesc (spitalizare continuă sau de zi) sau în contextul evaluării într-un cabinet medical (în regim ambulatoriu).

Evaluarea ECG se poate desfășura sub diferite forme:

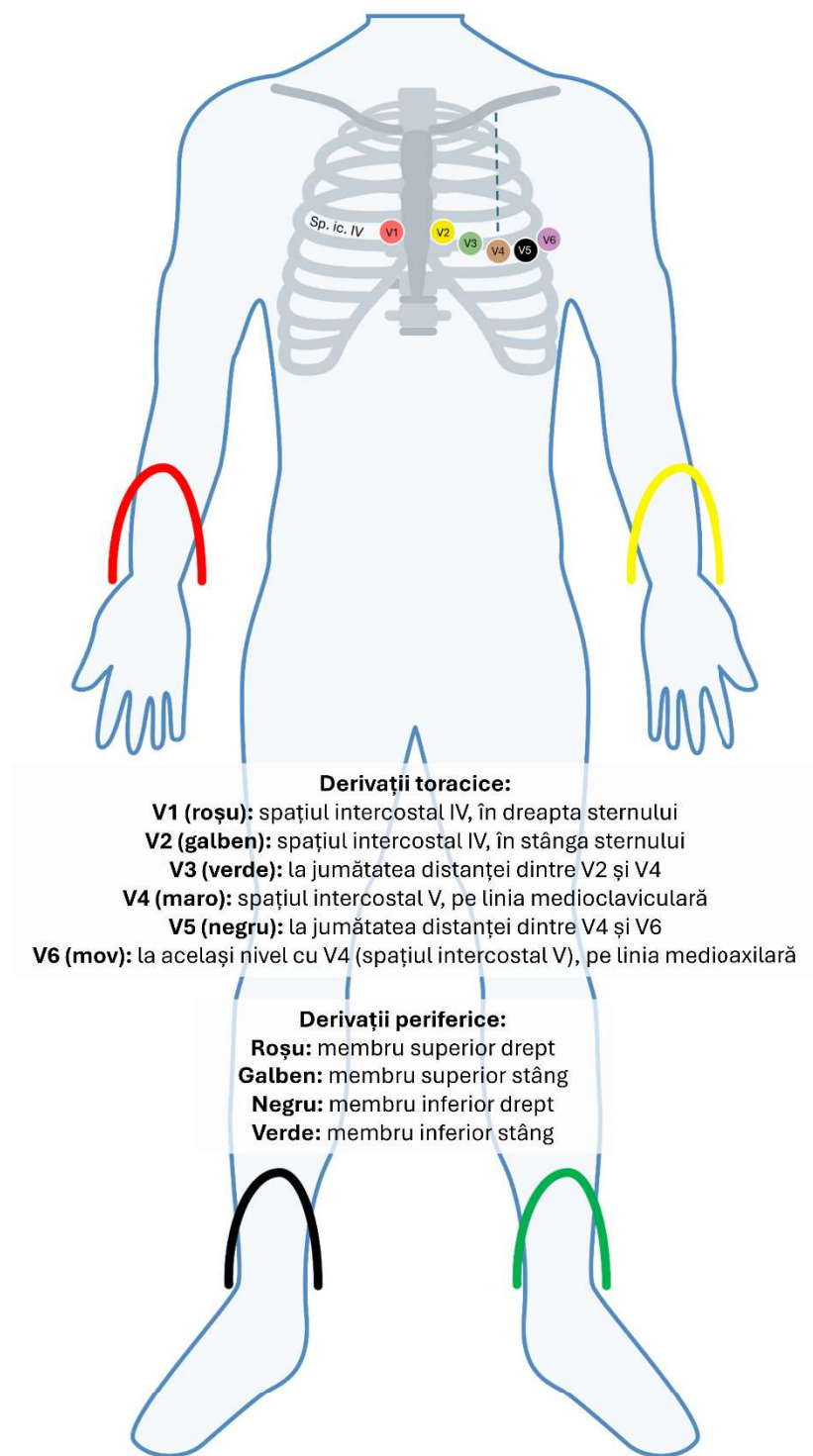
- ECG de repaus: pacient în repaus, în decubit dorsal la momentul evaluării;
- ECG de efort: înregistrare ECG în context de efort fizic progresiv și controlat (test de efort la cicloergometru sau pe o bandă de alergat);
- Holter ECG: utilizarea unui dispozitiv portabil cu monitorizare ECG pe o perioadă predefinită, cel mai frecvent 24 ore.

ECG (inclusiv montarea corectă a electrozilor) este efectuată de personalul medical pregătit și autorizat în acest sens: medici și asistenți medicali. Atât recomandarea de evaluare ECG, cât și interpretarea datelor îi revin medicului. Cu toate că tehnologiile moderne oferă o interpretare generată automat a modificărilor ECG, potențialele anomalii detectate trebuie confirmate de medic. Montarea corectă a electrozilor ECG se regăsește în Figura 3.

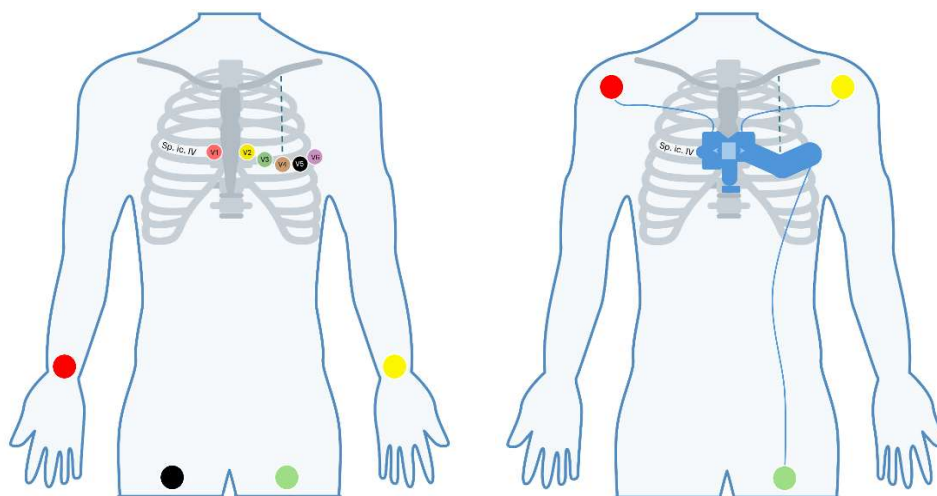
În evaluarea ECG există un risc de eroare umană determinat de plasarea incorectă a electrozilor (ex. inversarea unor derivații ale membrilor sau poziționarea eronată a derivațiilor toracice). Un studiu recent a estimat că aproximativ 2% dintre înregistrările ECG pot fi realizate și interpretate eronat din cauza acestor erori de poziționare a electrozilor.

Într-o încercare de a reduce riscul apariției unor astfel de erori, un grup de cercetare a utilizat un sistem de înregistrare ECG bazat pe aplicarea unei benzi autoadezive (prefabricată) prevăzută cu electrozi integrați (Figura 4), disponibilă în patru dimensiuni pentru adulți. Dispozitivul a demonstrat o eficacitate comparabilă cu metoda clasică de înregistrare ECG care utilizează electrozi individuali. Cu toate că acest tip de dispozitiv nu este încă disponibil pe scară largă, el ar putea reprezenta o direcție viitoare promițătoare pentru îmbunătățirea acurateții procedurii de înregistrare ECG.

Au fost dezvoltate tehnologii de monitorizare ECG care integrează senzori portabili fără fir (*wireless*) pentru monitorizarea activității cardiace de la distanță (sub diferite forme). În plus, au fost realizate sisteme portabile bazate pe cipuri capabile să colecteze date despre activitatea electrică a inimii în timp real. Aceste metode de evaluare sunt utilizate frecvent în cercetare și necesită validare și reglementare anterior utilizării de rutină în practica clinică.



**Figura 3.** Efectuarea ECG. Modul corect de aplicare a electrozilor.



**Figura 4.** Înregistrarea ECG prin metoda clasică (cu electrozi individuali), în comparație cu metoda propusă de Roy et al., cu bandă autoadezivă prefabricată (cu electrozi integrați pentru derivațiile toracice) (Adaptat după: Roy SK, et al. *Comparison of electrocardiogram quality and clinical interpretations using prepositioned ECG electrodes and conventional individual electrodes.* *Journal of Electrocardiology.* 2020;59:126-33.).

Evaluarea ECG are aplicabilitate în diverse etape ale procesului de reabilitare. În reabilitarea cardiovasculară, examinarea activității electrice a inimii prin ECG este utilizată atât în screening, cât și în diagnosticul pozitiv și diferențial al unor patologii cardiace, dar și în evaluarea evoluției pe parcursul terapiei de recuperare, respectiv post-tratament.

ECG poate evidenția prezența unor modificări care reprezintă contraindicații pentru anumite forme de tratament recuperator atât în cadrul programelor de reabilitare cardiovasculară, cât și în alte tipuri de reabilitare medicală. De exemplu, la pacienții cu tulburări de ritm cardiac (cum este fibrilația atrială), anumite proceduri de electroterapie pot fi contraindicate. De asemenea, pacienții aflați sub tratament anticoagulant în contextul unor patologii cardiovasculare (inclusiv fibrilație atrială) ar trebui să evite anumite tehnici de masaj (precum masajul decontracturant) din cauza riscului crescut de apariție a complicațiilor hemoragice (ex. risc crescut de apariție a hematoamelor).

În plus, în cazul pacienților cu stimulare cardiacă permanentă (pacemaker), unele proceduri bazate pe curenți electrice (în special în cazul poziționării electrozilor în vecinătatea stimulatorului cardiac și galvanizarea) sau câmpuri magnetice (cum este magnetoterapia) pot fi contraindicate, deoarece pot interfera cu funcționarea dispozitivului de stimulare cardiacă.

ECG rămâne esențială în evaluarea de rutină a pacienților care se prezintă pentru tratament recuperator (indiferent de motivul adresării). Orice modificare ECG trebuie interpretată de medic anterior stabilirii programului de reabilitare.

## 2. Oscilometria

Oscilometria reprezintă o metodă neinvazivă frecvent utilizată pentru determinarea tensiunii arteriale. Tehnica constă în aplicarea unei manșete gonflabile, de obicei la nivelul brațului. Artera brahială este comprimată treptat prin umflarea manșetei, iar în timpul eliberării controlate a presiunii, senzorii detectează oscilațiile de presiune generate de fluxul sanguin pulsatil. Pentru dispozitivele (de tip manșetă gonflabilă) poziționate la nivelul încheieturii mâinii, artera comprimată în principal este cea radială ( $\pm$  artera ulnară).

Estimarea valorilor tensiunii arteriale sistolice (TAS) și diastolice (TAD) se realizează pe baza analizei amplitudinii oscilațiilor de presiune generate de fluxul sanguin pulsatil, presiunea fiind exprimată în milimetri coloană de mercur (mmHg). Această metodă oferă o determinare reproductibilă și sigură a parametrilor tensionali, fiind utilizată pe scară largă atât în practica medicală, cât și în monitorizarea ambulatorie a tensiunii arteriale.

Valorile tensiunii arteriale variază în funcție de interacțiunea dinamică dintre numeroși factori (intrinseci și extrinseci):

- factori reglatori neurohormonali și cardiovasculari;
- sănătatea sistemului cardiovascular;
- dietă (ex. cantitatea de sodiu consumată zilnic);
- activitate fizică;
- stres psihoemoțional (ex. hipertensiunea „de halat alb”);
- medicație administrată.

Evaluarea tensiunii arteriale se realizează cu ajutorul sfigmomanometrului:

- sfigmomanometru cu mercur (disponibilitate redusă în practică în prezent);
- sfigmomanometru aneroid (des utilizat în practica clinică, cu cadran);
- sfigmomanometru electronic (oscilometric).

Măsurarea tensiunii arteriale rămâne o investigație efectuată de rutină și, în funcție de necesarul de evaluare, poate fi înregistrată în repaus sau în contextul efortului fizic (înainte, pe parcursul și după efort), respectiv continuu, pe parcursul a 24 de ore, prin utilizarea unui dispozitiv portabil cu

manșetă (ambulatory blood pressure monitoring, ABPM). ABPM înregistrează valorile la intervale predefinite atât în timpul activităților zilnice, cât și în timpul somnului.

Variațiile tensiunii arteriale pot fi surprinse (Figura 5):

- pe termen foarte scurt: evaluare unică sau înregistrări repetate pe o perioadă foarte scurtă de timp (minute, ore);
- pe termen scurt: evaluări repetate pe parcursul a 24 ore (ex. ABPM sau la domiciliu, dimineața și seara);
- pe termen mediu: evaluări repetate pe parcursul mai multor zile consecutive/săptămâni (zilnic, dimineața și seara sau la nevoie);
- pe termen lung: evaluări repetate (zilnic, dimineața și seara sau la nevoie) pe parcursul mai multor luni/ani.

Evaluarea zilnică realizată în mod consecvent la domiciliu (cel puțin de două ori pe zi, dimineața și seara, sau la nevoie), cu păstrarea unui jurnal al valorilor tensionale de la o vizită la alta, permite evaluarea răspunsului la tratament și monitorizarea modificărilor pe termen mediu și lung.

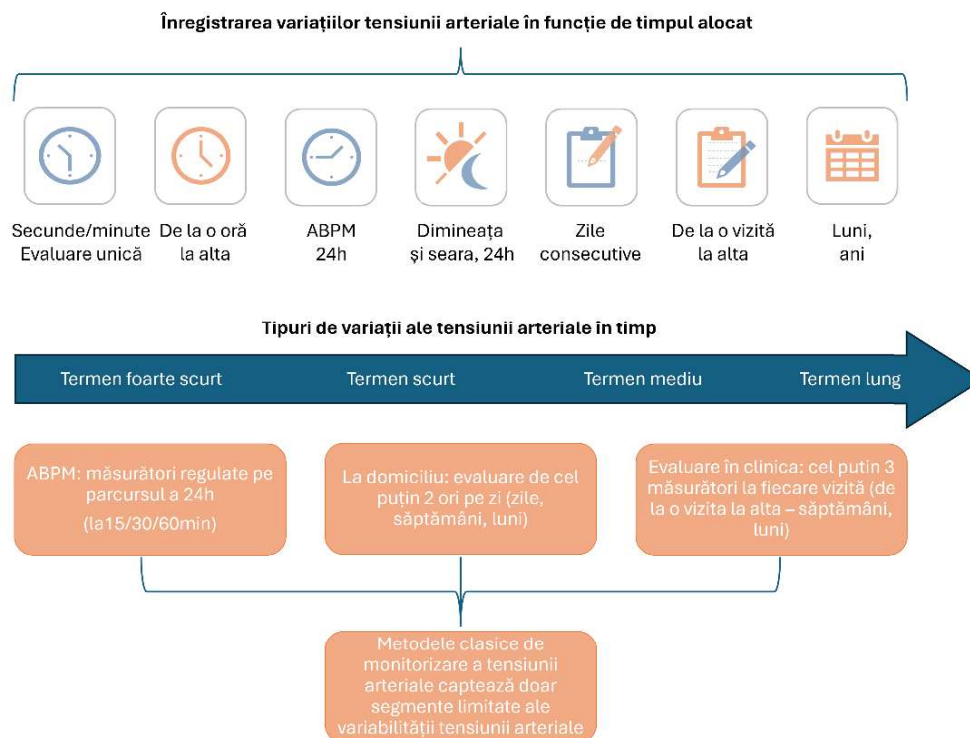
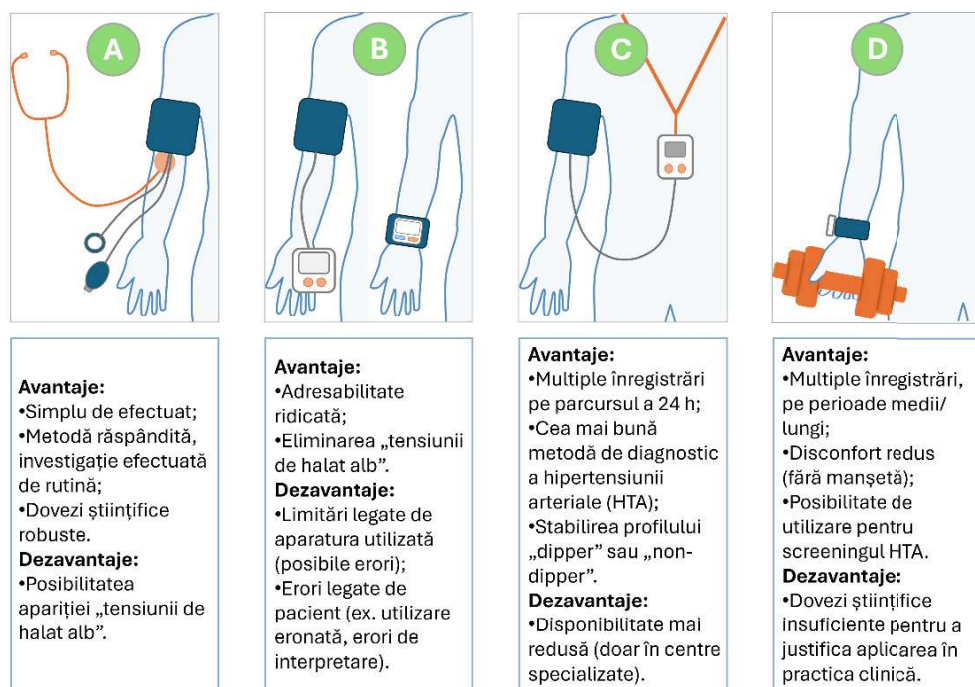


Figura 5. Surprinderea variațiilor tensiunii arteriale în timp (Adaptat după Schutte AE, Kollias A, Stergiou GS. Blood pressure and its variability: classic and novel measurement techniques. *Nature Reviews Cardiology*. 2022 Oct;19(10):643-54.)

În ultimele decenii, au fost dezvoltate numeroase tehnologii portabile cu senzori oscilometrici, pacienții fiind încurajați să își monitorizeze valorile tensionale la domiciliu. Studii recente au investigat posibilitatea măsurării tensiunii arteriale cu ajutorul unor ceasuri inteligente cu senzori oscilometrici și fotoplețismografici (FPG) integrați.

Figura 6 prezintă câteva avantaje și dezavantaje ale diverselor metode de monitorizare a tensiunii arteriale.



**Figura 6.** Avantajele și dezavantajele metodelor clasice și moderne de monitorizare a tensiunii arteriale: (A) Metoda clasică; (B) Evaluare la domiciliu; (C) Evaluare ABPM; (D) Evaluarea TA fără manșetă (tehnologii noi cu senzori oscilometrici și FPG). (Adaptat după: *Schutte AE, Kollias A, Stergiou GS. Blood pressure and its variability: classic and novel measurement techniques. Nature Reviews Cardiology. 2022 Oct;19(10):643-54.*)

### 3. Pletismografia si fotopletismografia

Pletismografia este o investigație neinvazivă care evaluează variații de volum și are aplicabilitate în evaluarea anumitor aspecte ale funcției pulmonare și ale sistemului cardiovascular.

Cu ajutorul pletismografiei pulmonare se pot măsura valorile capacității pulmonare totale, capacitatea reziduală funcțională și volumul rezidual, capacitatea vitală, volumul inspirator de rezervă, volumul expirator de rezervă, volumul curent și capacitatea inspiratorie. Acești parametri pot fi influențați de diverși factori ca starea fiziologică (ex. sarcina), sex, vârstă și de variate condiții patologice. Pletismografia pulmonară se realizează în spații special destinate acestei investigații (spital, cabinet medical), sub supravegherea echipei medicale (medic, asistent medical).

Fotopletismografia (FPG) este utilă în investigarea modificărilor hemodinamice (variațiile volumului sanguin) la nivelul segmentelor periferice ale corpului cu ajutorul unor senzori optici (tehnologie bazată pe lumină) și poate înregistra parametri ca variabilitatea ritmului cardiac. În ultimii ani, au fost dezvoltate tehnologii bazate pe senzori mobili sau portabili (ex. ceas inteligent cu senzor FPG sau aplicații mobile pentru telefoane inteligente (*smartphone*) care are senzor FPG integrat).

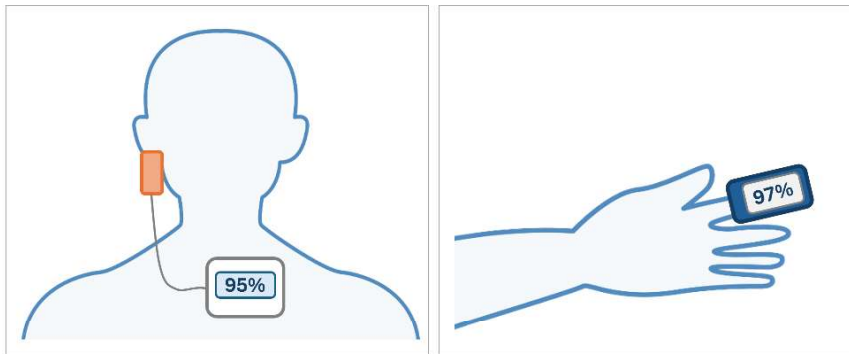
Datorită caracterului neinvaziv, FPG este folosită la scară largă atât în cercetare, cât și în practica clinică.

În ultimii ani, au fost desfășurate studii referitoare la posibilitatea măsurării tensiunii arteriale fără manșetă (*cuff-less*) cu ajutorul unor senzori FPG. Senzorii pot fi aplicați în diferite regiuni ale corpului: lobul urechii, torace, braț, încheietura mâinii, index sau vârful unui deget. Totuși, sunt necesare cercetări suplimentare care să demonstreze acuratețea acestor metode noi anterior implementării în practică (de rutină).

Tehnologiile disponibile la momentul actual presupun deseori utilizarea unor senzori oscilometrici și/sau FPG pentru măsurarea tensiunii arteriale. Avantajele și dezavantajele diferitelor metode de înregistrare a tensiunii arteriale sunt prezentate pe scurt mai sus, în Figura 5.

### 4. Pulsoximetria

Pulsoximetria este o metodă neinvazivă de estimare a saturației oxigenului în sângele periferic ( $SpO_2$ ). Pulsoximetrul utilizează un procesor electronic și o sursă emițătoare de lumină (LED-uri) orientată către o fotodiodă (fotodetector), lumina trecând printr-o porțiune translucidă a corpului, de obicei vârful unui deget sau lobul urechii (Figura 7). Pot fi utilizate dispozitive cu sau fără fir, rezultatul analizei fiind afișat sub formă de procent (%).



**Figura 7.** Pulsoximetria: plasarea senzorilor la nivelul lobului urechii, respectiv la nivelul vârfului unui deget. Rezultatul exprimat în procente (%) reprezintă saturația estimată a O<sub>2</sub> în sângele periferic.

Pulsoximetria poate fi evaluată în repaus sau în contextul efortului fizic, oferind informații valoroase despre saturația O<sub>2</sub> periferic în diferite situații (ex. SpO<sub>2</sub> în limite normale în repaus, cu desaturare în contextul efortului fizic – modificare care poate avea cauze diverse).

În prezent, există tehnologii mobile sau portabile care integrează senzori pentru pulsoximetrie.

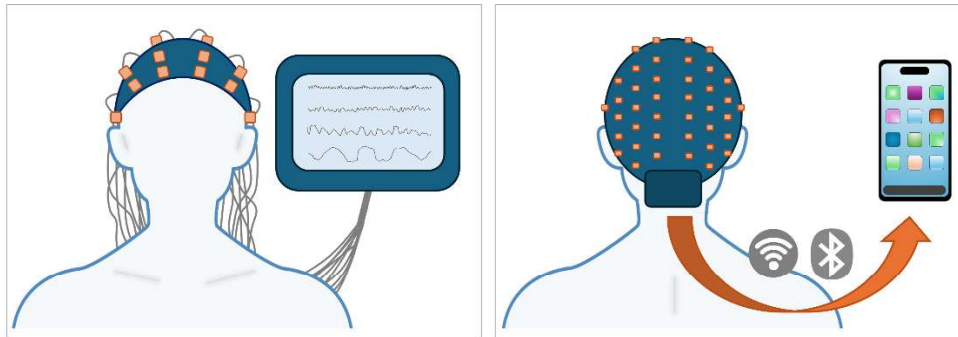
##### 5. Electroencefalografia (EEG)

Electroencefalografia (EEG) investighează activitatea electrică a creierului uman și este o metodă neinvazivă. Activitatea electrică la nivel cortical este măsurată și monitorizată continuu prin captarea potențialelor electrice cu ajutorul unor electrozi aplicați pe scalpul pacientului (deseori sub formă de cască flexibilă cu electrozi integrați).

Datele furnizate de EEG sunt utilizate în diverse domenii cum ar fi neurologia, psihologia cognitivă, psihiatria și fiziologia. Undele cerebrale (Delta, Teta, Alfa și Beta) înregistrate de EEG sunt analizate pentru identificarea și monitorizarea unor patologii precum epilepsia (ex. identificarea focarului declanșator al crizelor epileptice), leziunile cerebrale (ex. evaluarea post-accident vascular cerebral) și tulburările de somn. De asemenea, traseul EEG poate oferi informații referitoare la răspunsul la tratamentul unor boli neurologice (ex. în contextul terapiei de recuperare post-accident vascular cerebral) sau psihiatrice.

Numeroase studii cu diferite obiective de monitorizare a stării de sănătate au utilizat senzori EEG. De exemplu, integrarea EEG cu tehnici de învățare automată (*machine learning*) a fost folosită pentru a prezice crize epileptice, sau răspunsul la terapia antidepresivă, respectiv pentru evaluarea somnului.

Noile tehnologii mobile și portabile pot integra senzorii EEG cu telefoanele inteligente (Figura 8). Au fost testate dispozitive mobile cu senzori EEG pentru pacienții cu epilepsie, unele cu rezultate comparabile cu cele obținute prin tehnici convenționale. Totuși, unele studii raportează rate ridicate de „alarme” false declanșate de algoritmul de detecție automată.



**Figura 8.** Electroencefalografia: metoda clasică și dispozitive integrate cu telefoane inteligente.

## 6. Electromiografia (EMG)

Senzorii de electromiografie (EMG) monitorizează activitatea bioelectrică a mușchilor scheletici (ca urmare a stimulării nervoase) în condiții normale (fiziologice) și patologice. Electromiograful înregistrează semnalele electrice generate de fibrele musculare în repaus și în timpul contracției.

EMG poate fi realizată:

- Cu ac: un ac subțire care conține un electrod este inserat în mușchi pentru captarea semnalelor date de activitatea electrică;
- Fără ac: se utilizează electrozi de suprafață (sEMG) plasați pe pielea pacientului.

EMG este utilizată în diagnosticul pozitiv, monitorizarea, respectiv diagnosticul diferențial al unor patologii neurologice și musculare (ex. diagnosticul diferențial între o neuropatie periferică și o miopatie). În miopatiile inflamatorii idiopatice, detectarea modificărilor EMG sugestive într-o anumită zonă a mușchiului (modificările nu sunt distribuite uniform la nivelul mușchiului) poate indica locul optim de prelevare a biopsiei musculare (utilă pentru diagnosticul pozitiv al miopatiilor inflamatorii).

Pornind de la simptomatologie, cum este cazul slăbiciunii musculare, traseele EMG pot oferi informații valoroase cu privire la etiologie (cauza slăbiciunii musculare): patologii neurologice (ex. scleroza laterală amiotrofică, neuropatii periferice, radiculopatii), patologii musculare (ex.

distrofii musculare sau miopatii inflamatorii idiopatice – polimiozită și dermatomiozită), sau patologii neuromusculare.

Au fost dezvoltate dispozitive portabile cu senzori EMG integrați în materiale textile care permit înregistrarea timp de mai multe ore a activității musculare normale și a mișcărilor pacienților (pe parcursul activităților zilnice sau în timpul unui program de exerciții prestabilit). De asemenea, senzorii EMG de suprafață (sEMG) alături de modele de învățare automată au fost folosiți pentru estimarea gradului de efort fizic în timpul antrenamentului sportiv sau în timpul exercițiilor de kinetoterapie.

## 7. Accelerometrul

Accelerometria presupune surprinderea modificărilor vitezei unui obiect aflat în mișcare (accelerare sau decelerare). Accelerometrul este un dispozitiv care captează accelerația liniară la nivelul segmentului pe care este atașat (ex. ureche, încheietura mâinii, șold sau coapsă, gleznă, torace posterior, regiune lombară).

Utilizarea simultană a mai multor senzori de accelerometrie (plasați la nivelul unor zone diferite ale corpului) oferă oportunitatea înregistrării datelor despre mișcarea întregului corp.

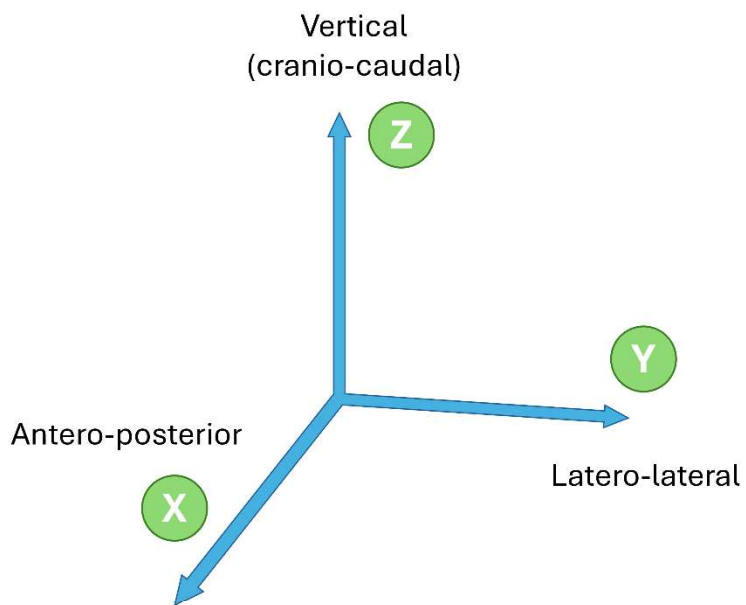
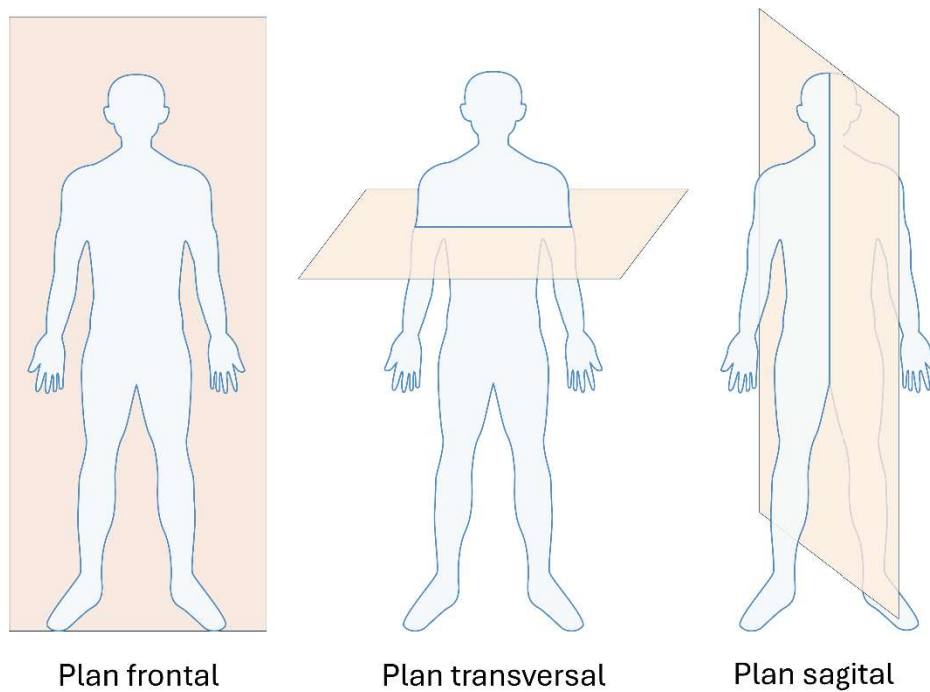
Accelerometrele triaxiale detectează mișcările pe trei direcții (pe trei axe/în trei dimensiuni) (Figura 9):

- în plan frontal;
- în plan sagital;
- în plan transversal.

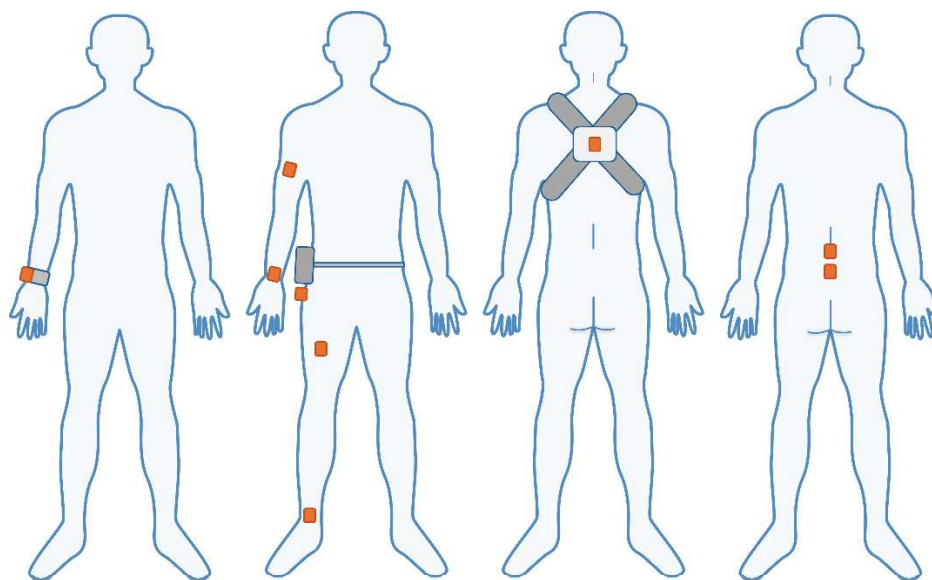
În reabilitarea aparatului locomotor și cea neurologică, accelerometrul are aplicabilitate clinică în diverse situații, oferind informații importante pentru:

- analiza mersului;
- evaluarea posturii;
- analiza mișcărilor (inclusiv pe segmente ale corpului);
- evaluarea echilibrului;
- estimarea riscului de cădere.

Tehnologiile utilizate până în prezent care includ senzori de accelerometrie sunt frecvent fie dispozitive portabile (brățări de fitness sau senzori individuali plasați pe multiple segmente ale corpului), fie mobile (un număr mare de telefoane inteligente integrând acest tip de senzor) (Figura 10). Cu toate că metoda este răspândită și disponibilă la scară largă (ex. telefoane mobile cu senzori de accelerometrie integrați), se recomandă utilizarea dispozitivelor validate pentru practica clinică și interpretarea datelor cu precauție.



**Figura 9.** Axe de mișcare și planuri anatomice (Adaptat după: Kristoffersson A, Lindén M. *A systematic review of wearable sensors for monitoring physical activity.* *Sensors.* 2022 Jan 12;22(2):573.).



**Figura 10.** Tehnologii portabile care integrează senzori de accelerometrie: exemple de plasare a senzorilor (roșu), inclusiv senzori multipli (Adaptat după: *Davoudi A, Mardini MT, Nelson D, Albinali F, Ranka S, Rashidi P, Manini TM. The effect of sensor placement and number on physical activity recognition and energy expenditure estimation in older adults: Validation study. JMIR mHealth and uHealth. 2021 May 3;9(5):e23681.*).

Pedometrele clasice sunt dispozitive care estimează numărul de pași parcurși într-un anumit interval de timp și utilizează în principal senzori de accelerometrie. Senzorul de accelerometrie captează accelerația liniară la nivelul segmentului corporal pe care este atașat, iar tiparele generate de ciclurile repetate de accelerare/decelerare sunt ulterior recunoscute și interpretate de pedometru ca pași.

Există, de asemenea, dispozitive moderne capabile să evalueze gradul de asimetrie a mersului (ex. pași mai scurți sau mai lenți pe partea dreaptă). Aceste dispozitive integrează, pe lângă senzorii de accelerometrie, și alte tipuri de senzori (cum sunt giroscopul și magnetometrul) și utilizează algoritmi specializați de recunoaștere a asimetriei. Totuși, acest tip de dispozitiv nu este un pedometru clasic, ci se încadrează în categoria senzorilor duali sau heterogeni (atunci când senzorul de accelerometrie este asociat cu un giroscop și un magnetometru) și este cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea de unitate inerțială de măsurare (UIM; IMU –

Inertial Measurement Unit) sau ca sistem de analiză a mersului bazat pe senzori inerțiali (în aplicațiile clinice).

Au fost dezvoltate pedometre și dispozitive IMU integrate cu telefoane mobile inteligente (prin intermediul unor aplicații mobile), care au fost utilizate în reabilitarea cardiovasculară, neurologică și a aparatului locomotor.

#### 8. Giroscopul

Un giroscop este un senzor care măsoară vitezele de rotație în jurul unor axe, fiind utilizat frecvent în dispozitive electronice portabile sau sisteme de analiză a mișcării. Principiul de funcționare se bazează pe sisteme moderne care transformă mișcările de rotație în semnale electrice cuantificabile. Spre deosebire de accelerometru (care măsoară accelerația liniară), giroscopul oferă informații despre rotație (ex. rotația capului, rotația membrelor sau rotația trunchiului), fapt care îl face util în caracterizarea controlului postural și a coordonării mișcărilor diferitelor segmente ale corpului.

Giroscoapele pot fi utilizate în evaluarea clinică pentru a obține evaluări ale echilibrului, stabilității și calității mișcării. Giroscopul permite cuantificarea amplitudinii și vitezei mișcărilor compensatorii, detectarea asimetriilor și depistarea tiparelor anormale de mișcare în afecțiuni neurologice, ortopedice sau reumatismale. Dispozitivele care integrează giroscoape pot evalua mișcările de rotație (ale segmentului pe care este poziționat senzorul) în jurul a 3 axe ortogonale (X, Y, Z) (Figura 8). Deseori, giroscoapele sunt asociate cu alte tipuri de senzori (ex. accelerometru, EMG de suprafață, magnetometru) pentru o mai bună caracterizare a parametrilor de mișcare.

Numeroase dispozitive portabile care integrează giroscoape (ex. sub formă de veste, centuri sau manșete cu senzori) împreună cu alte tipuri de senzori (ex. accelerometre și magnetometre) au fost testate și utilizate pentru evaluarea pacienților cu boli neurologice sau musculoscheletale (ex. postură, tipare de mișcare, echilibru, asimetrie).

#### 9. Magnetometrul

Un magnetometru este un senzor care măsoară intensitatea și direcția câmpului magnetic terestru, permițând determinarea orientării segmentelor corporale în spațiu atunci când este integrat în module (unități) inerțiale de măsurare (UIM/IMU) împreună cu alte tipuri de senzori (ex. accelerometre și giroscoape).

Utilizarea dispozitivelor care integrează giroscoape și magnetometre miniaturizate (atașate pe diverse segmente ale corpului) oferă examinatorului date importante cu privire la deficitul funcțional: asimetrii de mers, limitarea

amplitudinii de mișcare la nivelul articulațiilor, instabilitate posturală, dificultățile la inițierea unei mișcări sau la oprire.

#### 10. Senzorul de poziționare geografică

Senzorul de poziționare geografică (GPS, *Global Positioning System*) este un dispozitiv care recepționează semnale de la sateliți pentru a determina poziția în spațiu și deplasarea unui obiect sau unei persoane (în timp real), astfel permițând înregistrarea distanțelor și traseelor parcurse, respectiv a vitezei de mers.

Utilizarea GPS poate oferi informații despre activitatea fizică, gradul de autonomie a pacientului, restricțiile funcționale și evitarea anumitor situații (ex. deplasarea pe teren accidentat, distanțe lungi). GPS este deseori asociat cu senzori inerțiali (accelerometre, giroscopuri) și sisteme IMU portabile, pedometre, senzori pentru ritmul cardiac sau pulsoximetre. Combinarea acestor tehnologii permite coroborarea datelor spațiale (ex. distanța parcursă, tipul de traseu, viteză) cu cei fiziologici și de mișcare pe segmente, conturând o imagine complexă cu privire la impactul funcțional și toleranța la efort.

#### 11. Senzorul de temperatură

Senzorii de temperatură măsoară energia termică generată de un obiect și pot fi de tip digital sau analogic.

#### *B. Exemple de senzori duali (dubli)*

Senzorii dubli integrează două tipuri de senzori în același dispozitiv. Utilizarea simultană a două tipuri de senzori oferă oportunitatea analizei a doi parametri ai stării de sănătate în paralel, deseori cu un scop specific (ex. evaluarea parametrilor de mișcare, evaluarea stării de sănătate a sistemului cardiovascular). Câteva exemple de asocieri de două tipuri de senzori se regăsesc mai jos:

- Accelerometru și giroscop;
- Accelerometru și FPG;
- Accelerometru și GPS;
- ECG și FPG;
- ECG și pulsoximetru;
- ECG și EEG;
- Oscilometru și senzor de temperatură.

### C. Exemple de senzori heterogeni (multipli)

Senzorii heterogeni conturează o imagine mai complexă asupra stării de sănătate. Aceste tehnologii presupun asocierea a trei sau mai mulți senzori pentru monitorizarea simultană a diferiților parametri fiziologici și de mediu, oferind o evaluare integrată și mai precisă a stării pacientului. Câteva exemple de asocieri de trei sau mai mulți senzori se regăsesc mai jos:

- Accelerometru, giroscop și magnetometru;
- Accelerometru, giroscop, magnetometru și GPS;
- Accelerometru, giroscop, magnetometru și ECG;
- FPG, oscilometru și pulsoximetru;
- FPG, ECG, oscilometru, pulsoximetru și senzor de temperatură;
- FPG, ECG, oscilometru și EEG;
- ECG, oscilometru, pulsoximetru și senzor de temperatură;
- ECG, oscilometru, pulsoximetru, accelerometru, giroscop și magnetometru;
- ECG, EMG, FPG și senzor de temperatura;
- FPG, senzor de temperatura și pulsoximetru.

Integrarea noilor tehnologii (platforme de telemedicină și diverșii senzori portabili și sisteme de monitorizare avansată) modifică modul în care sunt evaluați pacienții candidați pentru terapia de recuperare. Aceste instrumente permit o apreciere mai fidelă a statusului funcțional, a gradului de independență și a riscurilor asociate, facilitând selecția adecvată a pacienților, monitorizarea continuă, personalizarea programelor de reabilitare și evaluarea răspunsului la tratament.

Totodată, utilizarea lor responsabilă presupune standardizare, validare cu examinarea clinică clasică (și cu scorurile clinice și funcționale uzuale), protecția datelor și formarea adecvată a profesioniștilor din sănătate. Astfel, tehnologiile digitale nu înlocuiesc evaluarea clinică clasică, ci o pot completa, deschizând o cale către intervenții de recuperare mai precise (țințite), mai eficiente și mai centrate pe pacient.

### **2.3. Integrarea cu Clasificarea Internațională a Funcționării, Dizabilității și Sănătății (ICF)**

Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a conceput ICF (*International Classification of Functioning, Disability and Health*, Clasificarea Internațională a Funcționării, Dizabilității și Sănătății) pentru a

oferi un limbaj comun și un cadru standardizat pentru descrierea și organizarea informațiilor privind funcționarea și dizabilitatea.

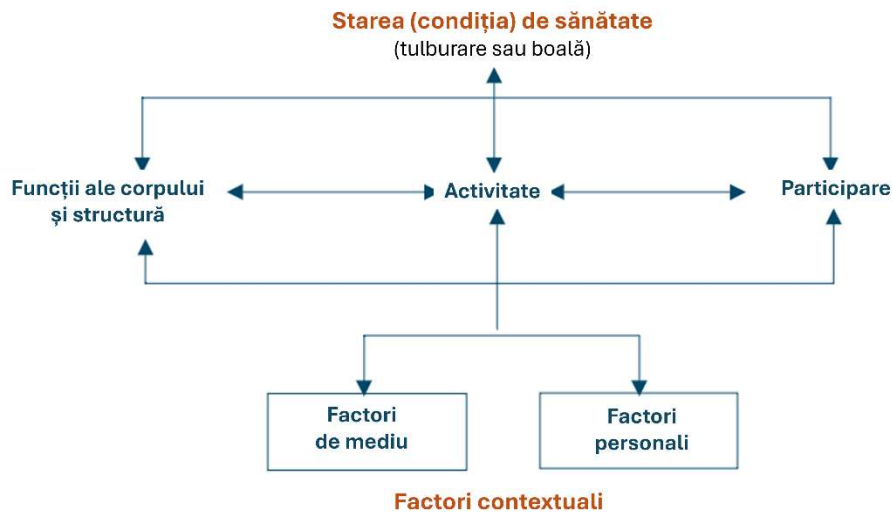
ICF propune o abordare bio-psiho-socială complexă, care integrează factori legați de pacient, de mediu și de starea de sănătate:

- Bio – stare de sănătate, tulburări obiectivate;
- Psiho – stare psihică;
- Social – participare socială/profesională.

Acest model (modelul bio-psiho-social) reprezintă o evoluție importantă față de vechile modele:

- modele exclusiv biomedicale (care priveau dizabilitatea doar ca o consecință directă a bolii)
- modele exclusiv psihosociale (care priveau dizabilitatea doar ca o problemă de mediu și capacitate de integrare).

Modelul bio-psiho-social al ICF integrează toate aceste perspective (Figura 11), considerând dizabilitatea ca rezultatul interacțiunii complexe și dinamice dintre afectarea funcțională a individului și factorii contextuali (de mediu și personali).



**Figura 11.** Modelul de dizabilitate de la baza ICF (Adaptat după: *World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) [Internet]. Geneva: World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health>).*

ICF Checklist (listă de verificare) este un instrument practic al OMS (bazat pe clasificarea ICF, un „rezumat structurat” al funcționalității) utilizat pentru a colecta și înregistra în mod standardizat informații despre parametrii funcționali și gradul de dizabilitate al unei persoane (de obicei în context clinic, de reabilitare, de asistență socială și în alte situații).

ICF Checklist (versiunea 2.1a pentru clinicieni) urmărește domeniile prezentate în Tabelul 2. Pentru fiecare dintre subdomenii, clinicianul poate acorda un calificativ numeric în funcție de gradul de dizabilitate.

**Tabelul 2.** Domenii și sub-domenii ale ICF Checklist.

<b>Domenii</b>	<b>Sub-domenii</b>
Date demografice	Nume, sex, data nașterii, adresa (opțional), nr. de ani de educație, starea civilă actuală, ocupație, diagnostic
Funcții ale corpului <i>Funcțiile fiziologice și psihologice</i>	Funcții mentale (conștiență, orientare, atenție, memorie, emoții, funcții cognitive superioare etc.) Funcții senzoriale și durere (vedere, auz, echilibru, durere) Funcții legate de voce și vorbire Funcții cardiovasculare, hematologice, imunologice și respiratorii Funcții digestive, metabolice și endocrine Funcții genito-urinare și de reproducere Funcții neuro-musculoscheletale și legate de mișcare Funcțiile pielii și structurilor asociate Altele
Structuri ale corpului <i>Structurile anatomice (organe, membre etc.) și eventualele afectări/tulburări sau pierderi ale unor structuri</i>	Structura sistemului nervos (creier, măduvă, nervi periferici) Structura ochiului, urechilor și structuri asociate Structuri implicate în voce și vorbire Structura sistemului cardiovascular, imun și respirator Structuri legate de sistemul digestiv, metabolic și endocrin Structuri genito-urinare și de reproducere Structuri legate de mișcare (membre, trunchi, articulații, oase, mușchi) Structura pielii și structurile asociate Altele

<p>Activități și participare</p> <p><i>Capacitatea persoanei de a efectua anumite activități și capacitatea de participare socio-profesională</i></p>	<p>Învățare și aplicarea cunoștințelor (citit, scris, calcul, rezolvare de probleme)</p> <p>Sarcini generale și cerințe (realizarea de sarcini simple/multiple)</p> <p>Comunicare (înțelegerea și producerea mesajelor vorbite / non-verbale)</p> <p>Mobilitate (mers, folosirea mijloacelor de transport, folosirea mâinilor etc.)</p> <p>Autoîngrijire (igienă, îmbrăcat, mâncat, băut, îngrijirea sănătății)</p> <p>Viața domestică (gătit, curățenie, cumpărături, a avea grijă de alții)</p> <p>Interacțiuni și relații interpersonale (relații de familie, prieteni, relații formale și informale)</p> <p>Domenii majore ale vieții (educație, muncă, tranzacții economice)</p> <p>Viața comunitară, socială și civică (timp liber, viață comunitară, religie, viață politică)</p> <p>Altele</p>
<p>Factori de mediu</p> <p><i>Mediul fizic, social și atitudine</i></p>	<p>Obiecte și tehnologie (ajutoare tehnice, dispozitive de mobilitate, tehnologie de comunicare etc.)</p> <p>Mediu natural și modificări aduse de om (climat, lumină, zgomot etc.)</p> <p>Sprijin și relații (familie, prieteni, profesioniști, îngrijitori)</p> <p>Atitudini (atitudini individuale și ale societății față de dizabilitate)</p> <p>Servicii, sisteme și politici (sănătate, educație, domiciliu, muncă, legislație, protecție socială)</p> <p>Altele</p>
<p>Alte informații contextuale</p>	<p>Schiță miniaturală a persoanei și/sau orice alte informații relevante</p> <p>Factori personali cu impact asupra dizabilității (stilul de viață, obiceiurile, mediul social, educația, evenimente importante din viață, rasa/etnia, orientarea sexuală și atuurile individului)</p>

Integrarea tehnologiilor de evaluare a pacienților în cadrul terapiei de recuperare (dispozitive cu senzori, platforme de telemedicină – inclusiv aplicații mobile/aplicații/site-uri web) cu ICF permite o descriere mai obiectivă și standardizată a profilului funcțional.

Datele obținute prin mijloace tehnologice pot fi traduse în termenii ICF (funcții/structuri ale corpului, activități, participare, factori de mediu și

factori personali), oferind o bază comună pentru echipa multidisciplinară și facilitând planificarea intervenției de reabilitare alături de monitorizarea rezultatelor și evoluției pe parcursul tratamentului și post-terapie.

## **2.4. Evaluări standardizate**

Utilizarea metodelor de evaluare standard în funcție de patologie (ex. parametri clinici, scoruri de mobilitate, scoruri funcționale sau de activitate) reprezintă un limbaj comun nu doar pentru echipa medicală, pentru cercetare și pentru comunicarea interdisciplinară eficientă, dar și pentru comunicarea între centrele medicale.

Informațiile colectate cu ajutorul dispozitivelor bazate pe senzori reprezintă date obiective („brute”), cu condiția utilizării corecte a tehnologiilor (ex. ABPM, traseu EMG, EEG, ECG etc.). Acest tip de informații nu prezintă restricții legate de subiectivitatea pacientului sau a examinatorului, respectiv restricții legate de limbă (în contextul comunicării între centre medicale din țări diferite).

Evaluarea tehnologizată a parametrilor stării de sănătate vine în completarea examenului clinic, furnizând date obiective și cuantificabile. O parte dintre investigațiile realizate cu ajutorul senzorilor fac parte din evaluarea standard pentru anumite patologii. De exemplu, examinările precum ECG și măsurarea tensiunii arteriale fac parte din evaluarea de rutină a stării de sănătate a sistemului cardiovascular. Totuși, aceste investigații paraclinice nu pot înlocui anamneza și examenul clinic (rezultatele trebuie corelate cu datele anamnestice și clinice), nici alte investigații relevante pentru evaluarea sănătății sistemului cardiovascular.

## Bibliografie

1. Al-Ayyad M, Owida HA, De Fazio R, Al-Naami B, Visconti P. Electromyography monitoring systems in rehabilitation: A review of clinical applications, wearable devices and signal acquisition methodologies. *Electronics*. 2023 Mar 23;12(7):1520.
2. Aldemir K, Gürkan A. The effect of pedometer-supported walking and telemonitoring after disc hernia surgery on pain and disability levels and quality of life. *Int. J Nurs Pract*. 2021 Apr;27(2):e12917.
3. Alexander M, editor. Telerehabilitation, E-Book: Principles and Practice. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2021.
4. Altaheri H, Muhammad G, Alsulaiman M, Amin SU, Altuwaijri GA, Abdul W, Bencherif MA, Faisal M. Deep learning techniques for classification of electroencephalogram (EEG) motor imagery (MI) signals: A review. *Neural Comput Appl*. 2023 Jul;35(20):14681-722.
5. Anikwe CV, Nweke HF, Ikegwu AC, Egwuonwu CA, Onu FU, Alo UR, Teh YW. Mobile and wearable sensors for data-driven health monitoring system: State-of-the-art and future prospect. *Expert Syst Appl*. 2022 Sep 15;202:117362.
6. Arfaei Chitkar SS, Mohaddes Hakkak HR, Saadati H, Hosseini SH, Jafari Y, Ganji R. The effect of mobile-app-based instruction on the physical function of female patients with knee osteoarthritis: a parallel randomized controlled trial. *BMC Womens Health*. 2021 Sep 14;21(1):333.
7. Ashur C, Cascino TM, Lewis C, Townsend W, Sen A, Pekmezi D, Richardson CR, Jackson EA. Do wearable activity trackers increase physical activity among cardiac rehabilitation participants? A systematic review and meta-analysis. *JCRP*. 2021 Jul 1;41(4):249-56.
8. Avila ER, Williams SE, Disselhorst-Klug C. Advances in EMG measurement techniques, analysis procedures, and the impact of muscle mechanics on future requirements for the methodology. *J Biomech*. 2023 Jul 1;156:111687.
9. Barry C, Xuan Y, Fascetti A, Moore A, Wang EJ. Oscillometric blood pressure measurements on smartphones using vibrometric force estimation. *Sci Rep*. 2024 Oct 31;14(1):26206.
10. Biondi A, Santoro V, Viana PF, Laiou P, Pal DK, Bruno E, Richardson MP. Noninvasive mobile EEG as a tool for seizure monitoring and management: A systematic review. *Epilepsia*. 2022 May;63(5):1041-63.
11. Bourdon A, Damm L, Dotov D, Ihalainen P, Dalla Bella S, Bardy BG, Cochen De Cock V. Gait ecological assessment in persons with

- Parkinson's disease engaged in a synchronized musical rehabilitation program. *NPJ Parkinsons Dis.* 2025 Jan 7;11(1):12.
12. Brambilla C, Pirovano I, Mira RM, Rizzo G, Scano A, Mastropietro A. Combined use of EMG and EEG techniques for neuromotor assessment in rehabilitative applications: A systematic review. *Sensors.* 2021 Oct 22;21(21):7014.
  13. Brückner S, Sadare O, Fesl S, Scheibe M, Lang C, Gilbert S. Attitudes of healthcare professionals and researchers toward wearable and app derived patient generated health data. *NPJ Digit Med.* 2025 Mar 30;8(1):186.
  14. Caña-Pino A, Holgado-López P. Wearable-Sensor and Virtual Reality-Based Interventions for Gait and Balance Rehabilitation in Stroke Survivors: A Systematic Review. *Signals.* 2025 Sep 11;6(3):48.
  15. Cardoso S. Modalities for the implementation of telerehabilitation [Internet]. Humanity & Inclusion, Rehabilitation Division; 2022, Available from: [https://www.hi.org/sn\\_uploads/document/Modalities-for-implementation-of-telerehabilitation\\_PG44\\_Brief.pdf](https://www.hi.org/sn_uploads/document/Modalities-for-implementation-of-telerehabilitation_PG44_Brief.pdf) [Accessed: 4 noiembrie 2025].
  16. Chandak A, Gudapati J, Kulkarni PB. The cost-effectiveness and patient satisfaction of telehealth in geriatric care: a systematic review. *BMC Geriatr.* 2025 Dec;25(1):968.
  17. Conklin JP, Wallace T, McCauley KL, Breitenstein J, Gore RK. Level of evidence of telehealth rehabilitation and behavioral health services for traumatic brain injury: a scoping review. *J Clin Psychol Med Settings.* 2024 Jun;31(2):379-402.
  18. Daniel CR, Yazbek P, Santos AC, Battistella LR. Validity study of a triaxial accelerometer for measuring energy expenditure in stroke inpatients of a physical medicine and rehabilitation center. *Top Stroke Rehabil.* 2023 May 19;30(4):402-9.
  19. Davoudi A, Mardini MT, Nelson D, Albinali F, Ranka S, Rashidi P, Manini TM. The effect of sensor placement and number on physical activity recognition and energy expenditure estimation in older adults: Validation study. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2021 May 3;9(5):e23681.
  20. Delmotte L, Desebbe O, Alexander B, Kouz K, Coeckelenbergh S, Schoettker P, Turgay T, Joosten A. Smartphone-based versus non-invasive automatic oscillometric brachial cuff blood pressure measurements: a prospective method comparison volunteer study. *J Pers Med.* 2023 Dec 21;14(1):15.
  21. Desebbe O, El Hilali M, Kouz K, Alexander B, Karam L, Chirnoaga D, Knebel JF, Degott J, Schoettker P, Michard F, Saugel B. Evaluation of a new smartphone optical blood pressure application (OptiBP™) in the post-anesthesia care unit: a method comparison study against the non-

- invasive automatic oscillometric brachial cuff as the reference method. *J Clin Monit Comput.* 2022 Oct;36(5):1525-33.
22. Ding Y, Cao Y, Qu Q, Duffy VG. An exploratory study using electroencephalography (EEG) to measure the smartphone user experience in the short term. *Int J Hum Comput Interact.* 2020 Jul 2;36(11):1008-21.
  23. El Aoufy K, Melis MR, Magi CE, Bellando-Randone S, Tamburini M, Bandini G, Moggi-Pignone A, Matucci-Cerinic M, Bambi S, Rasero L. Evidence for telemedicine heterogeneity in rheumatic and musculoskeletal diseases care: a scoping review. *Clin Rheumatol.* 2024 Sep;43(9):2721-63.
  24. Elgendi M, Jost E, Alian A, Fletcher RR, Bomberg H, Eichenberger U, Menon C. Photoplethysmography features correlated with blood pressure changes. *Diagnostics.* 2024 Oct 17;14(20):2309.
  25. Ellington FT, Nguyen A, Huang MH, Le T, Choi B, Cao H. Speckle Plethysmograph-Based Blood Pressure Assessment. *Technologies.* 2024 May 18;12(5):70.
  26. Farago E, MacIsaac D, Suk M, Chan AD. A review of techniques for surface electromyography signal quality analysis. *IEEE Rev Biomed Eng.* 2022 Apr 5;16(1):472-86.
  27. Ferreira JS, Cruvinel-Júnior RH, Duarte M, Sacco IC. Gait Profile Scores and their correlation with clinical outcomes in individuals with diabetic neuropathy: a cross-sectional study with 102 patients. *Gait Posture.* 2025 Jul 23; 122(1):240-246.
  28. Freithaler M, Chandrasekhar A, Dhamotharan V, Landry C, Shroff SG, Mukkamala R. Smartphone-based blood pressure monitoring via the oscillometric finger pressing method: Analysis of oscillation width variations can improve diastolic pressure computation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2023 May 17;70(11):3052-63.
  29. Fukushima T, Nakamura Y, Kurumadani H, Date S, Tominaga M, Sunagawa T. Prospective observational study of daily upper-limbs activities following arthroscopic rotator cuff repair using triaxial accelerometers: Recovery process and relationship with preoperative clinical parameters. *J Orthop Sci.* 2025 Sep 18.
  30. Gómez-Alguacil M, Llanos-Ruíz V, Moreno-Galdós L, Madrigal-Azcona M, López-Román A, Cano-de-la-Cuerda R, Alguacil-Diego IM. [Validity of the PEDOMETER® mobile application for evaluating cardiorespiratory fitness and fatigue resistance in cardiac rehabilitation. A pilot study]. *An Sist Sanit Navar.* 2024 Dec 2;47(3):e1078.
  31. He J, Ou J, He A, Shu L, Liu T, Qu R, Xu X, Chen Z, Yan Y. A new approach for daily life blood-pressure estimation using smart watch. *Biomed Signal Process Control.* 2022 May 1;75:103616.

32. Hoevenaars D, Holla JF, Te Loo L, Koedijker JM, Dankers S, Houdijk H, Visser B, Janssen TW, de Groot S, Deutekom M, WHEELS Study Group. Mobile app (WHEELS) to promote a healthy lifestyle in wheelchair users with spinal cord injury or lower limb amputation: usability and feasibility study. *JMIR Form Res*. 2021 Aug 9;5(8):e24909.
33. Hölle D, Bleichner MG. Smartphone-based ear-electroencephalography to study sound processing in everyday life. *Eur J Neurosci*. 2023 Oct;58(7):3671-85.
34. Huang H, Gong W, Chen Z, Mei F, Deng J, Wu N, Hong C, Qiu S, Zhao X. Design and research of a wearable system for spinal deformity rehabilitation based on curvature and electromyography sensors. *Sci Prog*. 2025 Oct;108(4):00368504251387233.
35. Khurshid S, Weng LC, Nauffal V, Pirruccello JP, Venn RA, Al-Alusi MA, Benjamin EJ, Ellinor PT, Lubitz SA. Wearable accelerometer-derived physical activity and incident disease. *NPJ Digit Med*. 2022 Sep 2;5(1):131.
36. Kristoffersson A, Lindén M. A systematic review of wearable sensors for monitoring physical activity. *Sensors*. 2022 Jan 12;22(2):573.
37. Lal H, Mohanta S, Kumar J, Patralekh MK, Lall L, Katariya H, Arya RK. Telemedicine-rehabilitation and virtual reality in orthopaedics and sports medicine. *Indian J Orthop*. 2023 Jan;57(1):7-19.
38. Lam E, Alizadeh-Meghbrazi M, Schlums A, Eskandarian L, Mahnam A, Moineau B, Popovic MR. Exploring textile-based electrode materials for electromyography smart garments. *J Rehabil Assist Technol Eng*. 2022 Feb 1;9:20556683211061995.
39. Lee CA, Chou CW, Shieh CS, Horng MF, Guo SW. A Smart Sensor for Gait Analysis of Rehabilitation Assessment. In: Pan JS, Zin TT, Sun TW, Lin JCW, editors. Genetic and Evolutionary Computing: Proceedings of the Sixteenth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (Volume 2). Singapore: Springer; 2024; p. 199-208.
40. Li YI, Zhong-Hua LV, Shun-Ying HU, Yu-Qi LI, Jia-Bing YA, Hong-Bao LI, Qin CH, Yue-Yang LI, Hao ZH, Mu-Ding LI, Run-Du CH. Validating the accuracy of a multifunctional smartwatch sphygmomanometer to monitor blood pressure. *J Geriatr Cardiol*. 2022 Nov 28;19(11):843.
41. Lin S, Evans K, Hartley D, Morrison S, McDonald S, Veidt M, Wang G. A Review of Gait Analysis Using Gyroscopes and Inertial Measurement Units. *Sensors*. 2025 May 31;25(11):3481.
42. Lin WY, Chen CH, Lee MY. Design and implementation of a wearable accelerometer-based motion/tilt sensing internet of things module and its application to bed fall prevention. *Biosensors*. 2021 Oct 29;11(11):428.
43. Macea J, Bhagubai M, Broux V, De Vos M, Van Paesschen W. In-hospital and home-based long-term monitoring of focal epilepsy with a wearable

- electroencephalographic device: diagnostic yield and user experience. *Epilepsia*. 2023 Apr;64(4):937-50.
44. Marks A, Oliveira Barbosa S, Napoli D, D'Andrea SE. Anodal tDCS and virtual reality gait rehabilitation in individuals with chronic stroke: a case series report. *Front Stroke*. 2025 Jan 30;4:1489031.
  45. Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U, Delisle Nyström C, Mora-Gonzalez J, Löf M, Labayen I, Ruiz JR, Ortega FB. Accelerometer data collection and processing criteria to assess physical activity and other outcomes: a systematic review and practical considerations. *Sports Med*. 2017 Sep;47(9):1821-45.
  46. Mulert C, Lemieux L, editors. EEG-fMRI: physiological basis, technique, and applications (2nd Edition). Cham: Springer; 2022.
  47. Nasiri S, Khosravani MR. Progress and challenges in fabrication of wearable sensors for health monitoring. *Sensor Actuat A Phys*. 2020 Sep 1;312:112105.
  48. Noh SA, Kim HS, Kang SH, Yoon CH, Youn TJ, Chae IH. History and evolution of blood pressure measurement. *Clin Hypertens*. 2024 Apr 1;30(1):9.
  49. Ó Breasail M, Biswas B, Smith MD, Mazhar MK, Tenison E, Cullen A, Lithander FE, Roudaut A, Henderson EJ. Wearable GPS and accelerometer technologies for monitoring mobility and physical activity in neurodegenerative disorders: a systematic review. *Sensors*. 2021 Dec 10;21(24):8261.
  50. Otaka E, Oguchi K, Yagihashi K, Hoshino T, Munakata S, Hayakawa A, Otaka Y. Feasibility and efficacy of an activity-monitoring approach using pedometer in patients undergoing subacute rehabilitation: A pilot study. *Front Rehabil Sci*. 2023 Mar 22;4:1050638.
  51. Özden F, Sari Z, Tuğay N, editors. Telerehabilitation. Berlin/Heidelberg: Springer; 2024.
  52. Phan H, Mikkelsen K. Automatic sleep staging of EEG signals: recent development, challenges, and future directions. *Physiol Meas*. 2022 Apr 28;43(4):04TR01.
  53. Rose MJ, Costello KE, Eigenbrot S, Torabian K, Kumar D. Inertial measurement units and application for remote health care in hip and knee osteoarthritis: Narrative review. *JMIR Rehabil Assist Technol*. 2022 Jun 2;9(2):e33521.
  54. Roy SK, Shah SU, Villa-Lopez E, Murillo M, Arenas N, Oshima K, Chang RK, Lauzon M, Guo X, Pillutla P. Comparison of electrocardiogram quality and clinical interpretations using repositioned ECG electrodes and conventional individual electrodes. *J Electrocardiol*. 2020 Mar 1;59:126-33.

55. Sakima A, Akagi Y, Akasaki Y, Fujii T, Haze T, Kawakami-Mori F, Kitajima K, Kobayashi Y, Matayoshi T, Sakaguchi T, Yamazato M. Effectiveness of digital health interventions for telemedicine/telehealth for managing blood pressure in adults: a systematic review and meta-analysis. *Hypertens Res.* 2025 Feb;48(2):478-91.
56. Sastimoglu Z, Subramaniam S, Faisal AI, Jiang W, Ye A, Deen MJ. Wearable PPG based BP estimation methods: A systematic review and meta-analysis. *IEEE J Biomed Health.* 2024 Nov 15.
57. Schutte AE, Kollias A, Stergiou GS. Blood pressure and its variability: classic and novel measurement techniques. *Nat Rev Cardiol.* 2022 Oct;19(10):643-54.
58. Siaw TU, Han YC. Necessity of Gyroscopes and Accelerometers in Angle Estimation for Quantitative Physiotherapy Evaluation of Lower Limb Kinematics During Walking. *IEEE Sens J.* 2024 Sep 16; 24(21): 35481-35489.
59. Tan HH, Neo LS, Chen XK, Ahmad N, Low R, Loong K. Are we ready for telehealth? a latent profile analysis of telehealth receptiveness, personality traits and socio-demographics. *J Technol Behav Sci.* 2025 Mar;10(1):148-58.
60. Thielman G, Roos M. A telehealth exercise program to improve cognition in people with stroke. *Sci Rep.* 2025 Jul 1;15(1):21109.
61. Triantafyllou A, Papagiannis G, Stasi S, Bakalidou D, Kyriakidou M, Papathanasiou G, Papadopoulos EC, Papagelopoulos PJ, Koulouvaris P. Application of wearable sensors technology for lumbar spine kinematic measurements during daily activities following microdiscectomy due to severe sciatica. *Biology.* 2022 Mar 3;11(3):398.
62. World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) [Internet]. Geneva: World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> [Accessed: 6 noiembrie 2025].

### 3. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA APARATULUI LOCOMOTOR

#### Definiție

**Reabilitarea medicală** – proces complex, interdisciplinar, care vizează restabilirea, menținerea sau compensarea funcțiilor fizice, mentale și sociale pierdute ori afectate de boală, traumă sau de o intervenție chirurgicală. Include diagnostic, intervenții (terapeutice, fizice, tehnologice), monitorizare și reintegrare socială.

**Definiție OMS (Organizația Mondială a Sănătății 2023):** „Reabilitarea este un set de intervenții concepute pentru a optimiza funcționarea și a reduce dizabilitatea în interacțiunea cu mediul.” – World Health Organization, Rehabilitation 2030.

**Aparatul locomotor** – totalitatea structurilor anatomice (oase, mușchi, tendoane, ligamente, articulații) implicate în susținere, mișcare, deplasare. Reabilitarea aparatului locomotor se referă la intervenții ce restabilesc echilibrul, forța, mobilitatea, capacitatea funcțională sau abilitatea unei persoane de a-și îndeplini sarcinile cotidiene și de a participa la activitățile obișnuite zilnice.

#### Obiective

Pornind de la aceste repere conceptuale menționate anterior, este important să analizăm obiectivele reabilitării aparatului locomotor, deoarece ele stau la baza ierarhizării intervențiilor terapeutice și a alegerii tehnologiilor folosite în procesul de reabilitare, personalizat, funcție de nevoile fiecărui pacient.

Obiectivele principale ale reabilitării aparatului locomotor includ:

1. Controlul durerii și al inflamației;
2. Mobilizarea precoce (pasivă/activă) după intervenții sau diferite leziuni, cu scopul prevenirii complicațiilor (hipotrofie musculară, contracturi, redori articulare, anchiloze);
3. Restabilirea mobilității articulare pasive, apoi a celei active, creșterea amplitudinii mișcărilor active;
4. Creșterea tonusului și a forței musculare;
5. Îmbunătățirea echilibrului, coordonării și a propriocepției;

6. Adaptarea funcțională la activitățile zilnice (ADL – Activities of Daily Living);
7. Adaptare la dizabilitate (antrenament pentru folosirea unui scaun rulant sau a unei proteze);
8. Reducerea duratei spitalizării și optimizarea utilizării resurselor medicale;
9. Reintegrarea socio-profesională și creșterea calității vieții;
10. Prevenirea apariției recidivelor și a complicațiilor pe termen lung (schimbări de stil de viață, educație, adaptarea mediului).

Pentru ca obiectivele reabilitării aparatului locomotor să se poată realiza într-un mod eficient și durabil, este fundamental să definim mijloacele concrete (terapiile, tehnicile, tehnologiile și abordările interdisciplinare) prin care se pune în practică planul de tratament, adaptat nevoilor și particularităților fiecărui pacient.

Deși intervențiile convenționale, tradiționale cum ar fi tratamentele medicamentoase, fizioterapia, kinetoterapia, terapia ocupațională și suportul psihologic, rămân pilonii fundamentali ai reabilitării, tehnologiile medicale moderne și-au câștigat un loc important în cadrul acestui proces complex. Utilizarea lor deschide noi direcții terapeutice, oferind soluții inovatoare adaptate particularităților fiecărui pacient.

Aceste tehnologii nu doar completează intervențiile tradiționale, ci contribuie în mod activ la individualizarea și eficientizarea tratamentului, iar în cele ce urmează, vom analiza aplicabilitatea acestor soluții tehnologice în reabilitarea aparatului locomotor.

### **3.1. Tipuri de tehnologii**

Clasificarea tehnologiilor utilizate în reabilitarea aparatului locomotor:

- După echipament (hardware): dispozitive robotice și exoschelete, dispozitive portabile, aparatură pentru stimularea electrică, platforme sau benzi robotizate cu suport de greutate;
- După programe (software): realitate virtuală, realitate augmentată, aplicații de telereabilitare, machine learning pentru monitorizare și feedback;
- După locul unde sunt utilizate și accesate: în clinici sau spitale, în ambulatoriu sau la domiciliu;
- După nivelul de interactivitate: pasiv, asistat, activ;
- După scopul terapeutic: îmbunătățirea mersului, restabilirea forței musculare și a mobilității articulare, îmbunătățirea echilibrului, a coordonării și a propriocepției, pentru controlul durerii, pentru recuperarea funcțională a membrilor superioare cum ar fi dexteritatea, prinderea.

## *1. Tehnologii robotice și exoschelete*

**Tehnologiile robotice** în reabilitarea medicală sunt reprezentate de dispozitive automate sau controlate de computer, care asistă, repetă sau ghidează mișcările pacientului în timpul terapiei fizice. Pot fi fixe sau staționare și sunt încorporate în aparate/mecanisme mari, sau pot fi portabile cum e cazul unor versiuni moderne.

Aceste tehnologii au următoarele roluri:

- de repetare cu acuratețe a mișcărilor (fie a celor active, pasive sau a mișcărilor asistate);
- de măsurare a forței, amplitudinii de mișcare și a progresului obținut;
- de furnizare a feedback-ului vizual sau motivațional cu ajutorul ecranelor, a realității virtuale sau a jocurilor), feedback util în îmbunătățirea performanțelor antrenamentului.

Câteva exemple de tehnologii robotice: Armeo, Lokomat, ReoGo, MIT-Manus.

**Exoscheletul** este un cadru mecanic extern care se atașează corpului pacientului pentru a sprijini, ghida sau amplifica mișcările. Poate fi: pasiv ce nu dispune de mecanism motor și are rol doar în a sprijini mișcarea pe care pacientul trebuie să o efectueze (cum este, de exemplu, cazul exoscheletului care susține brațul contra gravitației) sau activ (robotizat) ce dispune de senzori și motoare și realizează deplasarea membrelor pacientului.

Rolurile principale ale exoscheletelor:

- asistă pacienții să își miște brațele, să meargă, sau să realizeze sarcini motorii;
- susțin reabilitarea funcțională și chiar mobilitatea zilnică;
- poate fi utilizat și în viața de zi cu zi (nu doar în cadrul ședintelor de terapie).

- Dispozitive robotice pentru membrele superioare** (Armeospring, Wearable Robotics – Alex, Gloreha Collezione, Diego-Tyromotion, Armeo Power, WREX-Wilmington Robotic, ReoGo).
- Exoschelete pasive pentru membrele inferioare** (exoschelete pasive pentru genunchi sau șold-orteze șold sau genunchi, exoschelete pentru antrenament static).
- Sisteme robotizate pentru mers** (Lokomat, Rewalk exoskeleton, Indego exoskeleton, Walkbot, G-Gaiter, RoboGait).

## 2. Realitate virtuală, realitate augmentată, realitatea mixtă

Realitatea virtuală simulează un mediu virtual tridimensional, generat de computer și permite celor care folosesc această tehnologie să interacționeze cu lumea virtuală într-un mod similar realității, creând impresia că utilizatorul este prezent fizic într-un mediu simulat și poate interacționa cu personaje virtuale, cunoscute și sub numele de avatare. Realitatea virtuală poate fi o tehnologie utilă pentru echilibru și în prevenirea căderilor.

Realitatea augmentată reprezintă o tehnologie ce permite suprapunerea unei imagini generate de computer peste o imagine din lumea reală și care permite interacțiuni între imagini sau obiecte virtuale și imagini existente în lumea reală. În reabilitare, realitatea augmentată ajută la îmbunătățirea funcției fizice, a amplitudinii mișcărilor și a mersului.

În timp ce realitatea augmentată suprapune datele digitale peste lumea reală, realitatea virtuală blochează lumea reală și permite interacțiunea cu un mediu virtual simulat. Patru elemente de bază compun realitatea virtuală: prezența virtuală, mediul virtual, interactivitatea și feedback-ul senzorial. Cu ajutorul realității virtuale se poate stimula neuroplasticitatea datorită numărului mare de repetiții, ducând la schimbări mici și rapide ale dificultății exercițiului ceea ce permite participanților să rămână motivați și implicați în timpul antrenamentului. În același timp ajută la îmbunătățirea funcției fizice (capacitatea de a realiza mișcări și activități specifice precum mersul, ridicarea greutăților sau prinderea obiectelor), a condiției fizice (starea generală de sănătate a unei persoane, inclusiv flexibilitatea, rezistența și forța), a controlului postural și a echilibrului, cu prevenirea căderilor, a disfuncției vestibulare și la scăderea anxietății.

## 3. Tehnologii de stimulare electrică/neuromodulare

a) Stimularea electrică transcutanată a nervilor (TENS, *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*) reprezintă un tip de electrostimulare superficială, cu scurte impulsuri electrice; stimulează terminațiile nervoase senzitive, pentru a „bloca” sau reduce percepția durerii; nu declanșează contracții musculare vizibile. Această tehnologie determină ameliorarea durerii.

b) Stimularea electrică nervoasă percutanată (PENS, *Percutaneous Electrical Nerve Stimulation*) reprezintă o tehnologie care combină electrostimularea nervilor periferici (ca în TENS) cu aplicarea percutanată a unor ace fine, sterile, asemănătoare celor folosite în acupunctură, plasate aproape de nervi sau în punctele dureroase. Prin acele percutane conectate la un generator de frecvență, se aplică impulsuri electrice cu o durată de

stimulare de aproximativ 15–30 minute. Această tehnologie minim invazivă are rol important în controlul durerii cronice musculo-scheletale sau a durerii neuropatice, în modularea răspunsului nervos (prin stimularea fibrelor senzitivo- motorii) și reducerea sensibilizării centrale și creșterea pragului durerii.

c) Stimularea electrică neuromusculară (NMES, *Neuromuscular Electrical Stimulation*) reprezintă un tip de electrostimulare direcționată pe mușchi, cu impulsuri mai intense care are ca rezultat activarea terminațiilor nervoase motorii ceea ce determină apariția contracțiilor musculare voluntare sau involuntare; este folosit frecvent în recuperarea funcțională și realizează un adevărat antrenament muscular îndeplinind un rol activ în reabilitarea neuromusculară.

d) Stimulare electrică funcțională (FES, *Functional Electrical Stimulation*) folosește impulsuri electrice controlate pentru a stimula terminațiile nervoase motorii de la nivelul mușchilor peretici sau plegici, impulsuri aplicate în timpul unei activități funcționale (cum este mersul, apucarea, pedalatul etc.) și se aplică sincronizat cu mișcarea. Este o tehnologie folosită în reabilitarea medicală pentru a restabili anumite funcții motorii precum mersul, prinderea obiectelor, ridicarea piciorului etc.) la pacienții cu afectare neuromusculară sau la cei cu afectări neurologice. Este folosit în mod special pentru a produce mișcări coordonate, utile și repetitive, în scop funcțional, cu realizarea unei activități reale.

e) Stimulare magnetică transcraniană (TMS, *Transcranial Magnetic Stimulation*)

este o tehnologie noninvazivă de stimulare neuronală folosind câmpuri magnetice și este utilizată în neurologie, psihiatrie și în reabilitarea neurologică.

Această tehnologie constă în aplicarea unor impulsuri magnetice scurte printr-o bobină plasată pe scalpul pacientului ce generează un curent electric slab la nivelul cortexului cerebral și care determină fie activarea, fie inhibarea sau modularea activității neuronale din zona țintită.

Există mai multe tipuri de stimulare magnetică transcraniană

- Stimularea magnetică transcraniană repetitivă (rTMS, *Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation*) realizează o stimulare repetitivă, în scopul obținerii unor efecte de durată
- Stimularea magnetică transcraniană cu un singur impuls (*Single-pulse Transcranial Magnetic Stimulation*) permite evaluarea răspunsului cerebral și excitabilitatea corticală, fiind folosită în special în cercetare, în realizarea diagnosticului neurologic și în cartografierea cerebrală.
- Stimularea magnetică transcraniană cu impulsuri rapide în rafale (TBS, *Theta burst stimulation*) ce reprezintă un protocol special de

stimulare magnetică transcraniană repetitivă, care furnizează impulsuri în rafale scurte și rapide, inspirate din ritmurile cerebrale naturale *theta* cu obținerea unor rezultate mai rapide și de durată.

f) Stimularea transcraniană cu curent continuu (tDCS, *Transcranial direct current stimulation*) o metodă noninvazivă de neuromodulare, folosită pentru a influența activitatea cerebrală (modifică excitabilitatea) prin aplicarea unui curent electric slab la nivelul scalpului, cu efecte pe perioade mai scurte de timp comparativ cu TMS.

#### 4. Sisteme de analiză a mișcării și biofeedback

a) Sistemele de captare a mișcării (MoCap, *Motion Capture*) reprezintă tehnologii care înregistrează și analizează mișcările corpului uman sau ale obiectelor. Acestea pot utiliza markeri sau pot funcționa fără markeri (markerless), în funcție de tehnologia implementată. Sisteme MoCap bazate pe markeri (Qualisys, SMART-DX, Vicon, Optitrack) sunt sisteme care utilizează camere optice de înaltă viteză și markeri reflectivi atașați pe segmentele corporale. Camerele captează lumina reflectată de acești markeri și permit reconstruirea tridimensională a mișcării cu un grad foarte ridicat de acuratețe. Sunt utilizate în cercetarea biomecanică, analiza mersului și sport de performanță. Un sistem Kinect este o linie de dispozitive de intrare cu detectare a mișcării, dezvoltate de Microsoft, care utilizează o combinație de camere și senzori pentru a urmări mișcările întregului corp, gesturile și comenzile vocale ale unui utilizator, permițând interacțiunea fără controler cu o consolă sau un computer. Hardware-ul sistemului include un senzor de adâncime, o cameră RGB și un microfon *multi-array*, în timp ce software-ul interpretează aceste date pentru aplicații precum jocuri, control vocal și chiar scanare tridimensională.

b) Senzori inerțiali portabili (Noraxon, Xsens MVN)

c) EMG (electromiografie)

d) Biofeedback (MultiReha Vibrabalance, Balance System SD)

#### 5. Aplicații digitale și platforme de telereabilitare

– tehnologie bazată pe vedere (utilizează camere bidimensionale sau tridimensionale și algoritmi de viziune computerizată cu modele de urmărire a întregului schelet): Kinect (combinație de camere și senzori pentru a urmări mișcările întregului corp); polaris Vicra; MoCap (sistem de captare a mișcării bazat pe markeri);

- tehnologie portabilă: textile inteligente; electromiografie de suprafață (sEMG); senzori portabili sau unități de măsură inerțiale (IMU, *Inertial Measurement Unit*);
- tehnologie de detectare a presiunii: covorașe de detectare a presiunii; brânțuri inteligente.

Aceste platforme de telereabilitare folosesc modele de inteligență artificială în scopul recunoașterii activității efectuate și a evaluării calității exercițiilor fizice, captând tiparele și relațiile complexe în date, utilizând modele de învățare profundă (deep learning), mai ales a rețelelor de memorie pe termen lung și scurt (LSTM, *Long-Short-Term Memory*) și a rețelelor convoluționale grafice (GCN, *Graph Convolutional*).

### **3.2. Caracteristici, efecte, indicații, contraindicații, mod de aplicare**

#### *1. Dispozitive robotice pentru membrele superioare*

Roboții utilizați în reabilitarea membrului superior pot fi clasificați funcție de:

- gradul de libertate:
  - roboți cu un singur grad de libertate;
  - roboți cu mai multe grade de libertate.
- după caracteristicile de configurație:
  - roboți efectori finali;
  - roboți exoschelet (cu mecanism de acționare cu motor, acționare pneumatică și acționare cu actuator elastic).

Roboții efectori finali realizează antrenamentul membrului afectat prin tracțiune, de-a lungul unei traiectorii prestabilite și robotul este conectat doar la capătul distal al membrului pacientului, fără ca pacientul să fie nevoit să se alinieze cu articulațiile robotului în timpul mișcării. În schimb, roboții exoschelet presupun ca pacientul să poarte un robot cu mai multe grade de libertate, robot care funcționează după traiectorii spațiale tridimensionale cu o complexitate mai mare. Acești roboții exoschelet pot fi la rândul lor împărțiți în funcție de mecanismul de acționare: acționare cu motor, acționare pneumatică și acționare cu actuator elastic. Aceste caracteristici distincte conferă roboților aptitudini specifice în ceea ce privește rolul de asistență a mișcării, randamentul antrenamentului și, nu în ultimul rând, interacțiunea om-mașină.

## Roboți tip **efector final**

Avansul tehnologic cunoscut în domeniul reabilitării medicale în ultimii ani, a dus la dezvoltarea rapidă a roboților de reabilitare, mai ales în cazul reabilitării după accident vascular cerebral dar și a altor afecțiuni. Roboții de reabilitare tip efector final folosiți în recuperarea membrilor superioare leagă efectorul final al robotului la mâna sau antebrațul pacientului, susținând mișcările membrilor superioare prin strategii diferite de control (de tipul asistenței adaptive și a controlului câmpului de viteză) care permit o asistență adaptată capacității motorie a pacientului, cu rezultate superioare metodelor clasice de antrenament.

Cel mai bun exemplu de robot de tip efector final în reabilitarea membrilor superioare este **MIT-MANUS** (Figura 1), dezvoltat de Institutul de Tehnologie din Massachusetts. Acesta folosește un mecanism de acționare cu motor și o structură de legătură cu cinci bare pentru a mobiliza articulațiile umărului, cotului și încheietura mâinii pentru o mișcare bidimensională (două grade de libertate) ceea ce determină creșterea efortului pacientului în timpul antrenamentului și scade disconfortul pacientului și riscul de apariție a leziunilor la nivel muscular.



**Figura 1.** Robotul MIT-MANUS

*Indicații:* neuro-reabilitarea membrului superior la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic și alte leziuni neurologice; recuperarea funcției motorii pentru articulațiile umărului și cotului, dar și pentru încheietura mâinii și pentru mișcări tridimensionale în leziunile la nivelul pumnului și degetelor mâinii (în cazul versiunilor extinse care includ

module pentru mișcare verticală, pentru încheietura mâinii). Beneficiile decurg din mișcările repetitive intense, ghidaj mecanic și feedback interactiv.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- contractură fixă a extremităților superioare,
- afecțiuni ortopedice care limitează amplitudinea mișcărilor în brațul supus tratamentului,
- dureri articulare severe,
- alte afecțiuni medicale care ar putea interfera cu terapia, cum ar fi o frecvență cardiacă în repaus mai mare de 120 bătăi/minut sau tensiunea arterială  $\geq 140/90$  mmHg sau TA  $< 90/60$  mmHg sau saturația în oxigen  $SpO_2 \leq 95\%$ ,
- boli medicale grave cu complicații (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, insuficiența renală cronică, insuficiența hepatică, infecții active),
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice,
- deficiențe cognitive moderat-severe,
- pacienții care nu pot finaliza întreaga durată a terapiei din motive medicale, transport sau alți factori.

*Limitări:*

- în versiunea inițială, originală, gama de mișcare este de tip orizontal, ceea ce limitează exerciții care implică mișcare împotriva gravitației sau în spațiul tridimensional;
- ca orice sistem robotic de reabilitare are un cost ridicat, necesită infrastructură clinică, personal instruit pentru utilizare eficientă;
- beneficiile terapeutice depind în mare măsură de pacient, de severitatea leziunii și de programul de tratament;
- fiind un sistem de terapie fixat (masa/plan de lucru) și nu un dispozitiv “portabil” în sensul exoscheletului portabil, nu poate fi utilizat la domiciliul pacientului.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor (în versiunile extinse, îmbunătățite);
- feedback vizual sau jocuri interactive: sistemul afișează pe ecran sarcini (ex: tragerea unui cursor, conectarea punctelor) pentru motivarea pacientului și monitorizează performanța pacientului aflat în terapie;
- date cuantificabile: robotul măsoară mișcarea, forțele, vitezele, oferind date obiective pentru terapeut.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) în manipularea aparatului. Un protocol tipic de terapie robotică cu MIT-MANUS implică 36 de sesiuni pe parcursul a 12 săptămâni, cu trei sesiuni de o oră pe săptămână. Acest total este adesea împărțit în 18 sesiuni pentru componentele umăr-cot și 18 pentru componenta încheieturii mâinii, durata totală incluzând adesea o porțiune asistată de terapeut.

*Efecte adverse, riscuri:* minime, studiile efectuate cu acest robot nu au raportat evenimente adverse grave. Cel mai frecvent efect advers raportat este o ușoară durere musculară, datorită intensității sesiunilor cu dispozitivul robotizat. Alte reacții minore (fără semnificație statistică) au fost durerile articulare sau cele tendinoase (nu a existat o diferență semnificativă în incidența acestora între grupurile asistate de robot și grupurile de control).

*Monitorizare:* urmărirea performanței pacientului prin intermediul unui sistem computerizat care înregistrează date despre mișcare (forța, viteza și poziția segmentelor). Kinetoterapeutul supraveghează sesiunea, asigurând siguranța, poate ajusta manual sau poate opri terapia, dacă este necesar, în timp ce software-ul robotului adaptează mișcarea, antrenamentul în funcție de abilitățile pacientului. Datele colectate sunt apoi analizate pentru a cuantifica recuperarea motorie și a ajusta planul de tratament.

*Recomandări post-tratament:* continuarea unui program de terapie personalizat pentru a crește abilitățile funcționale, concentrarea pe o abordare multidisciplinară (neurolog, kinetoterapeut, un terapeut ocupațional, pentru a stabili protocoale complete pentru îngrijirea continua) și participarea activă a pacientului la programul de reabilitare. Tranziția de la terapia robotică la antrenamentul de tranziție către sarcină (terapia fizică asistată de kinetoterapeut) cu scopul îmbunătățirii activităților de zi cu zi. Terapia robotică poate fi un adjuvant al terapiei convenționale, dar nu ar trebui să o înlocuiască complet.

Universitatea Stanford a dezvoltat robotul **MIME** (*Mirror Image Movement Enabler*), un robot de reabilitare a membrilor superioare care are la bază brațul robotic industrial PUMA560. Folosește un mecanism de acționare cu motor și mai mult de șase grade de libertate asistând mișcările în articulația umărului, cotului și la nivelul pumnului. Acest braț robotic conectează membrele superioare afectate cu ajutorul atelelor și sprijină partea afectată în realizarea mișcărilor “în oglindă” pentru a obține o amplitudine mai mare de mișcare în antrenamentul membrilor superioare. Antrenamentul combinat unilateral și bilateral cu MIME reduce hipertonia și sinergiile anormale.

*Indicații:* neuro-reabilitarea membrilor superioare la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic, în leziuni medulare pentru

pentru a îmbunătăți funcția motorie, forța și amplitudinea activă de mișcare la nivelul umărului și cotului, reducerea sinergiilor patologice (mișcări involuntare), creșterea forței musculare, îmbunătățirea controlului motor.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- durerile de umăr sau alte dureri articulare care limitează amplitudinea mișcărilor pacientului,
- afecțiuni ortopedice care limitează amplitudinea mișcărilor în membrul supus tratamentului,
- spasticitate importantă: mișcările robotice pot declanșa sau agrava spasticitatea,
- deficiențe senzoriale: pacientul nu poate oferi feedback cu privire la intensitatea tratamentului,
- deficiențele de vedere severe pot împiedica participarea și monitorizarea,
- afecțiuni cardiovasculare care ar putea interfera cu terapia, cum ar fi o frecvență cardiacă în repaus mai mare de 120 bătăi/minut sau tensiunea arterială  $\geq 140/90$  mmHg sau TA  $< 90/60$  mmHg sau saturația în oxigen  $SpO_2 \leq 95\%$ ),
- boli medicale grave cu complicații (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, insuficiența renală cronică, insuficiența hepatică, infecții active),
- afecțiuni neurologice instabile,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice,
- deficitele cognitive semnificative,
- neglijența hemispațială severă (pacientul nu reușește să recunoască o parte a corpului său),
- pacienții care nu pot finaliza întreaga durată a terapiei din motive medicale, transport sau alți factori;
- incapacitatea de a oferi consimțământul informat;
- capacitate limitată de a rămâne în poziția așezat în timpul antrenamentului;
- supraponderalitate (de exemplu, greutate  $\geq 110$  kg).

*Limitări:*

- controlul articulațiilor distale (pumn, degete) este limitat sau absent (robotul nu oferă acțiune specifică pentru fiecare deget sau încheietură);
- fiind un sistem care implică un splint fixat la efectorul final, dacă pacientul are durere, rigiditate severă sau contractură importantă, utilizarea poate fi dificilă cu apariția disconfortului în timpul mișcării;
- robotul este fixat, staționar și nu este un dispozitiv portabil sau montabil pe scaun rulant;
- costuri ridicate, necesită infrastructură clinică, personal specializat pentru utilizare eficientă;
- sistemul necesită spațiu, configurație și supraveghere.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcări pasive: robotul mișcă membrul afectat fără efort activ din partea pacientului;
- mișcări active-asistive / active-rezistente: pacientul încearcă să miște, robotul asistă mișcările sau opune rezistență;
- mișcări bilaterale (mirror mode): membrul sănătos conduce mișcarea, iar membrul afectat o „urmărește” sau imită mișcarea, cu robotul care sincronizează mișcările;

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) în manipularea aparaturii. Un protocol tipic de terapie robotică cu MIME implică 15 sesiuni pe parcursul a patru săptămâni sau 24 de sesiuni pe parcursul a opt săptămâni, de obicei ca parte a unui program de reabilitare mai amplu și intensiv. Numărul total și durata depind de nevoile individuale ale pacientului, de obiectivele specifice ale terapiei și de stadiul de recuperare al acestuia, astfel încât decizia finală este luată în comun de către pacient și terapeut.

*Efecte adverse, riscuri:* rare, de tipul creșterii spasticității, iritații tegumentare cauzate de imobilizări sau chiar plăgi și dureri articulare în special la nivelul articulațiilor vizate de terapie, lipsa îmbunătățirii funcționale (terapia robotică poate duce la îmbunătățiri ale controlului motor simplu, dar nu întotdeauna în activitățile generale ale vieții de zi cu zi), lipsa generalizării (îmbunătățirile observate în terapia robotică se pot limita la articulațiile specifice vizate de robot) și chiar frustrarea sau nemulțumirea pacientului (rezultatele nu sunt cele pe care el le așteaptă).

*Monitorizare:* implică urmărirea performanței unui pacient folosind diverse măsurători robotice (fluiditatea mișcării, viteza și precizia, amplitudinea mișcării, capacitatea de a menține o poziție împotriva rezistenței), analizarea datelor senzorilor sistemului robotic (poziția, viteza și semnalele electromiografice (EMG) pentru a detecta debutul încercării pacientului de a se mișca și pentru a oferi informații despre tiparele de activare musculară sau în cazul utilizării senzorilor portabili (IMU) se pot urmări unghiurile și poziția articulațiilor, tiparul de mișcare al pacientului). Kinetoterapeutul supraveghează sesiunea de terapie, asigurând siguranța, ajustând manual terapia sau întrerupând terapia când este necesar. De asemenea, medicul folosește măsurile obiective obținute de la dispozitivul robotic împreună cu judecata clinică pentru a adapta terapia la nevoile individului și a urmări progresul în timp.

*Recomandări post-tratament:* continuarea unui program structurat de exerciții, integrarea unui control motor îmbunătățit în activitățile zilnice, repetarea constantă a mișcărilor este fundamentală pentru menținerea și

dezvoltarea beneficiilor obținute în urma terapiei și se recomandă combinarea terapiei robotice cu cea convențională pentru beneficii pe termen lung.

Un alt dispozitiv de reabilitare, **ARMassist** (Figura 2), care se poate folosi la domiciliu, este cel dezvoltat de Fundația Fatronik este echipat cu senzori optici și senzori de forță utili în vizualizarea poziției brațului pacientului și captarea gravitației în plan orizontal. Acest robot permite asistența de la distanță și culege date despre mișcare. Folosește un mecanism de acționare cu motor și cinci grade de libertate asistând mișcările în articulația umărului, cotului și pumnului putând fi manipulat de la distanță.



**Figura 2.** Dispozitivul de reabilitare ARMassist

*Indicații:* reabilitarea membrului superior la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic și alte tulburări de mobilitate la acest nivel; recuperarea funcției motorii pentru articulațiile umărului și cotului, și pentru recuperarea mobilității în leziunile la nivelul pumnului și degetelor mâinii cu ajutorul exercițiilor repetitive și controlate.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, angor instabil, infarct miocardic subacute),
- tulburări pulmonare severe,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice și care ar putea interfera cu reabilitarea,
- accident vascular cerebral de trunchi cerebral,
- accidente vasculare cerebrale multiple,
- infarct cerebral hemoragic sau hemoragie subarahnoidiană,
- dureri articulare severe,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,

- durere importantă, severă la aplicarea unei presiuni externe asupra membrului superior afectat,
- contractură fixă articulară la nivelul membrului afectat,
- alte tulburări neuromusculare,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- pacienții care nu pot finaliza întreaga durată a terapiei din motive medicale, sau alți factori.

*Limitări:*

- deși implică articulațiile umărului și cotului, nu este un exoschelet complet care acționează activ toate articulațiile (inclusiv degetele) și segmentul distal (pumn, degete) beneficiază de mai puțină intervenție mecanică activă;
- sistemul este în mare parte unul de suport/interfață și nu neapărat de „asistare la ridicarea de greutate mari” sau „mers”, ceea ce limitează utilizarea în cazuri cu paralizie severă;
- rezultatele terapiei depind de capacitatea pacientului de a colabora și de modul de supraveghere și monitorizare la distanță, de aceea, la pacienții cu severă afectare sau spasticitate mare, pot apărea limitări;
- ca orice dispozitiv de reabilitare, adoptarea la domiciliu implică logistică: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere sau antrenament la distanță (telereabilitare).

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- module senzoriale pentru măsurarea mișcărilor (poziție, orientare, forță);
- feedback vizual sau jocuri interactive: pentru motivarea pacientului și monitorizează performanța pacientului aflat în terapie.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, dar dispozitivul fiind portabil, ușor de montat pe o masă, poate fi folosit și la domiciliul pacientului cu supraveghere de la distanță. Programul de utilizare necesită personal calificat (fiziokinetoterapeuți). Un protocol de terapie robotică cu ARMassist implică 15 sesiuni pe parcursul a 3 săptămâni (5 zile pe săptămână, a câte 30 minute ședința) sau un curs mai lung de 36 de sesiuni pe parcursul a 12 săptămâni (de 3 ori pe săptămână, a câte 60 minute ședința). Durata unei sesiuni obișnuite este de aproximativ 30 de minute (maxim 1 oră), iar durata totală depinde de nevoile specifice ale

pacientului și de obiectivele terapeutice stabilite în planul terapeutic (scopul este de a mări volumul și frecvența terapiei și de a permite continuarea reabilitării la domiciliu, cu monitorizare de la distanță).

*Efecte adverse, riscuri:* minime, precum oboseala, scăderea interesului pacientului din cauza antrenamentului pasiv, apariția de spasticității crescute. Poate apare un efect limitat asupra îmbunătățirii activităților de zi cu zi (ADL, *Activities of Daily Living*) sau a capacității funcționale generale a membrilor superioare cu efecte negative asupra tonusului muscular în unele cazuri. În cazul apariției unei probleme medicale neașteptate (cum ar fi o sângerare), în cazul folosirii terapiei la domiciliu (la distanță), poate exista o întârziere în intervenția medicală umană, deoarece pacientul este singur cu un robotul.

*Monitorizare:* implică o combinație de metode de tipul: față în față, cu supraveghere minimă și la distanță. Terapeuții pot supraveghea activ sesiunile inițial oferind instrucțiuni și sprijin, ajustează setările și oferă feedback și încurajări în timp real, apoi pot trece la monitorizare cu supraveghere minimă sau la distanță folosind platforme online pentru personalizarea planurilor terapeutice (inclusiv selectarea jocurilor și setarea parametrilor) și urmărirea progresului, scorurilor online și, în final, pot permite sesiuni complet nesupravegheate odată ce pacientul a dobândit competențe în acest sens (pacientul poate folosi dispozitivul singur).

*Recomandări post-tratament:* continuarea reabilitării convenționale, integrarea câștigurilor obținute ca urmare a antrenamentului robotic în activitățile zilnice și continuarea antrenamentului funcțional al membrilor superioare, deoarece îmbunătățirile la nivelul acestora din urmă nu sunt întotdeauna menținute după încheierea terapiei. Se pot lua în considerare și combinațiile cu alte tratamente suplimentare pentru gestionarea spasticității, cum ar fi toxina botulinică sau vibrațiile musculare focale.

**Bi-Manu-Track** (Figura 3) este robotul de reabilitare a membrilor superioare dezvoltat de Universitatea Liberă din Berlin, util în antrenamentul de reabilitare pentru încheietura mâinii și pentru antebraț și permite ajustarea vitezei, intensității și a rezistenței de mișcare. Folosește un mecanism de acționare cu motor și două grade de libertate asistând mișcările în articulația cotului și încheietura mâinii.



**Figura 3.** Robotul de reabilitare a membrilor superioare Bi-Manu-Track

*Indicații:* reabilitarea membrilor superioare la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic, alte afecțiuni neurologice (boală Parkinson, scleroză multiplă), în leziuni musculare, articulare cot, pumn și antebrăț cu scopul de a îmbunătăți funcția motorie, amplitudinea activă de mișcare la nivelul cotului, pumnului, creșterea forței musculare, îmbunătățirea controlului motor dar și reducerea semnificativă a tonusului muscular (spasticitate) la nivelul încheieturii mâinii și degetelor..

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- durerile de umăr sau alte dureri articulare care limitează amplitudinea mișcărilor pacientului, neresponsive la terapia standard,
- apraxie (dificultate în îndeplinirea unor activități ce presupun secvențe motorii învățate anterior, cum ar fi folosirea anumitor obiecte sau unelte);
- artrită dureroasă a articulațiilor mâinii, degetelor însoțită de tumefacții articulare;
- ulceratii cutanate la nivelul antebrățului;
- deficiențele de vedere severe pot împiedica participarea și monitorizarea;
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice;
- deficitale cognitive semnificative;
- incapacitatea de a oferi consimțământul informat.

*Limitări:*

- este concentrat pe controlul articulațiilor distale (cot, pumn) și nu acoperă pe deplin nevoia în cazul unor deficite la nivelul umărului sau degetelor;
- este un dispozitiv fixat, staționar și nu este portabil sau montabil pe scaun rulant;
- costuri ridicate, necesită infrastructură clinică, personal specializat pentru utilizare eficientă (spațiu, personal, fixare, sistem bilateral);
- sistemul necesită spațiu, configurație și supraveghere;
- necesită un număr mare de repetări (pronație-supinație a antebrățului și flexie-extensie a pumnului) și timp de terapie intensive (de exemplu,

unele studii menționează o durată de 90-105 minute pe zi, 5 zile pe săptămână, 4-6 săptămâni).

*Mod de aplicare, operare:*

- pasiv-pasiv: robotul realizează mișcarea ambelor brațe (brațul sănătos și brațul afectat) fără ca pacientul să depună un efort activ,
- activ-pasiv: brațul sănătos inițiază mișcarea, iar brațul afectat este mișcat de către robot ceea ce promovează coordonarea bilaterală,
- activ-activ: ambele brațe (inclusiv brațul afectat) se mișcă în mod activ, pacientul aplica o forță, dar poate exista și o rezistență ajustabilă din partea robotului.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) în manipularea aparatului. Protocolul poate fi diferit și variază de la 10 ședințe pe o perioadă de două săptămâni (cinci ședințe pe săptămână), la 15 ședințe, fiecare cu o durată de 30-45 de minute, pe o perioadă de 3 săptămâni, 18 ședințe pe o perioadă de 6 săptămâni, cu câte 3 ședințe pe săptămână sau 20 ședințe pe o perioadă de 4 săptămâni (cinci ședințe pe săptămână), fiecare ședință cu o durată de 90-105 minute. Numărul total și durata depind de nevoile individuale ale pacientului, de obiectivele specifice ale terapiei și de stadiul de recuperare al acestuia, astfel încât decizia finală este luată în comun de către pacient și terapeut.

*Efecte adverse, riscuri:* rare, cum ar fi leziuni cutanate deschise (care pot deveni moderate sau severe în lipsa tratamentului), tendinopatii, chiar fracturi osoase (care a fost un eveniment advers sever), creșterii spasticității, iritații tegumentare, dureri musculare sau oboseală temporară.

*Monitorizare:* cu ajutorul unei combinații de senzori și software care urmăresc performanța pacientului în timp real și permit astfel terapeuților să ajusteze antrenamentul după cum este necesar. Senzorii măsoară: forța, poziția și amplitudinea mișcării, în timp ce software-ul oferă feedback vizual și analizează datele de performanță. Aceste date pot fi vizualizate pe un tablou de bord și utilizate pentru supraveghere de la distanță sau pentru a adapta exercițiile, uneori permițând chiar sesiuni minim supravegheate cu verificări de siguranță încorporate. Kinetoterapeutul supraveghează sesiunea de terapie, asigurând siguranța, pot modifica setările, cum ar fi parametrii de control atunci când este necesar.

*Recomandări post-tratament:* continuarea unui antrenament repetitiv, orientat spre sarcini specifice (cum ar fi mișcările de pronație, supinație sau flexia/extensia pumnului,) și potențial unilateral pentru a îmbunătăți controlul motor, dexteritatea și funcția brațului. Dispozitivul poate fi utilizat pentru a menține flexibilitatea și a reduce spasticitatea, studiile arătând că poate ajuta pacienții să-și recâștige abilitățile de viață zilnică, cum ar fi

atingerea și apucarea obiectelor. Recomandările specifice depind adesea de starea pacientului și de stadiul de recuperare și se poate folosi atât modul unilateral (cu un singur braț- mai eficient pentru forța musculară distală și forța de prindere), cât și modul bilateral (cu ambele brațe- mai eficient pentru forța musculară proximală). Combinarea terapiei robotice cu alte programe de reabilitare, cum ar fi stimularea electrică sau fizioterapia.

Robotul **ReoGo**, un robot de reabilitare a membrilor superioare tridimensional, dezvoltat în Israel, este un robot cu efector final, util în reabilitarea pumnului, articulației cotului și umărului. Folosește un mecanism de acționare cu motor și trei grade de libertate.

*Indicații:* reabilitarea membrului superior la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic, în special pentru îmbunătățirea forței, flexibilității și a amplitudinii de mișcare, alte afecțiuni neuromusculare: leziuni cerebrale traumatice și boala Parkinson.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, angor instabil, infarct miocardic subacut),
- accident vascular cerebral de trunchi cerebral,
- infarct cerebral hemoragic sau hemoragie subarahnoidiană,
- supraponderalitate (greutate  $\geq 110$  kg),
- tulburări pulmonare severe,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice și care ar putea interfera cu reabilitarea,
- dureri articulare severe,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- durere importantă, severă la aplicarea unei presiuni externe asupra membrului superior afectat,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- capacitate redusă de a menține poziția în șezut în timpul tratamentului,
- alte tulburări neuromusculare,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- capacitate limitată de a oferi consimțământ informat voluntar.

*Limitări:*

- deși implică și antrenează multe articulații (umăr, cot și pumn), nu este un exoschelet complet cu motoare dedicate fiecărei articulații, de aceea, segmentul distal (pumn, degete) beneficiază de mai puțină intervenție mecanică activă și de un control mai slab al mișcărilor specifice, fine;
- terapia necesită supraveghere de către kinetoterapeut și chiar dacă mișcărilor sunt repetitive, protocolul terapiei trebuie adaptat și centrat pe pacient,

- mai puțin eficient pentru pacienții cu spasticitate avansată, severă, pentru cei cu contracturi masive, sau la care lipsește aproape total mișcarea voluntară,
- cost și infrastructură: ca orice dispozitiv de reabilitare robotic implică logistică: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere,
- nu toate activitățile de viață zilnică sunt automat îmbunătățite, transferul la ADL poate varia în funcție de pacient,
- este un sistem fix, așezat pe o platformă cu roți, destinat utilizării în clinică.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- mai multe „moduri de operare” configurabile: de ex., moduri de inițiere („initiated”), moduri de urmărire („follow assist”), mod liber („free mode”), moduri ghidate („guided”),
- feedback vizual sau jocuri interactive: sistemul include un monitor/afișaj, interfață de jocuri, pentru motivarea pacientului și monitorizarea performanței pacientului aflat în terapie,
- evaluare și monitorizare: oferă date privind traiectoria, devieri, forțe, repetări utile pentru terapia bazată pe date.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat în manipularea aparaturii. Numărul de sesiuni de terapie robotică ReoGo variază în funcție de programul specific și de nevoile pacientului, dar protocoalele tipice pentru această terapie implică între 20 și 30 de sesiuni. De exemplu, unele studii au folosit 20 de sesiuni pe parcursul a patru săptămâni, în timp ce altele au implementat 30 de sesiuni pe parcursul a șase săptămâni, fiecare sesiune durând 45 de minute. Studiile arată, de asemenea, o frecvență obișnuită de 3 până la 4 sesiuni pe săptămână. Timpul total petrecut cu această terapie robotică poate varia, dar unele studii utilizează o regulă generală de cel puțin 15 ore pentru a observa rezultate semnificative.

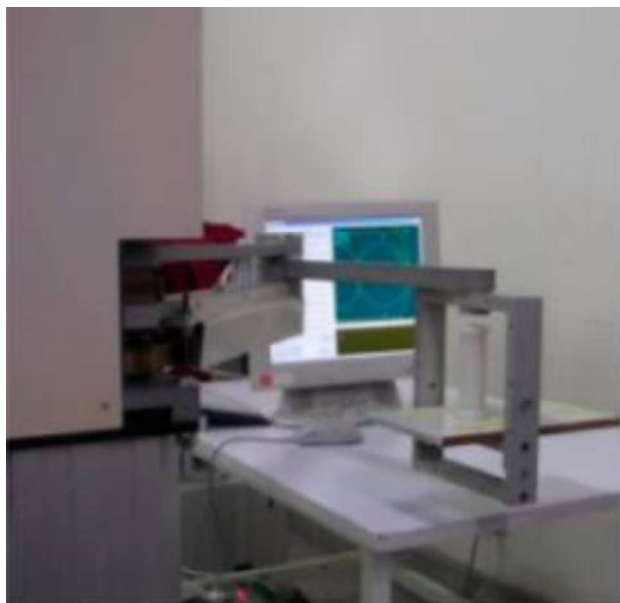
*Efecte adverse, riscuri:* creșterea rigidității musculare sau a spasticității, dependența excesivă de asistența robotului care poate determina pacientul să își reducă propria putere motorie, consumul de energie și atenția în timpul exercițiilor, riscuri legate de defecțiuni ale dispozitivului robotic

care pot pot duce la apariția unor forțe de interacțiune periculoase în lipsa gestionării corespunzătoare.

*Monitorizare:* implică familiarizarea și configurarea inițială conduse de terapeut, urmate de evaluarea continuă a datelor de performanță și a potențialului de supraveghere la distanță sau intermitentă. Terapeutul evaluează progresul pacientului atât clinic, cât și prin intermediul datelor robotului (date despre performanța pacientului în timpul fiecărei sesiuni ce urmăresc progresul cantitativ), ajustând exercițiile și dificultatea după cum este necesar pentru a asigura siguranța și eficacitatea, chiar și pentru utilizarea minim supravegheată sau la domiciliu.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei și urmarea unui plan de tratament individualizat, ce presupune ajustarea razei de acțiune, a sarcinii de antrenament și a modului de asistență în funcție de severitatea afectării pacientului. De asemenea se recomandă ajustarea nivelului de asistență robotică pentru a promova mișcarea voluntară (mai mic pentru afectarea ușoară, mai mare pentru afectarea severă); continuarea reabilitării convenționale. Se pot lua în considerare și combinațiile cu alte forme de terapie, cum ar fi terapia orientată pe sarcini sau terapia prin mișcare indusă de constrângere (CIMT, *Constraint-Induced Movement Therapy*).

Un alt robot destinat reabilitării membrilor superioare, **UECM** (*Upper Extremity Compound Movement*, Figura 4), dezvoltat de Universitatea Tsinghua are un efector final cu două grade de libertate și multiple modalități de antrenament, inclusiv cele active, pasive și asistive. Folosește un mecanism de acționare cu motor și două grade de libertate asistând mișcările în articulația umărului, cotului și pumnului și dispune de feedback video dual. Inițial, reobotul susținea antrenamentul într-un plan fix, versiunea nouă, îmbunătățită (EEULRebot, *End-effector upper limb rehabilitation robot*) are moduri multiple de antrenament pentru coordonarea umărului și cotului cu mișcări în planuri multiple pentru a imita activitățile vieții de zi cu zi.



**Figura 4.** Robotul UECM (Upper Extremity Compound Movement)

*Indicații:* reabilitarea membrului superior la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic, în special pentru îmbunătățirea forței, flexibilității și a amplitudinii de mișcare.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, angor instabil, infarct miocardic subacut),
- tulburări pulmonare severe,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice și care ar putea interfera cu reabilitarea,
- dureri articulare severe,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- capacitate limitată de a oferi consimțământ informat voluntar.

*Limitări:*

- deși implică și antrenează multe articulații (umăr, cot și pumn), nu este un exoschelet complet cu motoare dedicate fiecărei articulații, de aceea, segmentul distal (pumn, degete) beneficiază de mai puțină intervenție mecanică active și de un control mai slab al mișcărilor specific, fine;

- terapia necesită supraveghere de către kinetoterapeut și chiar dacă mișcările sunt repetitive, protocolul terapiei trebuie adaptat și centrat pe pacient,
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit,
- nu toate activitățile de viață zilnică sunt automat îmbunătățite,
- este un sistem fix, așezat pe o platformă cu roți, destinat utilizării în clinică.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- feedback vizual dual.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat. Numărul de sesiuni de terapie robotică UECM variază în funcție de programul specific și de starea pacientului, dar protocoalele pentru această terapie presupun 20 până la 36 de ședințe, de obicei efectuate de 3-5 ori pe săptămână, pe parcursul a mai multor săptămâni. Numărul exact de ședințe poate varia în funcție de protocolul specific și de starea pacientului.

*Efecte adverse, riscuri:* creșterea rigidității musculare sau a spasticității, dependența excesivă de asistența robotului care poate determina pacientul să își reducă propria putere motorie, consumul de energie și atenția în timpul exercițiilor, riscuri legate de defecțiuni ale dispozitivului robotic care pot duce la apariția unor forțe de interacțiune periculoase în lipsa gestionării corespunzătoare.

*Monitorizare:* implică familiarizarea și configurarea inițială conduse de terapeut, urmate de evaluarea continuă a datelor de performanță și a potențialului de supraveghere la distanță. Terapeutul evaluează progresul pacientului atât clinic, cât și prin intermediul datelor robotului (date despre performanța pacientului în timpul fiecărei sesiuni ce urmăresc progresul cantitativ), ajustând exercițiile și dificultatea după cum este necesar pentru a asigura siguranța și eficacitatea.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei și urmarea unui plan de tratament individualizat, ce presupune ajustarea razei de acțiune, a sarcinii de antrenament și a modului de asistență în funcție de severitatea afectării pacientului. De asemenea se recomandă utilizarea biofeedback-ului pentru a îmbunătăți implicarea și activitatea musculară, continuarea

reabilitării convenționale. Se pot lua în considerare și combinațiile cu alte forme de terapie, ca fizioterapia.

Universitatea din Leeds a dezvoltat robotul **iPAM** (*Intelligent Pneumatic Arm Movement*, Figura 5), ce pune la dispoziție un sistem robotic dual ce susține antrenamentul membrilor superioare cu ajutorul mișcărilor inteligente ale brațelor cu acționare pneumatică. Aceste brațe robotice sunt conectate la membrul superior afectat și sunt echipate cu senzori de forță și de rotație ce permit măsurarea și înregistrarea mișcării dar și a progresului obținut. Are la bază un mecanism de acționare cu motor și șase grade de libertate asistând mișcările în articulațiile umărului, cotului și pumnului.



**Figura 5.** Robotul iPAM (Intelligent Pneumatic Arm Movement)

*Indicații:* reabilitarea membrului superior la pacienții cu accident vascular cerebral subacut sau cronic și alte tulburări de mobilitate la acest nivel; pareze membrul superior de cauză periferică; recuperarea funcției motorii pentru articulațiile umărului și cotului și pumnului, și pentru recuperarea mobilității în leziunile la nivelul pumnului cu ajutorul exercițiilor repetitive și controlate.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, angor instabil, infarct miocardic subacute),
- tulburări pulmonare severe,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice și care ar putea interfera cu reabilitarea,
- accident vascular cerebral de trunchi cerebral,
- pacienții cu epileisie,

- infarct cerebral hemoragic sau hemoragie subarahnoidiană,
- dureri articulare severe,
- pacienți cu prognostic negativ (speranță de supraviețuire sub 2 luni),
- greutate corporală > 125 kg,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contractură fixă articulară la nivelul membrului afectat,
- alte tulburări neuromusculare,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- pacienții care nu pot oferi consințământul informat.

*Limitări:*

- deși implică articulațiile umărului și cotului, segmentul distal (pumn, degete) beneficiază de mai puțină intervenție mecanică activă;
- este un sistem relativ complex („dual robot”) care necesită multiple calibrări, o fixare corectă, personal atent instruit;
- rezultatele terapiei depind de capacitatea pacientului de a colabora;
- ca orice dispozitiv de reabilitare, adoptarea sa implică logistică: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere, personal calificat.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- sistemul include senzori de forță, senzori de rotație, interfață de utilizator cu spațiu virtual tridimensional pentru exerciții.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate. Programul de utilizare necesită personal calificat (fiziokinetoterapeuți). Un protocol de terapie robotică cu iPAM implică 20 până la 30 de ședințe pe parcursul a 6 săptămâni, în timp ce alte protocoale vizează un total de 36 de ședințe efectuate de trei ori pe săptămână, timp de 12 săptămâni. Durata unei sesiuni obișnuite este de aproximativ 40 de minute (maxim 1 oră), iar durata totală depinde de nevoile specifice ale pacientului și de obiectivele terapeutice stabilite în planul terapeutic.

*Efecte adverse, riscuri:* oboseală, dureri musculare sau articulare datorate antrenamentului excesiv, creșterea spasticității, iritații ale tegumentului sau țesuturilor din cauza forțelor de forfecare și presiune dintre robot și segmentul de corp. Unele studii au raportat posibilitatea apariției fluctuațiilor nedorite ale tensiunii arteriale, scăderea randamentului motor și a atenției pacientului (apariția fenomenului de ”relaxare”).

*Monitorizare:* implică o combinație de metode- terapeuții pot supraveghea activ sesiunile, ajustează setările și oferă feedback și încurajări în timp real, sistemul iPAM înregistrează automat datele privind durata, frecvența, tipul exercițiilor efectuate de pacient și oferă date cantitative privind performanța, cum ar intensitatea, performanța sarcinii și raportul dintre timpul efectiv și timpul total de terapie. Sensorii încorporați în sistem, precum senzori de vedere și de forță colectează informații mai detaliate despre mișcarea, expresiile și interacțiunea pacientului cu robotul.

*Recomandări post-tratament:* continuarea reabilitării robotice a membrelor superioare alături de terapia convențională pentru a îmbunătăți amplitudinea mișcărilor, neuroplasticitatea, recuperarea musculară și menținerea flexibilității.

Din categoria roboților de reabilitare pentru membrele superioare cu efector final, face parte și robotul de tip suspensie. Acest tip de robor utilizează mai multe cabluri de suspensie în scopul conectării bazei la puncte de ancorare fixe a căror poziție spațială este ajustată prin controlul lungimii cablurilor. Cablurile ajută la tracțiune și transmisie având un mod de conducere a mișcării asemănător cu cel al mușchilor scheletici. Roboții de reabilitare de tip suspensie au demonstrat rezultate bune și în reabilitarea membrelor inferioare. În cazul pacienților cu deficit de forță a membrelor superioare, roboții de tip suspensie pot repartiza greutatea membrului superior cu ajutorul sistemului de suspensie, evitându-se astfel apariția oboselii secundare sau chiar a accidentărilor date de slăbiciunea musculară în timpul antrenamentului.

Universitatea din Padova a dezvoltat un robot de reabilitare a membrelor superioare **NeReBot** (*NEuroREhabilitation robot*), ce este acționat prin cablu cu trei grade de libertate și care dispune de trei motoare independente ce acționează trei cabluri conectate cu ajutorul unor atele la membrul superior al pacientului. În timpul antrenamentului, lungimea cablurilor poate fi controlată pentru un rezultat mai bun. Se bazează pe un mecanism de acționare cu motor și trei grade de libertate asistând mișcările în articulațiile umărului, cotului și pumnului cu o mare flexibilitate și siguranță în timpul utilizării de către pacient.

*Indicații:* reabilitarea membrelor superioare la pacienții cu accident vascular cerebral în faza acută sau subacută, dar și în cea cronică

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- durerile de umăr sau alte dureri articulare care limitează amplitudinea mișcărilor pacientului,
- afecțiuni ortopedice care limitează amplitudinea mișcărilor în membrul supus tratamentului,
- deficiențele de vedere severe pot împiedica participarea și monitorizarea,
- afecțiuni cardiovasculare și pulmonare severe decompensate,

- insuficiența renală cronică, insuficiența hepatică, infecții active),
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice,
- deficitul cognitiv semnificativ,
- incapacitatea de a oferi consimțământul informat;
- capacitate limitată de a rămâne în poziția așezat în timpul antrenamentului.

*Limitări:*

- controlul articulațiilor distale (pumnul, degetele) este limitat sau absent (robotul pune accent pe segmentele proximale ca umăr, cot);
- deși poate fi montat lângă pat sau în scaunul rulant, spațiul de lucru este relativ restrâns comparativ cu mobilitatea completă a brațului;
- costuri ridicate, necesită infrastructură clinică, spațiu, personal specializat pentru utilizare eficientă și supraveghere;
- aplicațiile la domiciliu sunt limitate necesită supraveghere specializată);
- succesul depinde mult de severitatea leziunii, stadiul (acut/subacut vs cronic), și de cât de bine este interconectată terapia robotică cu terapia ocupatională și cea tradițională.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcări pasive: robotul mișcă membrul afectat fără efort activ din partea pacientului;
- mișcări active-asistive / active-rezistente: pacientul încearcă să miște, robotul asistă mișcările sau opune rezistență;
- mișcări tridimensionale ale brațului (flexia, extensia, pronația, supinația și circumducția).

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) în manipularea aparatului. Protocoalele tipice de terapie NeReBot includ două abordări principale: un protocol suplimentar în care sesiunile robotice completează terapia convențională și un protocol mixt în care sesiunile robotice înlocuiesc parțial sau complet terapia convențională. Un protocol suplimentar comun implică două sesiuni robotice de 25 de minute zilnic, cinci zile pe săptămână, timp de cinci săptămâni, pe lângă recuperarea standard. Sesiunile constau adesea în antrenamente de 20 de minute cu pauze la fiecare 3-4 minute, sub supravegherea unui terapeut care adaptează exercițiile și parametrii în funcție de progresul pacientului.

*Efecte adverse, riscuri:* rare, de tipul efectelor negative asupra tonusului muscular (creșterea spasticității), lipsa îmbunătățirii funcționale (terapia robotică poate duce la îmbunătățiri ale controlului motor simplu, dar nu întotdeauna în activitățile generale ale vieții de zi cu zi).

*Monitorizare:* folosind senzori interni și externi care măsoară parametrii mișcării și o metodă de evaluare a tonusului muscular în timpul

sesiunilor nesupravegheate (metoda aplică perturbații mici și rapide de tip „ramp-and-hold” în timpul exercițiilor pentru a întinde flexorii degetelor și pentru a măsura forța indusă de aceste întinderi cu scopul estimării tonusului muscular). Scorurile clinice standardizate, cum ar fi Evaluarea Fugl-Meyer (FMA) și Scala Ashworth Modificată (MAS), sunt folosite pentru a evalua deficitul motor înainte și după terapie, măsurarea independenței funcționale (MIF) în evaluarea capacității pacientului de a desfășura activitățile zilnice.

*Recomandări post-tratament:* continuarea procesului de reabilitare printr-o combinație de terapie fizică continuă, integrarea tehnicilor robotice în activitățile zilnice și utilizarea robotului pentru implicare și monitorizare pe termen lung. Medicii ar trebui, de asemenea, să urmărească pacientul cu echipa lor medicală, care poate ajusta planul de tratament pe baza datelor și a îmbunătățirilor obținute în urma sesiunilor robotice.

**GENTLE/S** (Figura 6), este un dispozitiv dezvoltat de Universitatea din Reading, Regatul Unit, ce combină un robot de tracțiune acționat prin cablu, cu un mecanism de asistență cu roți, ajutând la realizarea, în principal a mișcărilor în plan orizontal. Transmisia prin cablu permite acestui tip de robot de tip suspensie o mare flexibilitate în timpul mișcării, dar fără a realiza cu precizie crescută mișcărilor. Folosește un mecanism de acționare cu motor și trei grade de libertate asistând mișcărilor în articulațiile umărului, cotului și pumnului.

*Indicații:* reabilitarea membrelor superioare la pacienții cu accident vascular cerebral în faza subacută sau cronică, cu accent pe furnizarea unui antrenament de înaltă intensitate, repetitiv și personalizat, orientat spre sarcini.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- durerile de umăr sau alte dureri articulare care limitează amplitudinea mișcărilor pacientului,
- afecțiuni ortopedice care limitează amplitudinea mișcărilor în membrul supus tratamentului,
- deficiențele de vedere severe pot împiedica participarea și monitorizarea,
- afecțiuni cardiovasculare și pulmonare severe decompensate, purtătorii de pace-maker,
- insuficiența renală cronică, insuficiența hepatică, infecții active,
- boli coexistente care contraindică exercițiile fizice,
- deficitele cognitive semnificative,
- incapacitatea de a oferi consimțământul informat;
- plăgi cutanate,
- intervenție chirurgicală recentă sau proteză articulară,
- alte boli cum ar fi: neuropatii, fibromialgie, epilepsie.



**Figura 6.** Dispozitivul GENTLE/S

*Limitări:*

- controlul articulațiilor distale (pumnul, degetele) este limitat sau absent (robotul pune accent pe segmentele proximale ca umăr, cot);
- deși poate fi montat lângă pat sau în scaunul rulant, spațiul de lucru este relativ restrâns comparativ cu mobilitatea completă a brațului;
- costuri ridicate, necesită infrastructură clinică, spațiu, personal specializat pentru utilizare eficientă și supraveghere;
- aplicațiile la domiciliu sunt limitate necesită supraveghere specializată);
- succesul depinde mult de severitatea leziunii, stadiul (acut/subacut vs cronic), și de cât de bine este interconectată terapia robotică cu terapia ocupatională și cea tradițională.

*Mod de aplicare, operare:*

- brațul pacientului este suspendat de un cadru, compensat de arcuri de susținere pentru reducerea efectului gravitației, ceea ce permite mai ușor mișcările,
- se folosesc manipuloare haptice cu 3 grade de libertate pentru a permite mișcări în spațiu și feedback de forță,
- include tehnologie tip realitate virtuală/jocuri pacientul interacționează cu un ecran și primește feedback vizual și haptic,
- mișcări pasive: robotul mișcă membrul afectat fără efort activ din partea pacientului;
- mișcări active asistate: pacientul inițiază mișcarea, robotul asistă mișcările;
- mișcări active: pacientul efectuează mișcarea, robotul oferă un ghidaj minim și feedback.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) în manipularea aparatului. Protocolul presupune un total de 9 ședințe pentru o anumită fază a studiului clinic GENTLE/S, în timp ce alte studii au utilizat 24 de ședințe pe parcursul a 2 luni sau 15 ședințe pe parcursul a 5 săptămâni. Durata totală implică adesea ședințe distribuite pe parcursul a mai multor săptămâni, terapia având loc de 3 până la 5 ori pe săptămână, cu durată variabilă a sesiunii de tratament între 10-30 minute. Unele protocoale pot structura sesiunile cu cicluri de exerciții specifice, cum ar fi patru cicluri de exerciții de 5 minute cu pauze de 3 minute între ele, însumând 32 de minute pe sesiune.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculo-scheletale (mai ales la nivelul umărului), iritații ale țesuturilor moi și ale tegumentului, echimoze în zonele de contact ale robotului cu segmentele corpului, presiune excesivă, forțe de forfecare și suprasolicitare a sistemului musculo-scheletic.

*Monitorizare:* printr-o combinație între judecata clinică a terapeutului, colectarea automată a datelor de către robot și un sistem de control flexibil care se adaptează la abilitățile pacientului. Terapeuții supraveghează sesiunile, care pot implica diferite moduri de control: modul activ pentru pacienții cu control motor complet, modul pasiv pentru cei fără funcție motorie și modul activ-asistat pentru a oferi sprijin atunci când este nevoie. Robotul colectează date despre performanță, cum ar fi scorurile de evaluare Fugl-Meyer (FMA), pentru a urmări obiectiv progresul în timp.

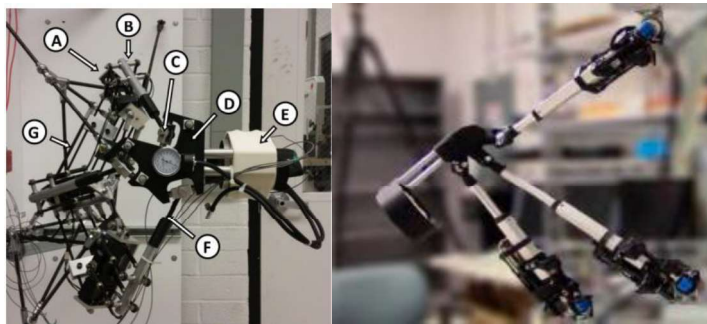
*Recomandări post-tratament:* continuarea utilizării terapiei robotice pentru a facilita practica intensivă și repetitivă și adaptarea exercițiilor la abilitățile pacientului, cu folosirea unui amestec de moduri active, pasive și asistate activ, adaptarea exercițiilor la nivelul de afectare al pacientului și continuarea repetării mișcărilor de întindere și retragere pentru a îmbunătăți funcția extremităților superioare. Unele studii sugerează, de asemenea, combinarea acestuia cu indicii vizuale pentru a îmbunătăți coordonarea.

### Roboți tip **exoschelet**

Roboții tip exoschelet sunt dispozitive portabile de asistență și pot susține sau asista mișcarea cu mai multe grade de libertate și, de asemenea, ajută la realizarea mișcărilor complexe, tridimensionale înlesnind antrenamentul. Avantejele majore ale utilizării acestui tip de roboți sunt reprezentate de creșterea eficienței mișcărilor efectuate în timpul antrenamentului, reducerea oboselii musculare, furnizează protecție și sprijin în timpul antrenamentului fizic prelungit.

## Roboți tip **exoschelet cu mecanism de acționare cu motor**

**SPM** (*Spherical Parallel Manipulator*, Figura 7) este un robot tip exoschelet paralel, dezvoltat de Universitatea din Arizona, dispune de patru grade de libertate și reprezintă un nou tip de mecanism sferic, paralel, tridimensional. Permite decuplarea și controlul mișcărilor de tangaj, ruluu și rotație a umărului cu ajutorul a trei legături formate din patru bare și prezintă o accelerație ridicată necesară cerințelor de viteză impuse de proprietățile neuromusculare ale umărului, menținând în același timp o inerție scăzută. Susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului și a activităților importante.



**Figura 7.** Robotul SPM (*Spherical Parallel Manipulator*)

*Indicații:* reabilitarea și recâștigarea abilităților motorii la pacienții cu leziuni neurologice sau musculo-scheletice, în special cele care afectează coloana cervicală, umărul, pumnul; pentru a îmbunătăți forța și funcționalitatea pentru activitățile vieții de zi cu zi (ADL) post accidentul vascular cerebral, leziunile medulare sau alte tulburări motorii, tulburări de postură ale capului și gâtului.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și pulmonare severe (insuficiența cardiacă cronică clasa III/IV NYHA, angor instabil, infarct miocardic subacut, insuficiența respiratorie),
- afecțiuni osoase de tipul: tumori, metastaze, infecții, fracturi sau osteoporoză severă și osteomalacie,
- afecțiuni articulare: artrită inflamatorie severă, care ar putea fi agravată de forțele robotului,
- afectări ale tegumentului: plăgi, leziuni severe ale pielii sau alte afecțiuni care ar putea fi agravate de un dispozitiv rigid este atașat la piele,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,

- afecțiuni neurologice care împiedică pacientul să fie aliniat corect cu robotul, ceea ce duce la aplicarea necorespunzătoare a forței sau la riscul de rănire,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă.

*Limitări:*

- anvergură de lucru relativ mică în comparație cu dimensiunea lor fizică, ce se datorează parțial constrângerilor impuse de articulațiile sferice și limitărilor actualelor,
- amplitudinea de mișcare poate fi restricționată, în special pentru modelele cu doar câteva grade de libertate și este mai puțin eficient pentru pacienții cu spasticitate avansată, severă, pentru cei cu contracturi masive, sau la care lipsește aproape total mișcarea voluntară,
- poate avea configurații singulare ceea ce poate determina pierderea unuia sau a mai multor grade de libertate ceea ce duce la un control mai mic,
- utilizarea senzorilor externi, cum ar fi senzorii vizuali sau tactili, poate fi dificilă din cauza geometriei robotului și a provocărilor de integrare.
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere,
- deși pot avea o rigiditate ridicată, obținerea unei capacități de încărcare mari și a unui spațiu de lucru mare de aceea se preferă modele hibride care combină mecanisme în serie și paralele.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare asistată activ: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- permit mișcări de rotație similare cu cele ale încheieturii mâinii sau umărului uman, inclusiv flexia/extensia, abducția/adducția și pronația/supinația. De asemenea, sunt utilizate pentru controlul complet al rotației în 3 grade de libertate, oferind mișcări combinate pentru sarcini precum reabilitarea unei articulații specifice sau practicarea activităților zilnice.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat (fiziokinetoterapeuți, bioingineri medicali) și, eventual, acasă, în funcție de design. Acești roboți pot fi plasați pe un suport sau o masă pentru a susține membrul pacientului (cum ar fi încheietura mâinii sau

umărul) pentru exerciții terapeutice sau pot fi construiți ca exoschelete pentru a fi purtați de pacient. Protocolul tipic include două sesiuni pe zi, pe o perioadă de câteva săptămâni. De exemplu, un studiu a folosit două sesiuni de 17 minute pe zi, timp de 35 de minute de exerciții zilnice în total, pe parcursul a opt săptămâni, amplitudinea mișcării crescând în primele zile. Numărul specific de sesiuni depinde de starea pacientului și de planul de tratament elaborat de către medic care sta bilește amplitudinile inițiale ale mișcării și crește această amplitudine cu 5-10% pe zi pentru a atinge maximul în ziua 5.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculo-scheletice la nivelul coloanei cervicale, umărului, cotului; leziuni ale țesuturilor moi, în special a tegumentului, prin iritația sau frecarea în punctele de interfață, cum ar fi manșetele sau hamurile, oboseala vizuală și musculară după sesiunile de terapie, greață, amețeli, senzație de leșin și rău de mișcare, în special în terapiile combinate cu realitatea virtuală, dezorientare, tulburări de Vedere, transpirații excesive sau hipersalivație. Extrem de rar, poate apare o reacție adverse severă de tipul fracturii osoase, în special în cazul dispozitivelor robotice staționare.

*Monitorizare:* implică utilizarea tehnologiei gemenilor digitali (“digital twin technology,”), care sincronizează mișcările fizice ale robotului cu un model virtual și încorporează feedback de la senzori, cum ar fi cuplul și postura pacientului. În timpul terapiei, terapeutul supraveghează oferind atât feedback vizual printr-o interfață om-computer, cât și, dacă este cazul, feedback haptic de la gemenul digital pentru a ghida pacientul și a evalua performanța robotului în timp real.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor pasive, active sau interactive, utilizarea eventuală a unui dispozitiv mai puțin complex, pentru acasă, dacă este disponibil, și menținerea unui program constant de exerciții pentru a menține câștigurile obținute cu terapia robotică, se pot include eventual strategii noi precum terapia cu oglindă sau sarcini la domiciliu.

Robotul **ARMin**, dezvoltat de Swiss Federal Institute of Technology Zurich, dispune de șase grade de libertate și permite efectuarea de exerciții simultane pentru umăr, cot și antebraț.

Dezvoltatorul său, Hocoma, a realizat versiuni comerciale ale roboților exoschelet pentru membrele superioare Armeo Power și Armeo Spring, fundamentați pe ARMin. Aceștia sunt echipați cu interfețe de realitate virtuală și jocuri interactive care oferă permanent un feedback de mișcare și permite ajustarea forței folosite în asistență, în acest fel, permițând pacienților realizarea unui antrenament activ într-un spațiu de lucru tridimensional.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii, în special pentru pacienții cu afectare severă post-accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, recuperarea funcției membrilor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni osoase de tipul: tumori, infecții, fracturi
- osteoporoză severă și osteomalacie,
- tumori maligne vertebrale, infecții, mielopatii, instabilitatea articulară osoasă și afectarea segmentului coloanei cervicale în cadrul artritei reumatoide,
- afecțiuni articulare: artrită inflamatorie severă,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- afecțiuni neurologice care împiedică pacientul să fie aliniat corect cu robotul, ceea ce duce la aplicarea necorespunzătoare a forței sau la riscul de rănire,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă.

*Limitări:*

- este necesară un grad minim de mobilitate reziduală: pentru a putea beneficia de antrenamentul cu ARMin, pacientul trebuie să aibă un anumit grad de mobilitate la nivelul umărului și cotului,
- dispozitivul este destinat utilizării în medii clinice și nu este disponibil pentru uz casnic,
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea; implică un terapeut care ghidează brațul pacientului printr-o mișcare pe care robotul o repetă apoi;
- terapie susținută de jocuri: folosește jocuri interactive pentru a motiva pacienții; pacienții își folosesc brațul pentru a controla un avatar sau un cursor în jocuri virtuale (de ex. un joc cu mingea sau un labirint), terapeuții pot personaliza parametrii jocului, inclusiv cantitatea de asistență robotică, rezistența, viteza și amplitudinea de mișcare necesară, iar sistemul oferă indicii vizuale și auditive pentru a oferi feedback și a crește motivația pacientului;
- antrenament orientat pe sarcini se concentrează pe activități funcționale pentru viața de zi cu zi (ADL); strategiile de control ale robotului iau în

considerare intenția și efortul pacientului, permițând mișcarea și sprijinirea acestor mișcări și astfel se obține îmbunătățirea forței, coordonării și a capacității de a efectua mișcări funcționale necesare pentru desfășurarea activităților zilnice. Mișcările ce pot fi efectuate sunt: rotația umărului (verticală și orizontală), flexia/extensia cotului, pronația/supinația antebrăului și flexia/extensia pumnului.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul implică 24 până la 32 de sesiuni, fiecare sesiune durând aproximativ o oră, de trei până la patru ori pe săptămână pe o perioadă de 8 săptămâni. Numărul exact de sesiuni poate varia, unele studii utilizând 24 de sesiuni, iar altele incluzând până la 32.

*Efecte adverse, riscuri:* leziuni ale țesuturilor moi, în special a tegumentului, prin iritația sau frecarea în punctele de contact ale robotului, cum ar fi manșetele sau curelele, disconfort sau durere musculară din cauza forțelor crescute aplicate sistemului musculo-scheletic, risc de accidentare crescut datorită forței excesive ce apare prin de nealinierea segmentelor implicate în terapie, în special la pacienții cu spasticitate sau rigiditate severă, modificări ale tensiunii arteriale.

*Monitorizare:* implică o combinație de metode de siguranță bazate pe software, monitorizarea datelor pacientului și roboților și supravegherea activă de către terapeut. Caracteristicile de siguranță includ senzori redundanți, detectare a autocoliziunilor și sisteme de supraveghere care întrerup imediat alimentarea cu energie în cazul unei anomalii. În timpul terapiei, terapeuții supraveghează folosind un „buton de siguranță” pentru controlul instantaneu al opririi și urmăresc afișajele audiovizuale care arată mișcarea pacientului și progresia sarcinii.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei care implică efortul activ al pacientului, cu sau fără asistență robotică pentru a menține implicarea și a stimula îmbunătățirea rezultatelor; continuarea exercițiilor de mare intensitate și în mod repetat pentru a stimula plasticitatea creierului, adaptarea continuă a exercițiilor pentru a ne asigura că pacientul este provocat fără a fi copleșit.

Hocoma a realizat versiuni comerciale ale roboților exoschelet pentru membrele superioare Armeo Power și Armeo Spring, bazați pe ARMin.

**Armeo Power** (Figura 8) este un exoschelet robotizat complet, cu motoare (actuatoare) care pot asista activ mișcările de la nivelul membrului superior - umăr, cot, antebră, pumn și se folosește în mod obișnuit precoce în reabilitare, în stadiile incipiente când pacientul are foarte puțin sau nu are control voluntar, pentru a ajuta la inițierea mișcărilor. Are șase grade de libertate, plus un al șaptelea grad de libertate dacă este instalat modulul ManovoPower pentru mână.



**Figura 8.** Exoscheletul robotizat Armeo Power

*Indicații:* post - accident vascular cerebral, leziuni cerebrale post - traumatice, paralizie cerebrală, leziuni medulare, scleroză multiplă, alte afecțiuni neurologice cu afectare de membre superioare (leziuni de nervi periferici).

*Contraindicații si măsuri de precauție:*

- imposibilitatea de a adapta orteza la braț,
- instabilitate osoasă (pseudartroze), fracturi neconsolidate,
- sindroame regionale dureroase severe,
- contracturi articulare fixe la membrul superior afectat,
- funcțiile vitale instabile care necesită suport extern,
- alte boli cum ar fi: neuropatii, fibromialgie, epilepsie,
- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni medicale ce reprezintă contraindicații pentru poziția șezând,
- plăgi, leziuni severe ale pielii sau alte afecțiuni ce ar putea fi agravate de un dispozitiv atașat la piele,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- infecții ce necesită izolare.

*Limitări:*

- dispozitivul necesită spațiu mare și infrastructură deoarece este voluminos și are greutate crescută (>200 kg),

- cost ridicat, atât de achiziție, cât și de întreținere și operaționalizare (personal pregătit, consum electric, software),
- pentru cazurile foarte severe (fără niciun control motor) este necesară operarea cu modurile pasiv sau asistat, procedurile active neputând fi aplicabile până se recuperează un grad minim de mișcare.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea; implică un terapeut care ghidează brațul pacientului printr-o mișcare pe care robotul o repetă apoi;
- mișcare activ asistată: pacientul inițiază mișcarea, robotul oferă asistență adaptivă;
- mișcare activă cu rezistență: robotul se opune mișcării pacientului pentru a crește forța și controlul mișcărilor;
- mișcările ce se pot efectua cu ajutorul Armeo Power sunt: abducția - adducția orizontală a umărului, flexia – extensia, rotația internă - externă a umărului, flexia - extensia cotului, supinație -pronație antebraț, flexia - extensia pumnului,
- susține greutatea brațului (arm weight support) într-un spațiu de lucru tridimensional extins, ceea ce permite pacienților cu slăbiciune severă să înceapă mișcările mai devreme în procesul de recuperare,
- cand este necesar poate fi integrat modulul pentru mână ManovoPower este integrat opțional, pentru a asista deschiderea - închiderea mâinii.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul implică între 20 și 48 de ședințe, cu frecvențe de la două la șapte ori pe săptămână. De exemplu, un studiu a folosit un protocol de 20 de ședințe (30 de minute, cinci zile pe săptămână, timp de patru săptămâni), în timp ce un altul a explorat până la 48 de ședințe pe parcursul a 8 săptămâni. Numărul total de ședințe depinde de planul de tratament elaborate de medical de reabilitare medicală, care este ajustat în funcție de nevoile pacientului și de obiectivele terapiei.

*Efecte adverse, riscuri:* în cazul antrenamentului de mare intensitate poate apare oboseala musculară și disconfort, leziuni ale țesuturilor moi, în special a tegumentului, spasticitate sau rigiditate severă, modificări ale tensiunii arteriale.

*Monitorizare:* implică o combinație de metode cum ar fi: urmărire bazată pe senzori (care înregistrează cu precizie mișcările active ale brațului pacientului pe parcursul sesiunii); feedback în timp real (un monitor de computer afișează exercițiile într-un mediu de realitate virtuală, oferind feedback imediat, vizual și auditiv asupra performanței pacientului); analiza performanțelor (analiza datelor de tipul precizia mișcării, fluiditatea și

amplitudinea mișcării); stocarea datelor (datele de antrenament sunt salvate în software-ul sistemului, permițând terapeuților să urmărească progresul pe termen lung și să documenteze îmbunătățirile); ajustări automate (folosirea unor indicatori de performanță pentru a ajusta automat nivelul de dificultate al exercițiilor, astfel încât să se potrivească cu capacitatea actuală a pacientului).

*Recomandări post-tratament:* continuarea dezvoltării beneficiilor obținute în urma sesiunilor de terapie robotică cu ajutorul unui program de exerciții continue la domiciliu sau în clinică, menținerea motivației pacientului și integrarea de noi abilități în activitățile zilnice, crearea unui plan personalizat care să includă o combinație de exerciții repetitive continue, încorporarea de noi sarcini și utilizarea datelor de evaluare pentru a urmări progresul în domenii precum amplitudinea mișcării și forța.

**Armeo Spring** face parte din linia „Armeo Therapy Concept”, care oferă mai multe module pentru diferite etape ale recuperării membrilor superioare, este un exoschelet mecanic cu arcuri care oferă suport pentru greutatea brațului (suport gravitațional), dar nu are motor care să “forțeze” mișcarea. Utilizatorul trebuie să producă activ mișcările, iar brațul este “susținut” mecanic pentru ca oboseala să fie redusă și pentru a permite mișcări mai ample tridimensionale. este destinat pacienților cu mișcare activă reziduală. Are șase grade de libertate și asistă mișcările de adducție – abducție ale umărului, flexie – extensie, rotație internă - externă, ale umărului, de flexie - extensie ale cotului, de pronție - supinație ale antebrățului și de flexie - extensie ale pumnului. Există și versiunea nouă ArmeoSpring Pro, cu tehnologie TrueG (suport continuu al greutății pe întreaga gamă de mișcare).

*Indicații:* reabilitarea membrilor superioare la pacienții cu accident vascular cerebral, leziuni cerebrale post - traumatice, paralizie cerebrală, leziuni medulare, scleroză multiplă, leziuni cerebrale dobândite și alte tulburări neurologice sau neuromusculare.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- imposibilitatea de a adapta orteza la braț,
- instabilitate osoasă (pseudartroze, fracturi), fracturi neconsolidate,
- sindroame regionale dureroase severe,
- contracturi articulare fixe la membrul superior afectat,
- funcțiile vitale instabile care necesită suport extern,
- alte boli cum ar fi: neuropatii, fibromialgie, epilepsie,
- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni medicale ce reprezintă contraindicații pentru poziția șezând,
- plăgi, leziuni severe ale pielii sau alte afecțiuni ce ar putea fi agravate de un dispozitiv atașat la piele,
- spasticitatea crescută, severă,

- angină instabilă sau insuficiență cardiacă necontrolată,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- infecții ce necesită izolare.

*Limitări:*

- incapacitatea sa de a efectua anumite mișcări ale umărului,
- potențialul de plictiseală și demotivare a pacientului din cauza sarcinilor repetitive,
- necesitatea unor criterii specifice de eligibilitate pentru pacienți din cauza unor factori precum încoordonarea severă sau anumite afecțiuni postoperatorii.
- posibilitatea ca sesiunile scurte să fie prea lungi, complexitatea măsurării eficacității sale și lipsa unor îndrumări specifice pentru anumite tipuri de pacienți,
- nu are motoare care forțează mișcarea; pacientul trebuie să inițieze mișcarea, iar dispozitivul asigură susținerea necesară.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare activă: dispozitivul folosește un exoschelet pentru a susține brațul pacientului și a-l ghida printr-o varietate de exerciții și realitatea virtuală, susținând mișcări în mai multe dimensiuni: mono, bi și tridimensional, în funcție de progresul pacientului,
- modul de evaluare: folosește jocuri de diagnostic pentru a măsura capacitățile funcționale ale pacientului și a urmări progresul, sistemul înregistrează date despre unghiuri, traiectorii, viteze, progres și permite generarea de rapoarte detaliate,
- când este necesar se poate integra adițional modulul ManovoSpring (orteză pentru mână și modul de prindere) pentru a extinde capacitatea de reabilitare la nivelul mâinii.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate, centre de cercetare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul implică 36 de ședințe pentru pacienții cu accident vascular cerebral cronic sau 20 de ședințe pentru copiii cu paralizie cerebrală sau leziuni cerebrale dobândite, adesea de 3 ori pe săptămână. Numărul total de ședințe este personalizat de către terapeut, care ajustează programul de exerciții în funcție de progresul pacientului.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare sau articulare, creșterea spasticității la unii pacienți, decompensări ale funcției cardiace.

*Monitorizare:* implică o combinație de date obiective din software-ul dispozitivului și evaluări clinice standardizate. Software-ul urmărește performanța pacientului în jocuri și exerciții de realitate virtuală, inclusiv indicatori precum mișcarea, forța de prindere și progresul în timp. De

asemenea, terapeuții monitorizează progresul folosind evaluări formale care evaluează dexteritatea manuală, forța și amplitudinea mișcărilor și pot utiliza chestionare pentru pacienți pentru a colecta feedback subiectiv cu privire la experiența și îmbunătățirile funcționale ale acestora.

*Recomandări post-tratament:* necesitatea integrării cu alte terapii, deoarece unele studii sugerează că antrenamentul asistat de roboți singur poate să nu fie superior metodelor tradiționale pentru toate rezultatele. Este adesea recomandat pacienților cu anumite niveluri de funcționare a mâinii și ar trebui să facă parte dintr-un plan terapeutic mai cuprinzător.

Robotul **Harmony** dezvoltat de Universitatea din Texas este un robot tip exoschelet cu cinci grade de libertate ce permite antrenamentul simultan pentru ambele membre superioare și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului. Acesta susține tratamentul în mod activ, pasiv și asistat, realizează un feedback și control clare și datorită interacțiunii și înregistrării datelor duce la creșterea aderența pacientului la terapie.

*Indicații:* reabilitarea membrelor superioare după o leziune sau o afecțiune neurologică, de tipul accidentului vascular cerebral, leziuni cerebrale post – traumatice sau neuromusculare.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- imposibilitatea de a adapta orteza la braț,
- instabilitate osoasă (pseudartroze, fracturi), fracturi neconsolidate,
- sindroame regionale dureroase severe,
- contracturi articulare fixe la membrul superior afectat,
- alte boli cum ar fi: neuropatii, fibromialgie, epilepsie,
- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni medicale ce reprezintă contraindicații pentru poziția șezând,
- plăgi, leziuni severe ale pielii sau alte afecțiuni ce ar putea fi agravate de un dispozitiv atașat la piele,
- spasticitatea crescută, severă,
- angină instabilă sau insuficiență cardiacă necontrolată,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă.

*Limitări:*

- provocări legate de interfața clinică,
- dificultăți tehnice,
- potențialul de plictiseală și demotivare a pacientului din cauza sarcinilor repetitive,
- potențialul unui efect de „relaxare” în care utilizatorul nu participă active,

- costul ridicat și aplicabilitate limitată pentru anumite grupuri de pacienți,
- necesitatea unui feedback și a unei analize mai avansată a datelor.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcări pasive: robotul mișcă brațul pacientului pe o traiectorie pre-programată sub îndrumarea terapeutului sau pasiv pentru a efectua exerciții de stretching;
- terapie în oglindă” activă: pentru pacienții care au capacitate motorie doar pe un hemicorp, rațul intact al robotului oglindește mișcărilor brațului afectat al pacientului;
- mișcări activ-asistive: robotul ajută activ pacientul să efectueze exerciții, ajutându-l să atingă poziția țintă dacă nu este capabil să inițieze mișcarea singur;
- autonom: robotul execută exerciții sau sarcini preprogramate independent, fără intervenție directă din partea pacientului sau terapeutului;
- mod de la distanță: un terapeut poate opera robotul de la distanță, controlând sesiunile de rehabilitare în timp real.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici specializate care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Numărul de sesiuni de terapie robotică cu brațul Harmony necesare pentru obținerea rezultatelor variază, dar studiile sugerează un total de 10 până la 60 de sesiuni, un protocol utilizând șapte sesiuni de o oră pe parcursul a trei săptămâni și jumătate (două pe săptămână). Un alt program a implicat 36 de sesiuni pe parcursul a 12 săptămâni (trei sesiuni pe săptămână). Numărul total de sesiuni și frecvența acestora depind de nevoile specifice ale pacientului, de protocolul aplicat și de rezultatul dorit.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare sau articulare, creșterea spasticității la unii pacienți, fluctuații ale tensiunii arteriale, leziuni ale țesuturilor moi de tipul iritații ale pielii.

*Monitorizare:* implică o combinație de senzori robotici integrați (care colectează date în timp real privind poziția articulațiilor, viteza și forțele de interacțiune), sisteme externe (de captare a mișcării pentru acuratețe) și date raportate de pacient (din chestionare aplicate pacienților și care evaluează factori precum utilizabilitatea, durerea și implicarea), în timp ce terapeuții urmăresc progresul folosind datele colectate și măsuri externe ale rezultatelor.

*Recomandări post-tratament:* abordarea unui program de îmbunătățirea continuă a funcției motorii, a forței și a dexterității prin exerciții concepute pentru a menține flexibilitatea și a sprijini activitățile zilnice. Terapeuții pot utiliza datele dispozitivului pentru evaluarea obiectivă a progresului, pentru a identifica punctele slabe și pentru a personaliza planurile viitoare de antrenament. Designul robotului și diversele moduri de

funcționare îl fac, de asemenea, un instrument sigur, motivant și adaptabil pentru reabilitarea prelungită.

Cercetătorii de la Universitatea Tsinghua (Cheng Yang și colaboratorii) au dezvoltat un braț exoschelet de reabilitare cu cinci grade de libertate (Figura 9), destinat terapiei pacienților cu accident vascular cerebral. La baza acestui dispozitiv stă teoria controlului descompunerii virtuale (VDC, *virtual decomposition control*), iar prin eliminarea articulației pumnului se obține un antrenament eficient și în siguranță. Această abordare descompune întregul sistem robotic în subsisteme cu patru grade de libertate ceea ce conferă un control ridicat.

Un alt robot, dezvoltat de Universitatea Tehnologică Nanyang din Singapore este un robot portabil flexibil și foarte ușor, care dispune de trei unități de măsurare inerțiale (IMU, *Inertial Measurement Unit*) pe braț, antebraț și suporturi dorsale cu scopul de a realiza un cuplu ce asistă mișcarea împotriva gravitației. Dispozitivul se poate adapta la persoane cu parametri corporali diferiți, parametri ce se pot regla ușor și pot fi modificați prin rotirea butoanelor de pe joystick. Acest robot este utilizat în antrenamentul de reabilitare pentru umăr, cot, pumn și mână.



**Figura 9.** Cheng Yang, 2022

*Indicații:* reabilitarea și recâștigarea abilităților motorii la pacienții post-accident vascular cerebral care afectează umărul, pumnul, mâna; pentru a îmbunătăți forța și funcționalitatea pentru activitățile vieții de zi cu zi (ADL) post-accidentul vascular cerebral.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni cognitive, perceptive (inclusiv hemi-neglijență) și, sau emoțional-comportamentale severe,

- afecțiuni medicale instabile sau terminale,
- afectări maligne sau tulburări neurodegenerative,
- prezența unor factori locali care pot fi agravați de terapia brațului sau de interfața dispozitivului,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior afectat,
- spasticitate crescută,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- infecții active,
- instabilitate osoasă (pseudartroze, fracturi), fracturi neconsolidate,
- sindroame regionale dureroase severe,
- contracturi articulare fixe la membrul superior afectat incompatibile cu interfața dispozitivului,
- incapacitatea de a tolera 90 de minute de terapie,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- sarcină sau alăptare,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă.

*Limitări:*

- grosimea mânușii a împiedicat îndeplinirea unor sarcini din cauza feedback-ului senzorial redus al vârfului degetelor și a forțelor musculare mai mari necesare pentru a depăși blocajul tactil din partea mânușii.

*Mod de aplicare, operare:*

- asistență pasivă: robotul efectuează mișcarea pentru pacient, care nu este implicat activ;
- asistență parțială: pacientul este implicat activ, iar robotul oferă asistență pentru a-l ajuta să finalizeze o mișcare pe care nu o poate efectua complet singur;
- modul de corecție: atunci când pacientul se poate mișca, dar cu abateri, iar robotul oferă feedback sau limitări pentru a ghida corect mișcarea;
- modul de rezistență: robotul adaugă rezistență pentru a-și dezvolta forța pe măsură ce pacientul câștigă independență.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale, clinici și, din ce în ce mai mult, acasă, atât pentru reabilitare supravegheată, cât și nesupravegheată. Ajută la exerciții și sarcini zilnice, reducând povara asupra terapeuților și permițând o terapie mai intensivă. Pot fi utilizați în medii de cercetare pentru a testa noi strategii de control și a evalua rezultatele. Protocolul tipic include de obicei, un număr de 1-7 sesiuni, adesea cu o durată de 90 de minute fiecare. Un singur studiu a utilizat trei sesiuni pe parcursul unei săptămâni, inclusiv screening-ul, o fază de familiarizare și montarea dispozitivului.

*Efecte adverse, riscuri:* leziuni ale țesuturilor moi apărute datorită presiunii și forfecării excesive la interfața dintre robot și corp (de exemplu, manșete, hamuri), disconfort sau durere musculară din cauza forțelor

crescute aplicate sistemului musculo-scheletic, risc de accidentare crescut datorită forței excesive ce apare prin de nealinierea segmentelor implicate în terapie, în special la pacienții cu spasticitate sau rigiditate severă, modificări ale tensiunii arteriale, limitarea capacității pacientului de a efectua anumite sarcini datorită designului robotului, pacientul poate experimenta un efort mental mai mare pentru a controla robotul sau pentru a se adapta la mișcările acestuia, probleme legate de modul de utilizare a robotului, reticența pacientului în a accepta dispozitivul robotic.

*Monitorizare* cu ajutorul unei combinații de date de la senzori și evaluări clinice, care includ: unități de măsurare inerțiale (IMU) și senzori de compresie (purtate pe membre pentru a urmări mișcarea, cinematica și intenția utilizatorului); modele de învățare automată (modele personalizate care procesează datele senzorilor pentru a decodifica intenția de mișcare a utilizatorului), evaluări clinice (măsurătorile pre- și post-terapie, cum ar fi forța de prindere, evaluarea motorie Fugl-Meyer și nivelurile de activitate musculară, sunt utilizate pentru a cuantifica îmbunătățirile în ceea ce privește forța, dexteritatea și funcția).

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor pasive, active sau interactive, orientate spre sarcini, pentru a-și îmbunătăți abilitățile motorii și generalizarea; continuarea utilizării robotului pentru a-i ajuta în activitățile zilnice (ADL), cum ar fi alimentația sau igiena personală, și să urmeze instrucțiunile unui terapeut pentru reabilitarea la domiciliu pentru a menține îmbunătățirile obținute în urma terapiei.

Un alt dispozitiv dezvoltat de Swiss Federal Institute of Technology Zurich, exoscheletul **LIMPACT**, combină un cadru ușor cu actuatore realizând un raport putere-greutate crescut și oferind astfel o transparență dinamică. Exoscheletul dispune de cinci grade de libertate și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului. Greutatea exoscheletului dar și cea a brațului pacientului sunt compensate cu ajutorul mecanismului de echilibrare pasivă. Alinierea axelor articulațiilor corpului pacientului cu cele ale exoscheletului se realizează cu ajutorul unor mecanisme de auto-aliniere care dau siguranță manipulării dispozitivului și reduc timpul necesar pentru îmbrăcarea și dezbrăcarea acestuia.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii, în special pentru pacienții cu afectare severă post-accident vascular cerebral, în stadiile subacute, cât și în cele cronice, adesea ca adjuvant al metodelor convenționale, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, recuperarea funcției membrelor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, reabilitare după intervenții chirurgicale la umăr, cot, mână sau alte articulații.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și pulmonare severe,
- afecțiuni osoase de tipul: tumori, infecții, fracturi,
- osteoporoză severă și osteomalacie,
- afecțiuni articulare: artrită inflamatorie severă,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- insuficiența hepatică, infecții active,
- spasticitate severă,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- obezitate morbidă,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Limitări:*

- consumul de energie și potențialele riscuri de siguranță datorate constrângerilor mecanice,
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere,

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate să inițieze mișcarea;
- mișcare activ-asistată: robotul oferă asistență în timp ce pacientul încearcă să se miște, mai ales în stadiile incipiente de recuperare;
- mod corectiv sau ghidat: sistemul ajută la ghidarea membrului pacientului de-a lungul unei traiectorii de mișcare corecte și predefinite, folosind adesea un concept de „tunel virtual” pentru a oferi feedback haptic dacă pacientul deviază, evitând apariția tiparelor de mișcare anormale;
- mod de rezistență: robotul poate aplica rezistență mișcărilor active ale pacientului pentru a ajuta la dezvoltarea forței musculare și a rezistenței.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul variază, dar implică adesea 4 până la 12 săptămâni de tratament, sesiunile având loc de 3 până la 5 ori pe săptămână, pentru un total de aproximativ 29 până la 38 de sesiuni. Unele protocoale pot include, de asemenea, o perioadă inițială supravegheată pentru a ajuta pacienții să învețe să utilizeze dispozitivul înainte de a trece la un antrenament nesupravegheat, cu o durată totală de 4 săptămâni pentru ca toți pacienții să își finalizeze protocolul.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații pot

apărea în punctele de contact dintre manșetele sau hamul robotului și piele, echimoze, creștere temporară a tensiunii arteriale. hipotensiune ortostatică, stare de discomfort, căderi.

*Monitorizare:* implică o combinație de date automate, în timp real, de la robot (folosește senzorii robotului pentru a urmări parametri precum repetările, precizia mișcării și forța) și evaluări manuale periodice efectuate de un terapeut (evaluările clinice și datele raportate de pacient).

*Recomandări post-tratament:* continuarea procesului de reabilitare continuă, pe termen lung, pentru a sprijini participarea la activitățile zilnice, combinarea cu metode tradiționale de tratament cum ar fi fizioterapia care oferă fundamentul pentru mișcările funcționale, în timp ce robotul asigură precizia, repetabilitatea și feedback-ul adaptiv ce pot îmbunătăți controlul motor, forța și motivația, creând o abordare sinergică și mai eficientă a reabilitării.

### Roboți tip **exoschelet parțial cu mecanism de acționare pneumatică**

Sistemele de acționare cu actuatorile pneumatice, sunt cunoscute pentru multiplele avantaje oferite cum ar fi: greutatea redusă, flexibilitatea ridicată, răspunsul rapid, rigurozitatea ajustării, consumul redus de energie, dar mai ales, capacitatea de a simula o mare varietate de mișcări naturale. Aceste avantaje le fac soluția ideală de acționare în cazul roboților de reabilitare.

Reinkensmeyer și colegii săi de la Universitatea din California, au dezvoltat robotul **Pneu-WREX** (*Pneumatically actuated upper extremity orthosis*), ce reprezintă un exoschelet pneumatic flexibil pentru terapia de reabilitare a membrilor superioare și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului. Acesta are patru grade de libertate la umăr și un grad de libertate la cot (acoperă mișcările de la nivelul umărului, cotului: rotație a claviculei, flexie - extensie și abducție - adducție a umărului, flexie - extensie a cotului) și folosește dispozitive pasive pentru a echilibra greutatea brațului pacientului și a exoscheletului. Prototipul acestui dispozitiv a fost robotul de reabilitare **T-WREX** (*Wilmington Robotic Exoskeleton*). Dezavantajul major al acestor dispozitive (Pneu-WREX și T-WREX) este reprezentat de faptul că acestea nu permit rotația internă și externă a articulației umărului, limitând astfel mobilitatea la nivelul umărului.

În scopul surmontării acestei limitări, Universitatea din California a dezvoltat mai târziu robotul pneumatic exoschelet **BONES** (*Bi-directional Opportunities for Neurorehabilitation and Experimental Studies*), care permite mișcarea umărului pe întreaga gamă de mobilitate, are șase grade de

libertate, ceea ce permite o varietate largă de mișcări ale brațului, fundamentale pentru antrenamentul funcțional și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului și degetelor. Acest robot folosește cilindri paraleli pentru a acționa o tijă de împingere care mișcă partea superioară a brațului în timpul antrenamentului. Acest mecanism deși ușor, realizează un cuplu mare pe cea mai mare parte a gamei de mișcare a brațului.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii, a dexterității la pacienții cu afectare post-accident vascular cerebral, în stadiile subacute, cât și în cele cronice, post-leziuni medulare, post-leziuni cerebrale traumatice și ischemice, paralizii cerebrale, recuperarea funcției membrilor superioare la pacienții cu boala Parkinson.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe (hemoragia activă sau tromboza), stimuloare cardiace sau alte dispozitive electrice implantate,
- afecțiuni osoase de tipul: tumori, infecții, fracturi,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat,
- spasticitate severă,
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- epilepsia,
- probleme de complianță,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Limitări:*

- potențialele riscuri de siguranță datorate constrângerilor mecanice (roboți sunt voluminoși, cu greutate crescută și restricționați la anumite suprafețe plane),
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere, lipsa mobilității, costul ridicat, necesitatea unui operator calificat și potențialul de disconfort sau rănire din cauza interacțiunii fizice.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate efectua mișcarea;
- mișcare asistată: robotul oferă asistență în timp ce pacientul încearcă să se miște, mai ales în stadiile incipiente de recuperare;
- mod corectiv sau ghidat: sistemul ajută la ghidarea membrului pacientului de-a lungul unei traiectorii de mișcare corecte și predefinite, oferă feedback în timp real pentru a corecta modelele de mișcare necorespunzătoare;

- mod de rezistență: robotul poate aplica rezistență mișcărilor active ale pacientului pentru a ajuta la dezvoltarea forței musculare și a rezistenței.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul variază, dar implică în mod obișnuit 25 de ședințe, fiecare ședință durând 45 de minute. Frecvența variază pentru pacienții internați și cei ambulatori, pacienții internați primind 5 ședințe pe săptămână, iar pacienții ambulatori primind 3 ședințe pe săptămână.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, spasticitate și chiar fracturi, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre robot și corp, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* implică o combinație de senzori robotici, dispozitive portabile și analiză computațională. Aceste sisteme urmăresc datele cinematice, forța și precizia mișcării pentru a cuantifica mișcarea și a ghida terapia, permițând în același timp integrarea activității neuronale pentru o abordare în buclă închisă.

*Recomandări post-tratament:* combinarea reabilitării robotice cu tehnici neuromodulatoare pentru a crește eficacitatea post-terapie. Recomandările includ integrarea asistenței robotice cu intervenții precum stimularea cerebrală neinvazivă sau terapiile medicamentoase pentru a spori neuroplasticitatea, antrenamente repetitive și adaptive și adaptarea reabilitării la nevoile individuale ale pacientului.

Robotul de reabilitare cu exoschelet **RUPERT** a fost dezvoltat de Tu și colegii săi pentru pacienții cu accident vascular cerebral cu spasticitate crescută (la nivelul flexorilor brațului). Dispune de cinci grade de libertate și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului și degetelor. Are la baza dezvoltării sale mecanisme complexe: stimularea electrică funcțională este folosită pentru a activa mușchii paretici ai brațului, iar articulațiile utilizează mușchi artificiali pneumatici pentru o acționare unidirecțională, ceea ce permite pacientului să realizeze mișcări active repetitive de prindere în spațiul tridimensional. În ultimii ani, au fost dezvoltați mai mulți roboți exoschelet pneumatici pentru tratamentul de reabilitare a mâinii și pumnului.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii, a dexterității la pacienții cu afectare post-accident vascular cerebral cu spasticitate crescută la nivelul flexorilor brațului,

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,

- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat (anchiloze articulare),
- deficiențele de vedere severe cu pierderi semnificative ale vederii,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- tulburări de comportament,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate efectua mișcarea;
- mișcare activă: robotul oferă asistență în timp ce pacientul încearcă să se miște, mai ales în stadiile incipiente de recuperare;
- combinarea atât a mișcărilor pasive cât și a celor active cu stimularea electrică funcțională pentru a ajuta la antrenamentul pasiv,

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare dar și în locuințe ale pacienților, deoarece este conceput pentru a fi portabil și ușor de purtat. Protocolul variază, dar implică de la 20 de sesiuni de o oră pe parcursul a patru săptămâni până la 18 sesiuni de o oră pe parcursul a șase săptămâni. Numărul total de sesiuni este determinat de obiectivele terapiei, care pot fi evaluate pe baza unor factori precum starea pacientului și rezultatele dorite.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre robot și corp, creșterea temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală, vertij.

*Monitorizare:* o combinație de date în timp real (despre controlul motor, cum ar fi ratele de succes, viteza și fluiditatea, care sunt afișate pacientului prin intermediul unor jocuri interactive), feedback de la utilizatori și evaluări clinice periodice pentru a urmări progresul. Terapeuții și, în unele contexte la domiciliu, membrii familiei pot supraveghea aceste sesiuni, care includ un amestec de terapie repetitivă asistată și bazată pe sarcini, menită să îmbunătățească plasticitatea neuronală.

*Recomandări post-tratament:* obiectivul este de a trece de la o concentrare pe corectarea pură a deficiențelor la una care pune accent pe abilitățile funcționale și activitățile vieții de zi cu zi, antrenament constant, fizioterapie după terapia robotică pentru a obține cele mai bune rezultate.

Robotul de reabilitare cu exoschelet **Gloreha Sinfonia** a fost dezvoltat de Idrogenet S.r.l., Italia și integrat în prezent în portofoliul BTL Robotics este o mânășă robotică (exoschelet) acționată prin motor pentru reabilitarea mâinii, care utilizează actuatori și cabluri electrice pentru a asista sau facilita flexia și extensia degetelor, ajutând pacienții să-și recapete mobilitatea mâinii prin exerciții ghidate și feedback senzorial. Este un

dispozitiv acționat prin motor, conceput pentru a sprijini și îmbogăți sarcinile terapeutice repetitive cu indicii vizuale sau auditive și jocuri. Este destinat pentru reabilitarea neuromotorie a mâinii și degetelor, la adulți și copii.

Susține efectuarea mișcărilor în articulația pumnului și degetelor și mobilizarea articulațiilor metacarpofalangiene și interfalangiene pentru fiecare deget atât pentru flexie cât și pentru extensie.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării mâinii, degetelor, a dexterității la pacienții cu afectare post-accident vascular cerebral, în stadiile subacute, cât și în cele cronice, post-leziuni medulare, post-leziuni cerebrale traumatice și ischemice, paralizii cerebrale, paralizie cerebrală infantilă, neuropatii periferice, tulburări de neurodezvoltare, recuperarea funcției membrilor superioare la pacienții cu boala Parkinson, distrofie simpatică reflexă, boli reumatismale imuno - inflamatorii cronice ca artrita reumatoidă, artrita psoriazică, sechele functionale post arsuri de diferite grade, aponeurotomia în cazul contracturii Dupuytren, sechele post-chirurgicale (chirurgia mâinii cu leziuni tendinoase, musculare sau a nervilor periferici).

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- prezența leziunilor cutanate, a ulcerărilor, infecțiilor la nivelul mâinii deoarece există riscul de traumă sau iritații când se folosește o mână sau un actuator,
- fragilitate osoasă severă, fracturi recente, instabilitate articulară datorită riscului crescut de suprasolicitare articulară prin mobilizare asistată,
- spasticitate crescută, anchiloze articulare ce necesită evaluare atentă și adaptare progresivă a parametrilor (viteza, amplitudinea, forța),
- necesitatea unei supravegheri de către terapeut calificat pentru configurarea, ajustarea și monitorizarea terapiei,
- toleranță redusă la stimuli (durere, disconfort): orice semn de durere, edem, iritație trebuie monitorizat și adaptat.

*Limitări:*

- nu toate articulațiile proximale (umăr, cot) sunt susținute integral; focusul este pe segmentele distale (degete, mână),
- cost și infrastructură: spațiu adecvat, suport tehnic, supraveghere personal instruit, întreținere, lipsa mobilității, costul ridicat, necesitatea unui operator calificat și potențialul de disconfort sau rănire din cauza interacțiunii fizice.

*Mod de aplicare, operare:*

- mișcare pasivă: robotul realizează mișcarea degetelor: flexie/extensie într-un anumit interval de mișcare, fără intervenția activă a pacientului;
- mișcare activ asistată: pacientul începe mișcarea, apoi mână/sistemul motivează sau asistă doar dacă este nevoie;

- mișcare activă: mișcările de la nivelul degetelor și mâinii sunt efectuate de pacient, cu feedback vizual, grafic sau jocuri pentru motivare și îmbunătățire a amplitudinii mișcării;
- mod bimanual (*Mirror Training*): se folosește mâna sănătoasă ca model, mișcarea mâinii sănătoase este detectată și „oglindită” pe mâna afectată prin mânășă robotică
- mod funcțional (exerciții cu obiecte reale): pe lângă exercițiile pe ecran sau animații, se pot folosi sarcini cu obiecte reale, prinderi, situații din viața de zi cu zi.

Mânășă se montează pe mâna pacientului; terapia se alege în funcție de capacitatea motorie reziduală: pasivă, asistată sau activă; în timpul exercițiilor, pacientul vede pe ecran animații tridimensionale, o interfață grafică sau “serious games”, ceea ce oferă feedback vizual și motivațional. Pot fi folosite obiecte reale, pentru exerciții de prindere, manipulare sau activități funcționale.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare, poate fi adaptat și pentru utilizare cu scaun rulant. Aparatură necesară: mânășă robotică, unitatea de actuare și control; un PC sau touchscreen și software; mobilier ergonomic (masă sau plan de lucru), posibil suport pentru braț (pentru reducerea greutății). Personal implicat: fizioterapeut, kinetoterapeut sau terapeut ocupational, care configurează parametrii, supraveghează, adaptează terapia, monitorizează progresul și eventualele reacții adverse.

Protocolul variază, dar implică în mod obișnuit 20 de ședințe, fiecare ședință durând 30 de minute la care se poate adăuga 30 minute de terapie convențională. Recomandările diferă în ceea ce privește frecvența, durata și structura și de aceea indicațiile, durata și ritmicitatea trebuie adaptate la pacient.

*Efecte adverse, riscuri:* creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală, crampe și apariția oboselii musculare, dureri articulare, spasticitate și chiar fracturi, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre mânășă și corp.

*Monitorizare:* o combinație între evaluări obiective (de tipul testării mobilității degetelor, a amplitudinii de mișcare - ROM, măsurare forță priză, dexteritate, evaluări funcționale ADL, forță, coordonare), evaluarea spasticității și a tonusului muscular (cu MAS, *Modified Ashworth Scale*), evaluarea funcțională globală a membrului superior (cu FMA-UE, *Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity*, teste de dexteritate, manipulare, capacitatea de a realiza activități zilnice).

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor funcționale la domiciliu pentru menținerea mobilității, forței și dexterității combinate cu

activități funcționale (prindere, manipulare, ADL), reevaluări periodice a mobilității, forței, tonusului, a dexterității, educarea pacientului și a familiei sau aparținătorilor privind importanța continuării mișcării, evitării imobilizării prelungite, și menținerii unui program activ de reabilitare, asocierea cu terapie convențională de tipul fizioterapiei, terapiei ocupaționale cu scopul obținerii celor mai bune rezultate.

**Gloreha Aria** este un sistem de reabilitare pentru membrul superior (umăr, braț, cot, antebrăț, mână), bazat pe senzori (fără neapărat o mănușă pe mână) care detectează mișcările libere ale brațului și permit exerciții active, active – asistate, funcționale cu feedback vizual. Unitatea este echipată cu două suporturi dinamice pentru brațe, care compensează parțial sau total greutatea brațelor pacientului. Forma ergonomică a mesei și reglarea automată a înălțimii suprafeței de lucru optimizează poziția pacientului. Un computer integrat cu ecran tactil oferă un panou de control util pentru terapeut și o interfață intuitivă de feedback pentru pacient.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării mâinii, degetelor, a dexterității la pacienții cu afectare post-accident vascular cerebral, în stadiile subacute, cât și în cele cronice, post-leziuni medulare, post-leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, paralizii cerebrale, pacienți cu limitare a mișcării proximale (umăr, cot, braț), unde este nevoie de reantrenare a amplitudinii, forței, coordonării globale a membrului superior.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- leziuni osteo-musculare severe,
- fragilitate osoasă severă, fracturi recente, instabilitate articulară,
- spasticitate crescută, anchiloze articulare,
- necesitatea unei supravegheri de către terapeut calificat pentru configurarea, ajustarea și monitorizarea terapiei,
- toleranță redusă la efort: orice semn de durere, edem, iritație trebuie monitorizat și adaptat,
- comorbidități care pot contraindica mișcări repetate: durere, osteoporoză, afecțiuni cardiace sau vasculare - în funcție de stare generală.

*Limitări:*

- este util doar când există mișcare activă sau mișcare semnificativ inițiată de pacient deoarece dispozitivul Aria nu va genera mișcări pasive,
- deoarece necesită coordonare și capacitate cognitivă pentru a urmări sarcini interactive și vizuale, este mai puțin util în cazuri de afectare cognitivă severă.

*Mod de aplicare, operare:*

- neimplicând un exoschelet (mănușă), pacientul poate mișca liber brațul, iar sistemul cu senzori detectează mișcarea. Set-up-ul este descris ca “imediat” sau foarte rapid,

- terapia se desfășoară prin “jocuri interactive”: pacientul realizează mișcări de ridicare, poziționare, deplasare de braț, cu feedback vizual, întrebări sau dificultăți, adaptate de terapeut,
- exercițiile pot fi personalizate: nivelul de dificultate, amplitudinea, tipul de mișcare, frecvența, în funcție de severitatea deficitului și evoluția pacientului.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare, necesitând un loc pentru dispozitiv, monitor și spațiu liber pentru mișcarea membrului superior. Aparatură necesară: sistemul Aria (senzori, unitate de control, PC sau monitor, software), mobilier adaptat (scaun și masă, spațiu de mișcare), eventual suport ergonomic pentru braț (pentru reducerea greutății). Personal implicat: terapeut care configurează și monitorizează terapia, adaptează nivelul, supraveghează corectitudinea mișcărilor, evaluează progresul. Protocolul variază, dar implică în mod obișnuit 30 de ședințe, de obicei a câte 30 de minute, 5 zile pe săptămână, pe parcursul a aproximativ 6 săptămâni. Este un antrenament cu repetiții multiple, orientat spre obiective, axat pe mișcările mâinilor și brațelor, studiile arată menținerea în timp a beneficiilor terapeutice funcționale.

*Efecte adverse, riscuri:* minore, precum oboseală, crampe și apariția oboselii musculare, dureri articulare.

*Monitorizare:* o combinație între evaluarea funcțională globală a membrului superior (activități de viață zilnică, mobilitate, forță, coordonare) folosind scale standard sau teste clinice, evaluare motorie pentru funcția membrului superior (cu FMA-UE, *Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity*) și monitorizarea toleranței la terapie, confort, apariția oricărui disconfort, a durerii, cu adaptarea parametrilor de lucru și siguranță.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor funcționale la domiciliu pentru menținerea mobilității, forței și coordonării, reevaluări periodice cu scale clinice (FMA-UE, forță, ADL) pentru a monitoriza evoluția și necesitatea unor noi cicluri terapeutice, integrarea reabilitării robotizate cu terapie convențională, terapie ocupațională și activități funcționale zilnice, adaptarea programului de întreținere la necesitățile pacientului: intensitate scăzută, frecvență moderată, exerciții funcționale zilnice.

### **Roboți tip exoschelet parțial acționat de actuator elastic**

Sistemele de acționare cu actuatoarele elastice prezintă caracteristici flexibile, cum ar fi flexibilitatea mecanică dată de componentele elastice (cauciucul, arcurile și alte materiale elastic) ceea ce permite scăderea forțelor

de impact asupra pacientului și sunt utile în reabilitarea cu ajutorul tehnologiilor robotizate.

Tipurile obișnuite de actuatoare elastice includ mai multe tipuri de actuatoare cum ar fi: actuatoare elastice paralele, actuatoare elastice în serie, actuatoare superelastice și actuatoare musculare elastice. Cele mai frecvent studiate sunt actuatoarele elastice datorită proprietăților cunoscute cum ar fi flexibilitatea crescută, absorbția șocurilor, controlul forței cu o precizie ridicată și o mare adaptabilitate.

Robotul tip exoschelet **ANYexo 1.0**, a fost dezvoltat de Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, este un exoschelet pentru membrele superioare, care are șapte grade de libertate și este acționat cu ajutorul actuatoarelor elastice în serie cu impedanță redusă și control al cuplului. Acest lucru sprijină o gamă largă de mișcări de reabilitare a membrilor superioare și simulează cu acuratețe interacțiunea tactilă exactă și identică a terapeutului și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului, ceea ce ajută în efectuarea activităților zilnice precum atingerea, ridicarea și apucarea obiectelor.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii la pacienții cu afectare moderată-severă post-accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, recuperarea funcției membrilor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe, instabile,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat (anchiloză articulare),
- spasticitate severă,
- apraxia și heminegligența,
- accident vascular de trunchi cerebral, accidente vasculare multiple,
- incapacitatea de a menține poziția șezând sau de a menține controlul trunchiului,
- durere severă la nivelul membrului afectat,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- pacienții care nu își doresc terapia,
- tulburări de comportament severe,
- abraziuni sau escare de presiune,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- mod pasiv: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, dacă pacientul nu poate efectua mișcarea;

- mod activ: pacientul poate utiliza robotul pentru a efectua sarcini cu rezistență reglabilă;
- mod bilateral: robotul acționează un membru pentru a imita mișcarea celuilalt, permițând antrenament sincronizat sau în oglindă,
- antrenament izometric: robotul poate fi folosit pentru a antrena mușchii să mențină o poziție împotriva rezistenței.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare dar și clinici de fizioterapie, care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Protocolul variază mult, implică între 28 și 82 de sesiuni pe o perioadă de 2 până la 7 săptămâni. Un studiu a utilizat, de asemenea, 10 sesiuni, fiecare durând 45 de minute.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, întindere musculară, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, vezicule, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre robot și corpul uman, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală, vertij, risc de cădere, greață.

*Monitorizare:* o combinație între colectarea datelor (robotul colectează continuu date cantitative despre mișcările și performanța pacientului în timpul fiecărei sesiuni), analiza performanței (terapeuții analizează indicatorii de performanță pentru a înțelege progresul pacientului și a identifica domeniile ce trebuie îmbunătățite), evaluare clinică (oferă o imagine mai amplă a recuperării funcționale dincolo de datele robotice), raportarea sesiunilor (după fiecare sesiune, sistemul poate stoca toate datele și poate genera rapoarte care detaliază progresul pacientului și indicatorii de performanță), ajustări ale terapiei (terapeuții utilizează datele combinate pentru a ajusta parametrii robotului, pentru a adapta terapia la nevoile și obiectivele specifice ale pacientului).

*Recomandări post-tratament:* continuarea cu exerciții tradiționale de reabilitare pentru a menține și a consolida progresul realizat cu terapia robotizată, continuarea sarcinilor funcționale pentru a transfera câștigurile din ședința de terapie în viața de zi cu zi.

**ANYexo 2.0** este robotul modernizat și optimizat care dispune de nouă grade de libertate, îmbunătățind astfel viteza, forța, amplitudinea de mișcare și feedback-ul tactil. În plus, îmbunătățește designul de cuplare a umărului și structura cinematică, un suport mai bun pentru antrenamentele în activitățile zilnice și un control crescut al forței și vitezei în scopul adaptării unei populații mai multor tipuri de antrenament și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii la pacienții cu afectare moderată-severă post-accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni

cerebrale traumatice și ischemice, recuperarea funcției membrelor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, reabilitare după intervenții chirurgicale la umăr, cot, mână.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe, instabile,
- deficite senzoriale severe la nivelul membrului superior paretic,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat (anchiloză articulare),
- infecții active,
- osteoporoză severă,
- apraxia și heminegligența,
- fracturi nevindecate la nivelul brațului sau umărului,
- spasticitate necontrolată, severă,
- incapacitatea de a menține poziția șezând sau de a menține controlul trunchiului,
- durere severă la nivelul membrului afectat,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- abraziuni sau escare de presiune,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- mod pasiv: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, după o traiectorie predefinită, dacă pacientul nu poate efectua mișcarea;
- mod activ: pacientul poate utiliza robotul pentru a efectua sarcini cu rezistență reglabilă;
- mod bilateral (“în oglindă): robotul acționează un membru pentru a imita mișcarea celuilalt, permițând antrenament sincronizat sau în oglindă,
- antrenament izometric: robotul poate oferi exerciții izometrice, în care pacientul lucrează împotriva rezistenței fără a mișca articulația.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare dar și clinici de fizioterapie, care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere. Planul optim de tratament este individualizat, durata terapiei variind de la 10 zile la 12 săptămâni și o frecvență de două până la zece sesiuni pe săptămână. În medie, unele studii au utilizat un program de tratament de patru sesiuni pe săptămână timp de șase săptămâni.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, întindere musculară, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, vezicule, echimoze ce pot apărea la interfața fizică dintre robot și corpul uman, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* o combinație de senzori cinematici și de forță încorporați în exoschelet, care măsoară unghiurile articulare, mișcarea și forțele de interacțiune, și senzori de electromiografie, care urmăresc activitatea musculară. Aceste date multimodale permit terapeuților să evalueze continuu progresul unui pacient prin analizarea unor parametri precum amplitudinea mișcării, precizia mișcării, activarea musculară și gradul de suport oferit, permițând ajustări în timp real și o evaluare mai obiectivă decât observarea calitativă tradițională.

*Recomandări post-tratament:* continuarea antrenamentului în mod constant pentru a menține progresele, deoarece efectele se pot diminua în timp. Combinarea antrenamentului robotic cu alte abordări terapeutice, cum ar fi tratamentul cu toxină botulinică pentru spasticitate dar și cu tehnici de fizioterapie.

Robotul de reabilitare a membrului superior **NESM** (*NeuroExos Shoulder-elbow Module*) dezvoltat de Universitatea din Pisa, Italia, a fost proiectat pentru reabilitarea articulației cotului și a umărului, are șapte grade active de libertate, toate acestea folosesc actuatoare elastice în serie. Pentru articulația umărului care are trei grade de libertate, robotul NESM încorporează opt articulații pasive cu scopul ajustării parametrilor și pentru a se adapta nevoilor de reabilitare ale pacienților cu diferiți parametri corporali și susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului. Există și o versiune optimizată a acestui robot, NESM- $\gamma$ , care conține o structură cu inversare rapidă a mișcării ce permite utilizarea bimanuală, atât cu mâna dreaptă, cât și cu cea stângă, spre deosebire de robotul NESM, util doar pentru reabilitarea unilaterală a brațului. În plus, NESM- $\gamma$  îmbunătățește unghiul de urmărire și stabilitatea cuplului.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii la pacienții cu afectare subacută și cronică post-accident vascular cerebral, hemipareză și/sau spasticitate la nivelul brațului, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, recuperarea funcției membrilor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, reabilitare după intervenții chirurgicale la umăr, cot.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe, instabile,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat (anchiloză articulare),
- infecții active, plăgi la nivelul membrului superior afectat,
- osteoporoză severă,
- fracturi în curs de vindecare la nivelul brațului, cotului sau umărului,
- spasticitate necontrolată, severă,
- durere severă la nivelul membrului afectat,

- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- abraziuni sau escare de presiune,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- mod pasiv: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, după o traiectorie predefinită, atunci când pacientul nu poate efectua mișcarea;
- mod rezistiv: robotul aplică forțe care se opun mișcării dorite, aceasta fiind o metodă obișnuită pentru dezvoltarea forței în mușchii antagoniști;
- mod corectiv: robotul nu asistă pacientul, ci corectează mișcarea pentru a se asigura că urmează o traiectorie dorită și pentru a asigura coordonarea între articulații.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare dar și în cazuri selecționate la domiciliu. Planul optim de tratament este individualizat, durata terapiei variind de la 4 săptămâni cu sesiuni zilnice, până la zece sesiuni de 45 de minute pentru a observa îmbunătățiri semnificative.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, întindere musculară, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre robot (manșete, hamuri) și corpul uman, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* utilizarea senzorilor pentru colectarea de date cinematice (unghiurile articulațiilor, măsurarea forțelor de interacțiune și a cuplurilor dintre robot și pacient) și evaluarea semnalelor electromiografice pentru a înțelege activitatea musculară (evaluarea amplitudinii de mișcare, a efortului și a activării musculare a pacientului) și asigură că robotul oferă asistența adecvată, rămânând în același timp transparent și sigur.

*Recomandări post-tratament:* continuarea antrenamentului cu mișcări adaptate cu focus pe aplicarea coordonării îmbunătățite umăr-cot în timpul activităților zilnice, includerea sarcinilor funcționale în planul general de terapie pentru a îmbunătăți dexteritatea și independența în viața de zi cu zi, utilizarea mușchilor umărului și cotului pentru a reduce dependența de strategiile compensatorii, continuarea kinetoterapiei convenționale, care poate include exerciții de stretching, sarcini funcționale și exerciții pentru dezvoltarea rezistenței, forței și echilibrului în cadrul unui plan personalizat care să ia în considerare atât recuperarea motorie, cât și cea funcțională.

**CURER** este un robot de reabilitare exoschelet cu șapte grade de libertate pentru membrul superior dezvoltat de Universitatea Wuhan care a proiectat un actuator elastic în serie, robotul fiind folosit în antrenamentul articulațiilor cotului și umărului. Patru grade de libertate sunt acționate de actuatorele elastice în serie și acoperă cea mai mare parte a traiectoriei de

mișcare a brațului uman în timpul antrenamentului de reabilitare, permițând un control precis al forței și a capacității de ajustare a poziției. Susține efectuarea mișcărilor în articulația umărului, cotului și pumnului și degetelor.

*Indicații:* îmbunătățirea funcției motorii, a forței și coordonării brațului și mâinii la pacienții cu afectare subacută și cronică după accident vascular cerebral, hemipareză și/sau spasticitate la nivelul brațului, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, recuperarea funcției membrelor superioare la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, pacienți cu forță sau coordonare limitată din cauza unor leziuni, intervenții chirurgicale sau alte afecțiuni, reabilitare după intervenții chirurgicale la umăr, cot.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare severe, instabile,
- contracturi articulare fixe la nivelul membrului afectat (anchiloze articulare),
- infecții active, plăgi la nivelul membrului superior afectat,
- fracturi în curs de vindecare la nivelul brațului, cotului sau umărului,
- spasticitate necontrolată, severă,
- durere severă la nivelul membrului afectat,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- abraziuni sau escare de presiune,
- dispozitive electronice implantate: stimulatoarele cardiace, defibrilatoarele cardiovertere, pompele de insulină sau implanturile cohleare,
- epilepsia incomplet controlată de tratament,
- anemia severă și cașexia,
- boli hemoragice cum ar fi coagulopatiile.

*Mod de aplicare, operare:*

- mod pasiv: robotul realizează mișcarea membrului/segmentului de membru într-un anumit interval de mișcare, după o traiectorie predefinită, atunci când pacientul nu poate efectua mișcarea;
- mod asistiv: robotul oferă asistență în timp ce pacientul încearcă să se miște, mai ales în stadiile incipiente de recuperare;
- mod rezistiv: robotul aplică forțe care se opun mișcării dorite, aceasta fiind o metodă obișnuită pentru dezvoltarea forței în mușchii antagoniști;
- mod corectiv: robotul oferă feedback în timp real sau impune limitări pentru a corecta abaterile de mișcare și a îmbunătăți coordonarea;
- mod realitate virtuală: folosirea realității virtuale face ca antrenamentul să fie mai captivant și mai distractiv prin încorporarea unor exerciții interactive și orientate spre obiective, asemănătoare jocurilor.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare care dispun de aparatura necesară și de personal

calificat, întreținere. Protocoalele variază de la 20 la 36 de ședințe. Un protocol comun implică 20 până la 30 de ședințe distribuite pe o perioadă de 4 până la 6 săptămâni, cu sesiuni de terapie de 3 până la 5 ori pe săptămână. Cu toate acestea, numărul total de ședințe, frecvența și durata fiecărei ședințe depind de nevoile specifice ale pacientului și de obiectivele tratamentului.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare, întindere musculară, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la interfața fizică dintre robot (manșete, hamuri) și corpul uman, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* combinație de biofeedback al pacientului (pacienții își pot monitoriza propria performanță în timpul sesiunilor, ajustându-și mișcările pe baza feedback-ului în timp real), date despre mișcare în timp real (robotul colectează date despre mișcare în timp real, inclusiv valorile curentului de cuplu și traiectoriile fiecărei articulații, pentru a oferi o imagine detaliată a mișcărilor pacientului, monitorizarea semnelor fiziologice, cum ar fi ritmul cardiac), intervenția terapeutului (terapeuții pot utiliza software pentru a oferi instrucțiuni orale, a modifica sarcini și a ajusta parametri precum lățimea taliei și lungimea picioarelor pentru a adapta terapia la nevoile pacientului, inclusiv ajustarea exercițiilor de la distanță).

*Recomandări post-tratament:* includ o combinație de terapie continuă, monitorizare a datelor și implicare a pacientului pentru a maximiza recuperarea. Principiile cheie includ utilizarea robotului pentru a continua exerciții repetitive cu doze mari, utilizarea datelor colectate de robot pentru evaluare obiectivă și integrarea tehnologiei cu motivația pacientului prin intermediul unor funcții captivante. Continuarea terapiei cu sesiuni de kinetoterapie convențională, conduse de terapeut, pentru a obține beneficiile ambelor abordări, așa cum s-a observat în studiile în care terapia combinată a arătat o îmbunătățire similară metodelor tradiționale, dar cu mai puțin timp alocat terapeutului.

## 2. *Exoschelete pasive pentru membrele inferioare* (*exoschelete pasive pentru genunchi sau șold-orteze șold* *sau genunchi, exoschelete pentru antrenament static*)

Exoscheletele pasive ale membrelor inferioare sunt dispozitive realizate cu scopul asistării sarcinilor cu susținere a greutateii, a corectării mersului sau de reducere a activității musculare prin designul și funcția lor mecanică. Exoscheletele pasive sunt reprezentate ca structuri articulate care se conectează la șoldurile, genunchii și gleznelor pacientului, adesea

încorporând modele cinematice pentru a defini articulațiile și capacitățile de mișcare. Design-ul lor include elemente pasive precum arcuri sau amortizoare pentru a stoca și elibera energie, ajutând mișcarea fără surse externe de energie. Prototipul este reprezentat de “Assisted-walking Device” a lui Nicholas Yagn în 1890 ce permitea sprijin pentru mers și alergare prin utilizarea unor arcuri lungi.

**HKAFO** (*Hip-Knee-Ankle-Foot Orthosis*, Figura 10) sau orteza șold-genunchi-glezna-picior este o orteză ortopedică complexă care stabilizează și aliniază șoldul, genunchiul, glezna și piciorul. Este folosită în afecțiuni neurologice și ortopedice severe, unde pacientul are slăbiciune musculară sau paralizie a întregului membru inferior. Se extinde de la trunchi pentru a controla membrele inferioare și pelvisul, având o bandă pelviană, o articulație de șold blocabilă și comenzi pentru genunchi, gleznă și picior pentru a stabiliza corpul și a îmbunătăți alinierea.



**Figura 10.** Orteza HKAFO (Hip-Knee-Ankle-Foot Orthosis)

*Indicații:* pacienți cu tetrapareză, parapareză de diferite cauze (post-traumatisme medulare), poliomielită severă, mielomeningocel, paralizie cerebrală severă, scleroză multiplă avansată, spina bifida, paraplegie cauzată de leziuni ale măduvei spinării, distrofie musculară și accident vascular cerebral.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- deformări severe sau fixe ale articulațiilor,
- lipsa completă a echilibrului trunchiului deoarece purtarea HKAFO necesită control bun al trunchiului,
- toleranță fizică redusă,
- afecțiuni sistemice severe (insuficiență cardiacă severă, boală pulmonară cronică avansată) HKAFO implică un efort mare la mobilizare,

- leziuni cutanate sau infecții în zona de contact cu orteza,
- deformări severe ireversibile,
- durere intensă ce un poate fi ameliorată cu orteza,
- afecțiuni circulatorii severe,
- refuzul pacientului de a purta HKAFO, lipsa de cooperare,
- forță scăzută a membrelor superioare deoarece pentru deplasarea cu HKAFO pacientul are nevoie de cârje.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea tegumentului și membrului inferior (pielea trebuie să fie curată, uscată, fără leziuni);
- îmbrăcare cu o șosetă sau protecție specială (șosetă groasă sau protecție moale din bumbac);
- poziționarea membrului în orteză (se introduce progresiv întâi piciorul, glezna, genunchiul și apoi șoldul);
- fixarea curelelor care trebuie realizată începând de jos în sus;
- verificarea poziției și confortului pacientului pentru a nu se produce leziuni;
- aplicarea instructajului pentru mers și folosire.

*Resurse:* utilizarea unui exoschelet pasiv cum este HKAFO se inițiază în mod obișnuit în spital cu scopul de a evalua și adapta inițial orteza, urmând ca apoi pacientul să o utilizeze în ambulatoriu unde se adresează pentru terapie și ajustări periodice și apoi la domiciliu unde o utilizează pentru suportul zilnic în mers și pentru prevenirea deformărilor.

Utilizarea unei HKAFO poate fi temporară (timp de săptămâni sau luni) cum este în cazul reabilitării post-traumatice sau post-operatorii (până când pacientul recâștigă forța și stabilitatea), însă alteori poate fi pe termen lung sau permanent (pentru afecțiuni cronice degenerative cum este cazul sclerozei multiple severe sau a paraliziiilor permanente). Durata zilnică recomandată de purtare a unui exoschelet pasiv HKAFO este de aproximativ o oră în prima zi, urmată de creșterea perioadei la 2-3 ore în zilele 2-4, apoi la 5 ore în zilele 5-7, ca din ziua a 8-a să poată fi purtată întreaga zi, cu obligativitatea ca tegumentele să fie verificate de prezența sau absența vreunei leziuni după fiecare ciclu de purtare.

*Efecte adverse, riscuri:*

- leziuni cutanate (iritații, ulcerații, escare) ce pot apare în cazul ortezelor ajustate greșit, a materialelor neadecvate sau a utilizării excesive,
- disconfort și durere la punctele de sprijin sau la nivelul articulațiilor învecinate dacă ortezele un sunt aliniat bine,
- afectarea mobilității și a mersului putând duce la rigiditate excesivă, mers anormal compensator, slăbirea musculaturii în caz de utilizare excesivă,

- dezechilibre posturale ce pot apare în cazul ortezelor asimetrice sau greșit reglate,
- probleme psihosociale cu apariția stigmatizării și a disconfortului, mai ales în cazul copiilor sau scăderea aderenței la purtarea ortezei.

*Monitorizare:* implică atât evaluarea clinică, cât și urmărirea bazată pe tehnologie pentru a evalua mersul, funcția și complianța pacientului. Monitorizarea clinică include verificarea compatibilității și funcției adecvate în timpul sesiunilor de kinetoterapie prin măsurarea parametrilor mersului (de exemplu lungimea și cadența pasului, simetria mersului) și amplitudinea mișcării (dacă pacientul poate realiza o flexie adecvată a șoldului și genunchiului), în timp ce monitorizarea bazată pe tehnologie poate utiliza senzori portabili (accelerometre, unități GPS și alți senzori pot fi atașați la HKAFO sau purtați de pacient pentru a colecta date din lumea reală) pentru a urmări utilizarea în comunitate și a o compara cu rezultatele clinice.

După montarea ortezei, prima evaluare ar trebui să aibă loc în decurs de 1-2 săptămâni pentru a verifica potrivirea și funcționalitatea. După evaluarea inițială, se pot programa controale la fiecare 2-4 săptămâni în primele 2-3 luni. În această perioadă se fac ajustări, dacă este necesar. După ce HKAFO-ul este stabilizat și funcționează bine, se recomandă evaluări anuale, sau mai devreme în cazul în care apar modificări în starea pacientului.

*Recomandări post-tratament:* folosirea ortezei HKAFO cu șosete lungi, verificarea zilnică a tegumentelor pentru a detecta precoce apariția eritemului, abraziunilor, purtare treptată, progresivă după un program stabilit de ortezist. Pacientul trebuie să se asigure că orteza este fixată corect, curelele să fie bine strânse, dar fără să apară durerea, și că încălțăminte permite purtarea ortezei. De asemenea, orteza trebuie curățată în mod regulat și pacientul trebuie să raporteze imediat terapeutului apariția oricărei senzații sau mișcări anormale.

**KAFO** (*Knee-Ankle-Foot Orthosis*, Figura 11) sau orteza genunchi- gleznă-picior este o orteză rigidă sau semi-rigidă care susține genunchiul, glezna și piciorul. Se folosește pentru a controla sau corecta probleme de mobilitate cauzate de slăbiciune musculară, paralizie, leziuni nervoase, deformări sau instabilitate la nivelul piciorului și genunchiului și oferă sprijin și stabilitate, ajutând pacientul să meargă cu ușurință și în siguranță.



**Figura 11.** Orteza KAFO (Knee-Ankle-Foot Orthosis)

*Indicații:* în situații când e nevoie de stabilitate extinsă pentru genunchi, gleznă și picior din cauza unei afecțiuni care afectează funcția normală a membrului inferior, precum pacienți cu instabilitate a genunchiului (slăbiciune severă sau pareza mușchilor stabilizatori ai genunchiului), instabilitatea gleznei (dificultăți în controlul poziției piciorului și gleznei în timpul mersului cu apariția piciorului “căzut”), pacienți cu poliomielită, paralizie cerebrală, scleroză multiplă, cu leziuni ale măduvei spinării, neuropatii periferice, accident vascular cerebral, deformări congenitale sau dobândite (genu valg, genu var asociate sau nu cu var-equin, eversia sau inversia gleznei) sau pentru prevenirea agravării deformărilor, recuperare post-traumatică sau post-operatorie (stabilizare articulației după fracturi, luxații sau intervenții chirurgicale la genunchi și gleznă), afecțiuni ortopedice degenerative (artroze severe cu instabilitate articulară).

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- deformări severe sau fixe ale articulațiilor,
- spasticitate mare care face dificilă purtarea ortezei,
- leziuni cutanate sau infecții în zona de contact cu orteza,
- deformări severe ireversibile,
- durere intensă ce nu poate fi ameliorată cu orteza,
- afecțiuni circulatorii severe,
- refuzul pacientului de a purta orteza, lipsa de cooperare.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea tegumentului și membrului inferior (pielea trebuie să fie curată, uscată, fără leziuni);
- îmbrăcarea cu o șosetă sau protecție specială (șosetă groasă sau protecție moale din bumbac);
- poziționarea membrului în orteză (se introduce întâi piciorul, glezna și apoi genunchiul);

- fixarea curelelor care trebuie realizată începând de jos în sus;
- verificarea poziției și confortului pacientului pentru a nu se produce leziuni;
- aplicarea instructajului pentru mers și folosire.

*Resurse:* Utilizarea unui exoschelet pasiv cum este KAFO se inițiază în mod obișnuit în spital cu scopul de a evalua și adapta inițial orteza, urmând ca apoi pacientul să o utilizeze în ambulatoriu unde se adresează pentru terapie și ajustări periodice și apoi la domiciliu unde o utilizează pentru suportul zilnic în mers și pentru prevenirea deformărilor.

Utilizarea unei KAFO poate fi temporară (săptămâni, luni) ca în cazul reabilitării post-traumatice sau post-operatorii (până când pacientul recâștigă forța și stabilitatea), însă alteori poate fi pe termen lung sau permanent (pentru afecțiuni cronice degenerative sau paralizii permanente). În unele situații, dacă forța musculară și stabilitatea se îmbunătățesc, se poate trece la dispozitive mai puțin restrictive (de exemplu AFO, *ankle-foot orthosis*).

Durata zilnică recomandată de purtare este de aproximativ o oră în prima zi cu creșterea perioadei la 2-3 ore în zilele 2-4, apoi la 5 ore în zilele 5-7, ca din ziua a 8-a să poată fi purtată întreaga zi, cu mențiunea că tegumentele trebuie verificate de prezența sau absența vreunei leziunii după fiecare ciclu de purtare.

*Efecte adverse, riscuri:*

- leziuni cutanate (iritații, ulceratii, escare) ce pot apare în cazul ortezelor ajustate greșit, a materialelor neadecvate sau a utilizării excesive,
- disconfort și durere la punctele de sprijin sau la nivelul articulațiilor învecinate dacă ortezele nu sunt aliniat bine,
- afectarea mobilității și a mersului putând duce la rigiditate excesivă, mers anormal compensator, slăbiciunea musculaturii în caz de utilizare excesivă,
- dezechilibre posturale ce pot apare în cazul ortezelor asimetrice sau greșit reglate,
- probleme psihosociale cu apariția stigmatizării și a disconfortului, mai ales în cazul copiilor sau scăderea aderenței la purtarea ortezei.

*Monitorizare:* implică atât evaluarea clinică, cât și urmărirea bazată pe tehnologie pentru a evalua mersul, funcția și complianța pacientului. Monitorizarea clinică include verificarea compatibilității și funcției adecvate în timpul sesiunilor de kinetoterapie prin măsurarea parametrilor mersului (de exemplu lungimea și cadența pasului, simetria mersului) și amplitudinea mișcării, în timp ce monitorizarea bazată pe tehnologie poate utiliza senzori portabili (accelerometre, unități GPS și alți senzori pot fi atașați la KAFO sau purtați de pacient pentru a colecta date din lumea reală) pentru a urmări utilizarea în comunitate și a o compara cu rezultatele clinice (analiza

mersului și indicele costului fiziologic care măsoară consumul de energie în timpul mersului pe jos, aplicarea chestionarelor validate pentru a-și raporta percepția asupra eficacității, satisfacției și obiectivelor de utilizare a ortezei KAFO în viața de zi cu zi și evaluări clinice prin examen fizic).

După montarea ortezei, prima evaluare ar trebui să aibă loc în decurs de 1-2 săptămâni pentru a verifica potrivirea și funcționalitatea. După evaluarea inițială, se pot programa controale la fiecare 2-4 săptămâni în primele 2-3 luni. În această perioadă se fac ajustări, dacă este necesar. După ce KAFO-ul este stabilizat și funcționează bine, se recomandă evaluări anuale, sau mai devreme în cazul în care apar modificări în starea pacientului.

*Recomandări post-tratament:* folosirea ortezei KAFO cu șosete lungi, verificarea zilnică a tegumentelor pentru a detecta precoce apariția eritemului, abraziunilor, purtare treptată, progresivă după un program stabilit de ortezist. Pacientul trebuie să se asigure că orteza este fixată corect, curelele să fie bine strânse, dar fără să apară durerea, și că încălțăminte permite purtarea ortezei. De asemenea, orteza trebuie curățată în mod regulat și pacientul trebuie să raporteze imediat terapeutului apariția oricărei senzații sau mișcări anormale.

**AFO** (*ankle foot orthosis*, Figura 12) sau orteza gleznă-picior este o orteză rigidă sau semi-rigidă care susține glezna și piciorul, pentru a asista mișcările și stabilitatea la acest nivel. AFO poate ajuta la îmbunătățirea posturii, la prevenirea deformării și la reducerea durerii prin controlul alinierii și asistarea la mers și stat în picioare.



**Figura 12.** Orteza AFO (ankle foot orthosis)

*Indicații:* în situații când e nevoie de stabilitate extinsă pentru gleznă și picior din cauza unei afecțiuni care afectează funcția normală a membrului inferior, precum pacienți cu instabilitate a gleznei (dificultăți în controlul poziției piciorului și gleznei în timpul mersului cu apariția piciorului “căzut”), pacienți cu poliomielită, paralizie cerebrală, scleroză multiplă, cu leziuni ale măduvei spinării, neuropatii periferice, accident vascular cerebral,

deformări congenitale sau dobândite (var-equin, eversia sau inversia gleznei) sau pentru prevenirea agravării deformărilor, recuperare post-traumatică sau post-operatorie (stabilizare articulației după fracturi, luxații sau intervenții chirurgicale la nivelul gleznei), afecțiuni ortopedice degenerative (artroze severe cu instabilitate articulară).

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- spasticitate mare care face dificilă purtarea ortezei,
- leziuni cutanate sau infecții în zona de contact cu orteza,
- deformări severe ireversibile,
- durere intensă ce nu poate fi ameliorată cu orteza,
- afecțiuni circulatorii severe,
- neuropatie severă,
- refuzul pacientului de a purta orteza, lipsa de cooperare.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea tegumentului și membrului inferior (pielea trebuie să fie curată, uscată, fără leziuni);
- îmbrăcare cu o șosetă sau protecție specială (șosetă groasă sau protecție moale din bumbac);
- poziționarea membrului în orteză (se introduce întâi piciorul și apoi glezna);
- fixarea curelelor care trebuie realizată începând de jos în sus;
- verificarea poziției și confortului pacientului pentru a nu se produce leziuni;
- aplicarea instructajului pentru mers și folosire.

*Resurse:* utilizarea unui exoschelet pasiv cum este AFO se inițiază în mod obișnuit în spital cu scopul de a evalua și adapta inițial orteza, urmând ca apoi pacientul să o utilizeze în ambulatoriu unde se adresează pentru terapie și ajustări periodice și apoi la domiciliu unde o utilizează pentru suportul zilnic în mers și pentru prevenirea deformărilor.

Utilizarea unei AFO poate fi temporară (săptămâni, luni) ca în cazul reabilitării post-traumatice sau post-operatorii (până când pacientul recâștigă forța și stabilitatea), însă alteori poate fi pe termen lung sau permanent (pentru afecțiuni cronice degenerative sau paralizii permanente).

Durata zilnică recomandată de purtare este de aproximativ o oră în prima zi cu creșterea perioadei la 2-3 ore în zilele 2-4, apoi la 5 ore în zilele 5-7, ca din ziua a 8-a să poată fi purtată întreaga zi, cu mențiunea că tegumentele trebuie verificate de prezența sau absența vreunei leziuni după fiecare ciclu de purtare.

*Efecte adverse, riscuri:*

- leziuni cutanate (iritații, ulcerații, escare) ce pot apărea în cazul ortezelor ajustate greșit, a materialelor neadecvate sau a utilizării excesive,

- disconfort și durere la punctele de sprijin sau la nivelul articulațiilor învecinate dacă ortezele nu sunt aliniate bine,
- afectarea mobilității și a mersului putând duce la rigiditate excesivă, mers anormal compensator, slăbiciunea musculaturii în caz de utilizare excesivă,
- dezechilibre posturale ce pot apărea în cazul ortezelor asimetrice sau greșit reglate,
- probleme psihosociale cu apariția stigmatizării și a disconfortului, mai ales în cazul copiilor sau scăderea aderenței la purtarea ortezei.

*Monitorizare:* implică atât evaluarea clinică (jurnale ale pacienților, chestionare și interviuri, observație clinică), cât și urmărirea bazată pe tehnologie pentru a evalua mersul, funcția și complianța pacientului (senzori de temperatură, accelerometre, senzori de presiune, contoare de pași). După montarea ortezei, prima evaluare ar trebui să aibă loc în decurs de 1-2 săptămâni pentru a verifica potrivirea și funcționalitatea. După evaluarea inițială, se pot programa controale la fiecare 2-4 săptămâni în primele 2-3 luni. În această perioadă se fac ajustări, dacă este necesar. După ce AFO-ul este stabilizat și funcționează bine, se recomandă evaluări anuale, sau mai devreme în cazul în care apar modificări în starea pacientului.

*Recomandări post-tratament:* folosirea ortezei AFO cu șosete lungi, verificarea zilnică a tegumentelor pentru a detecta precoce apariția eritemului, abraziunilor, purtare treptată, progresivă după un program stabilit de ortezist. Pacientul trebuie să se asigure că orteza este fixată corect, curelele să fie bine strânse, dar fără să apară durerea, și că încălțăminte permite purtarea ortezei. De asemenea, orteza trebuie curățată în mod regulat și pacientul trebuie să raporteze imediat terapeutului apariția oricărei senzații sau mișcări anormale.

### 3. Sisteme robotizate pentru mers

Dispozitivele robotizate pentru mers sunt echipamente avansate utilizate în reabilitare care ajută persoanele cu tulburări ale mersului să reînceapă să meargă sau să își îmbunătățească mobilitatea.

Acestea includ:

- **exoscheletele robotizate (active)** reprezintă dispozitive externe care au motoare electrice sau actuatori la nivelul articulațiilor (șold, genunchi, gleznă) și care oferă mișcare asistată sau complet condusă de robot. Exoscheletul robotizat activ este controlat printr-un sistem computerizat ce poate adapta mișcările în funcție de pacient, poate include senzori care detectează inițiativele de mișcare ale pacientului și susține mișcările pacientului.

- **sistemele cu bandă de alergare și orteze robotizate integrate** reprezintă o categorie de dispozitive robotizate pentru reeducarea mersului, folosite frecvent în reabilitare neurologică și ortopedică. Acestea sunt formate dintr-o bandă de mers sau de alergare (pe care pacientul merge în timp ce este asistat) și orteze robotizate pentru șold, genunchi, gleznă atașate la membrele inferioare care asistă mișcarea articulațiilor sau ghidează complet pasul dacă pacientul nu poate iniția pasul.
- **dispozitivele cu sprijin de greutate cu asistență la mers** (*Body Weight Support Treadmill Training – BWSTT* sau *Body Weight Support with Gait Training*) reprezintă sisteme terapeutice folosite în reabilitarea mersului, în care pacientul este parțial susținut de un sistem de suspensie, în timp ce practică mersul asistat, cu sau fără ajutor robotic. Sunt dispozitive fixe formate din: sistem de susținere a greutății corporale (un cadru plus ham și sistem de scripeți sau suspensie activă care permit descărcarea totală sau parțială a greutății corpului pacientului), bandă de mers (pacientul merge pe ea în timp ce este suspendat) și asistență la mers (care poate fi manual când terapeutul stă lângă pacient și îl ajută, robotizată în cazul în care sistemul este combinat cu un exoschelet sau orteze robotizate, parțial asistată când sistemul doar îl susține, iar mersul este al pacientului).
- **sistemele fixe** (în contextul reabilitării robotizate a mersului) sunt dispozitive robotizate staționare montate permanent într-o clinică sau sală de terapie, care nu pot fi mutate sau folosite în afara acelei locații. Ele sunt proiectate să ofere un cadru sigur, complet echipat pentru reeducarea mersului asistat- fie manual, fie robotizat.

Având în vedere că majoritatea sistemelor robotizate moderne pentru mers nu sunt compuse dintr-un singur element, ci reprezintă combinații integrate de exoschelete active, benzi de mers, orteze robotizate și sisteme de sprijin al greutății corporale, în continuare voi prezenta cele mai utilizate astfel de dispozitive complexe în practica reabilitării medicale.

**LOKOMAT** este un dispozitiv robotic conceput pentru a permite terapia intensivă de reabilitare a mersului și este produs de Hocoma, o companie elvețiană specializată în reabilitare robotică și inginerie medicală. Acesta oferă terapie funcțională, programabilă în funcție de nevoile individuale ale pacientului, și vine cu instrumente de evaluare și feedback pentru pacient. Este alcătuit dintr-un sistem de susținere a greutății corporale, folosit în combinație cu o bandă de alergare, care reproduce biomecanica membrelor inferioare în timpul mersului pe sol și, uneori, este asociat cu un sistem de realitate augmentată și poate fi clasificat ca un „robot exoscheletal”. În acest tip de robot, genunchii și șoldurile sunt acționate de motoare electrice liniare care ghidează orteza externă aplicată pe corp, în

timp ce un mecanism de ridicare a piciorului induce o flexie dorsală pasivă a gleznei în faza de balans. Acest lucru facilitează un mers bilateral simetric, deoarece individul încearcă activ să înainteze fiecare membru în timp ce merge pe bandă. Modelul de mers pre-programat corespunde cinematicii normale a mersului, incluzând sincronizarea ciclului de mers, coordonarea între membre și articulații, precum și încărcarea corespunzătoare a membrelor.

*Indicații:* reabilitarea pacienților cu deficiențe moderate-severe a mobilității funcționale și a abilităților de mers post-accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și respiratorii severe, instabile,
- deficite senzoriale severe,
- contracturi articulare care limitează amplitudinea mișcării ortezei,
- infecții active, osteomielită,
- osteoporoză severă, densitate mineral osoasă considerabil redusă,
- greutate și înălțime necorespunzătoare: mai puțin de 10 kg, mai mult de 135 kg sau o înălțime mai mare de 2 m ori 1,95 m, în funcție de versiune,
- fracturi neconsolidate,
- sarcină, afecțiuni ortopedice,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- plăgi sau escare de presiune,
- nepotrivirea corectă a hamului și a ortezelor: lungime a coapsei mai mică de 21 cm sau mai mare de 35 cm pentru orteza pediatrică, lungime a coapsei mai mică de 35 cm sau mai mare de 47 cm pentru orteza pentru adulți,
- dacă hamul și/sau ortezele nu pot fi ajustate corespunzător la corpul pacientului din cauza prezenței pungilor de colostomie, diferențelor de lungime a membrelor inferioare care nu pot fi corectate, a leziunilor cutanate care nu pot fi protejate adecvat sau a oricărui alt motiv care împiedică o ajustare corectă și nedureroasă a hamului și/sau a ortezelor,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- evaluarea pacientului: înainte de sesiune, terapeutul evaluează capacitățile funcționale și mobilitatea pacientului, identificând necesitățile individuale și se stabilesc parametrii inițiali pentru suportul greutății corporale, forța de ghidare și viteza benzii de alergare;
- pregătirea pacientului: pacientul este ajutat să se urce pe banda de alergare, se aplică hamul de susținere a greutății corporale și exoscheletul Lokomat, ajustând articulațiile genunchiului și șoldului pentru potrivire

- corectă și confort, se verifică starea pacientului, siguranța și poziția corpului;
- programarea sesiunii: se setează modelul de mers adaptat pacientului (amplitudinea pașilor, viteza, simetria), se configurează nivelul de asistență „as-needed”, astfel încât pacientul să contribuie activ la mișcare, dar să primească suport când este necesar, se pot activa exerciții de feedback augmentat pentru a stimula participarea și motivarea pacientului;
  - desfășurarea antrenamentului: pacientul începe să meargă pe banda de alergare, cu sprijinul exoscheletului și al hamului, terapeutul monitorizează postura, mișcarea și nivelul de efort al pacientului, parametrii pot fi ajustați în timp real pentru optimizarea terapiei;
  - evaluarea și documentarea progresului: la finalul sesiunii, Lokomat furnizează rapoarte
  - obiective și date de performanță, terapeutul folosește aceste date pentru a planifica următoarele sesiuni și a ajusta programul de reabilitare.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre specializate de reabilitare, care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere și expertiza necesare. Un protocol tipic de terapie Lokomat implică 3 ședințe pe săptămână, timp de 4 până la 8 săptămâni, fiecare ședință durând aproximativ o oră. Cu toate acestea, numărul exact de ședințe poate varia în funcție de nevoile individuale ale pacientului, de progresul său și de planul specific de recuperare.

*Efecte adverse, riscuri:* crampe și oboseală musculară, dureri articulare ușoare sau moderate, tendinopatii, dureri musculare cu debut întârziat, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apărea la nivelul zonei de fixare a dispozitivului, disconfort legat de ham (în zona inghinală, axilară sau a umerilor), creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală, frica de dispozitiv, senzația de a fi „prins” sau de greutate pe spate.

*Monitorizare:* printr-o combinație de observare în timp real și date ale sistemului, inclusiv feedback direct de la pacient privind oboseala și disconfortul și monitorizarea unor indicatori obiectivi de performanță (viteza, simetria mersului, forța musculară și amplitudinea mișcării). Terapeuții ajustează terapia în funcție de nevoile și progresul pacientului și pot încorpora, de asemenea, feedback extern prin realitate augmentată sau monitoare pentru a oferi indicii. Evaluările clinice pot include: testul de mers pe 10 metri (pentru a evalua viteza de mers), testul de mers de 6 minute (rezistența la mers), testul de Ambulație Funcțională (ambulația funcțională), consumul maxim de oxigen (aptitudinea cardiovasculară), testul „ Ridică-te și mergi” (mobilitatea funcțională), scala de echilibru Berg (echilibrul).

*Recomandări post-tratament:* continuarea kinetoterapiei convențională, cum ar fi antrenamentul de tonifiere și echilibru, continuarea activităților specifice la domiciliu recomandate de terapeut pentru a menține și a îmbunătăți progresele obținute, controale regulate la terapeut pentru a evalua progresul și a continua reabilitarea atâta timp cât obiectivele tratamentului sunt atinse.

Exoscheletul **ReoAmbulator** (Figura 13), dezvoltat de Motorika Ltd. și comercializat în Statele Unite ale Americii sub denumirea de „AutoAmbulator”, este un sistem robotic care susține greutatea corporală în timpul folosirii benzii de alergare. Brațele robotice sunt fixate pe membrele inferioare ale pacientului, la nivelul gleznei și a coapsei, conducând membrele inferioare printr-un model de pași controlat robotic.

*Indicații:* reabilitarea pacienților cu deficiențe moderate-severe a mobilității funcționale și a abilităților de mers post-accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, alte afecțiuni neurologice care provoacă tulburări de mers, afecțiuni ortopedice sau post traumatiche care afectează mersul, pacienți cu dizabilități din cauza deconștientării sau a unei boli prelungite.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și respiratorii severe, instabile, care fac imposibilă poziția verticală,
- infecții active, osteomielită,
- osteoporoză severă, densitate minerală osoasă considerabil redusă,
- fracturi neconsolidate,
- sarcină, afecțiuni ortopedice severe ale membrelor inferioare care împiedică suportul parțial sau complet al greutății,
- pacienți incapabili să participe activ la mers sau cu leziuni care nu permit poziționarea în sistemul asistat de mers,
- pacienți cu greutate sau înălțime în afara limitelor stabilite de dispozitiv.
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- abraziuni sau escare de presiune,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.



**Figura 13.** Exoscheletul ReoAmbulator

*Mod de aplicare, operare:*

- sistemul poate fi potrivit pentru mai multe tipuri de pacienți, inclusiv adulți și copii, cu diverse afecțiuni neurologice și ortopedice și aflați în diferite stadii de reabilitare;
- pacientul poate sta în picioare sau în șezut, se fixează în dispozitiv și se poate începe antrenamentul. Terapeuții instalează dispozitivul și îl supraveghează, în timp ce robotul ghidează mișcările membrelor inferioare;
- dispozitivul poate oferi niveluri ridicate de sprijin pentru cei aflați în stadiile incipiente ale reabilitării sau pentru pacienții cu afectare gravă;
- în cazul pacienților ce prezintă un control voluntar mai mare, sistemul își poate reduce asistența, ceea ce determină ca pacientul să implice mai mulți mușchi;
- sistemul încorporează camere și senzori ce urmăresc mișcarea și activarea musculară și oferă feedback vizual și audio, ajutând pacientul să învețe tehnica corectă;
- sistemul poate funcționa într-un mod pasiv, în care picioarele robotizate inițiază și ghidează mișcarea, sau într-un mod activ, în care pacientul contribuie la mișcare.

*Resurse:* spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale și centre de cercetare pentru terapii de reabilitare privind recuperarea funcțiilor motorii, care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere și expertiza necesare sesiunilor de antrenament. Un protocol tipic de terapie cu ReoAmbulator implică 20 de sesiuni pe parcursul a patru săptămâni, fiecare sesiune durând între 30 și 45 de minute, cinci zile pe săptămână. Unele studii au utilizat un protocol mai lung, cum ar fi 24 de sesiuni cu o durată de o oră

fiecare. Numărul total de sesiuni este adesea determinat de starea pacientului, sesiunile inițiale fiind folosite pentru familiarizarea cu echipamentul.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare și articulare ușoare sau moderate, tendinopatii, disconfort sau leziuni articulare, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apărea la nivelul zonei de fixare a dispozitivului, disconfort legat de brațele robotice (în zona coapsei sau a gleznelor), creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* folosind o combinație între supravegherea terapeutului, senzori, software interactiv. Senzorii robotului urmăresc și raportează date în timp real despre mers (viteza, puterea și rezistența musculară), care sunt vizualizate pe un afișaj interactiv cu elemente de realitate virtuală pentru a spori implicarea pacientului și a oferi feedback. Terapeutul poate controla direct dispozitivul, poate ajusta rapid sesiunea de terapie în funcție de nevoile și progresul pacientului.

*Recomandări post-tratament:* integrarea pacientului într-un plan convențional de reabilitare care include kinetoterapie continuă, utilizarea datelor colectate de la robot pentru a ghida intervențiile viitoare și încorporarea de noi tehnologii de asistență, cum ar fi realitatea virtuală sau dispozitivele de acasă, pentru a menține progresul și a preveni regresia. În general, antrenamentul robotic trebuie folosit suplimentar la metodele tradiționale, mai degrabă decât ca o soluție independentă, cu scopul de a optimiza procesul de recuperare pentru fiecare pacient în parte.

**Walkbot** este un exoschelet avansat, dezvoltat de compania sud-coreeană P&S Mechatronics, conceput special pentru reabilitarea mersului, ce are un cadru fix și care este disponibil în trei modele distincte, pentru a răspunde diferitelor nevoi de tratament: Walkbot S (modelul standard, Figura 32), Walkbot K (modelul pediatric) și Walkbot G (modelul de nouă generație). Dintre cele trei modele, două sunt concepute special pentru utilizare pediatrică, fie prin designul lor dedicat, fie prin integrarea unor module suplimentare.

Walkbot se distinge de alte exoschelete de reabilitare cu cadru fix datorită designului său motorizat pe articulațiile șold-genunchi-glezna, care îi îmbunătățește funcționalitatea și este proiectat pentru a coordona cu precizie mișcările șoldului, genunchiului și gleznei prin tehnici avansate de antrenament al mersului natural. În plus, integrarea realității virtuale în dispozitiv, oferă o platformă interactivă și captivantă pentru antrenamente, cu rezultate superioare ale reabilitării. Sistemul include suport parțial al greutateii corporale, o bandă motorizată de mers și un exoschelet controlat prin actuator.



**Figura 14.** Exoscheletul Walkbot S

**Walkbot S** (Figura 14), unul dintre primele sisteme de reabilitare a mersului pentru adulți echipat cu tehnologie de antrenament a mersului pe trei articulații (șold, genunchi și gleznă) împreună cu un sistem automat de ajustare a lungimii picioarelor și funcții de antrenament personalizate pentru mers.

**Walkbot K** (Figura 15) este un sistem robotizat de reabilitare a mersului exclusiv pentru copii, echipat cu un algoritm de mers adaptat pacienților pediatrici. Lungimea robotică a picioarelor poate fi ajustată automat cu precizie de 1 mm, pentru a corespunde lungimii picioarelor utilizatorului, permițând aliniamente corecte ale articulațiilor în creștere și adaptarea la schimbările din tiparele de antrenament ale mersului și este potrivit pentru copii cu vârste aproximative între 3-4 ani și adolescenți, cu o înălțime între 86 cm și 148 cm.



**Figura 15.** Exoscheletul Walkbot K

**Walkbot G** (Global, Figura 16) este un sistem modular de reabilitare a mersului, care permite inter-schimbarea modulelor robotice pentru adulți și copii în cadrul aceluiași sistema, modulul robotic putând fi schimbat în aproximativ 5–10 minute, facilitând astfel utilizarea eficientă în context clinic. În plus, sistemul dispune de tracțiune asistată de o contragreutate dinamică, concepută pentru a sprijini utilizatorii în poziția verticală și pentru a reduce mișcările verticale excesive asociate cu tipare patologice de mers, cum ar fi ridicarea exagerată a șoldului.



**Figura 16.** Exoscheletul Walkbot G (Global)

*Indicații:* reabilitarea pacienților cu tulburări de mers date de accident vascular cerebral, post-leziuni medulare, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, la pacienții cu boala Parkinson și scleroză multiplă, alte afecțiuni neurologice care provoacă tulburări de mers, afecțiuni ortopedice sau post-traumatice care afectează mersul, pacienți cu dizabilități din cauza deconșionării sau a unei boli prelungite.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și respiratorii severe, instabile,
- ventilație mecanică,
- contracturi articulare severe, fixe,
- coloană vertebrală cu instabilitate,
- infecții active, osteomielită,
- osteoporoză severă, densitate minerală osoasă considerabil redusă,
- fracturi neconsolidate,
- comportament necooperant sau agresiv, inclusiv sindrom psihotic temporar,
- abraziuni sau escare de presiune la nivelul piciorului și/sau trunchiului,
- pacienți cu dezvoltare dezechilibrată a picioarelor și/sau coloanei (ex. displazie osoasă sau cartilaginoasă),
- afecțiuni vasculare severe la nivelul membrelor inferioare,
- pacienți cu greutate sau înălțime în afara limitelor stabilite de dispozitiv (greutate peste 135 kg, înălțime peste 200 cm),
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- abraziuni sau escare de presiune,
- artrită la nivelul șoldului, genunchiului sau gleznei,
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei.

*Mod de aplicare, operare:*

- înainte de sesiune, caracteristicile fizice ale pacientului sunt înregistrate pentru a personaliza lungimea picioarelor robotului și se recomandă ca pacientul să poarte îmbrăcăminte adecvată, cum ar fi șosete și pantaloni lungi, și încălțăminte confortabilă. Se recomandă ca pacienții să evite mâncatul cu puțin timp înainte de sesiune pentru nu experimenta senzația de greutate;
- pacientului i se atașează un ham de siguranță cu un sistem de susținere a greutății corporale în timpul mersului;
- ședința are loc pe o bandă de alergare, exoscheletul robotului mișcând picioarele pacientului într-un model de mers sincronizat și ghidează articulațiile șoldului, genunchiului și gleznei pentru a asigura mișcări consecvente și repetabile;
- terapeuții pot personaliza antrenamentul prin ajustarea vitezei, a modelelor de pași și a nivelurilor de susținere a greutății corporale pentru a se potrivi nevoilor individuale ale fiecărui pacient.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de centre specializate de reabilitare, spitale și unități clinice sau de cercetare dotate cu sisteme de antrenament robotic al mersului și care dispun de aparatura necesară și de personal calificat, întreținere și expertiza necesare sedințelor de antrenament. Un protocol tipic de terapie Walkbot variază în funcție de starea pacientului, studiile indicând o gamă de 12 până la 20 de sesiuni sau chiar mai mult. Frecvența obișnuită este de 3 până la 5 sesiuni pe săptămână, fiecare sesiune durând între 30 și 60 de minute.

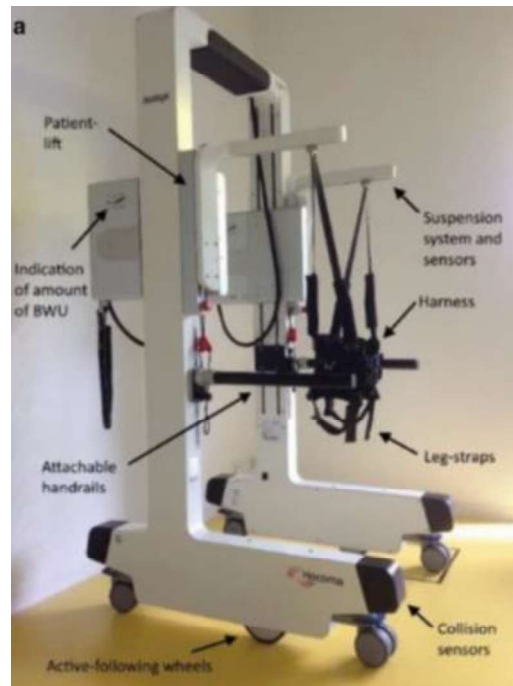
*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare și articulare ușoare sau moderate, tendinopatii, disconfort nivelul hamului sau ortezei dacă nu sunt adaptate corect, leziuni articulare, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la nivelul zonei de fixare a dispozitivului, instabilitate sau risc de alunecare dacă pacientul nu este bine poziționat sau dacă echipamentul nu este setat corespunzător, apariția spasticității dacă mersul asistat este forțat fără adaptare treptată, creștere temporară a tensiunii arteriale, hipotensiune ortostatică, oboseală.

*Monitorizare:* folosind o combinație între evaluări fizice efectuate de un terapeut (testul 10-mers 10 minute, testul TUG, *Timed Up and Go*, scala de echilibru a lui Berg, efectuate la începutul, în timpul și la finalul terapiei), date în timp real (date referitoare la numărul de pași, distanța parcursă, durata efectivă, viteza și asistența robotică) și indicii vizuale pe un monitor (când sistemul detectează că pacientul atinge sau depășește forța musculară stabilite ca țintă, acesta poate crește viteza și afișa un indiciu vizual pozitiv pe monitor pentru a motiva

*Recomandări post-tratament:* continuarea unui program de exerciții la domiciliu, gestionarea durerii și adresarea către evaluări ulterioare. Se recomandă creșterea treptată a mersului zilnic, gestionarea durerii cu odihnă și medicație și menținerea inciziilor curate și uscate dacă a fost implicată o intervenție chirurgicală. Pacienții trebuie să evite exercițiile fizice intense timp de câteva săptămâni și să continue terapia fizică sub îndrumarea unui profesionist.

**ANDAGO** (Figura 17) reprezintă un sistem robotic pentru antrenamentul mersului și echilibrului, cu susținere dinamică a greutății corporale și sistem de urmărire a mișcării pacientului. Este format dintr-un cadru mobil pe roți, prevăzut cu un sistem integrat de susținere a greutății corporale și detectează mișcările trunchiului pacientului prin intermediul senzorilor integrați în sistemele de prindere, urmărind astfel automat pacientul, ceea ce permite antrenamentul mersului fără a fi limitat la o singură sală de terapie. Andago este compus din: două module de susținere a greutății corporale, două sisteme de ridicare (lifturi) și un modul de platformă mobilă.

*Indicații:* rehabilitarea pacienților cu deficiențe de mers și echilibru date de accident vascular cerebral, după leziuni medulare traumatice, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, alte afecțiuni neurologice care provoacă tulburări de mers, afecțiuni ortopedice sau post traumatice care afectează mersul, pacienți cu dizabilități din cauza deconștientării sau a unei boli prelungite.



**Figura 17.** Sistemul robotic ANDAGO

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și respiratorii severe, instabile,
- contracturi articulare severe, fixe,
- infecții active, osteomielită,
- osteoporoză severă, densitate minerală osoasă considerabil redusă,
- fracturi neconsolidate,
- leziuni cutanate care nu pot fi protejate corespunzător din zonele de contact cu sistemul de susținere al hamului sau la nivelul zonelor de sprijin ale membrelor inferioare (picioare),
- pacienți cu greutate sau înălțime în afara limitelor stabilite de dispozitiv (cântărește mai puțin de 10 kg sau mai mult de 135 kg, sau are o înălțime mai mică de 1,35 m sau mai mare de 2 m),
- sarcina,

- comportament necooperant sau agresiv, inclusiv sindrom psihotic temporar,
- prezenței unei punji de colostomie,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- tulburări neuropsihologice,
- istoric recent sau risc crescut de convulsii (crize epileptice),
- artrită la nivelul șoldului, genunchiului sau gleznei,
- orice alt motiv care împiedică o ajustare corectă și nedureroasă a hamului.
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei,
- antecedente de disreflexie autonomă (la nivel T6 sau superior, un istoric de disreflexie autonomă crește riscul de recurență).

*Mod de aplicare, operare:*

- mod de urmărire a pacientului (*Patient-Following Mode*): Andago detectează mișcările pacientului, iar platforma mobilă se deplasează în mod automat în concordanță cu acestea, urmărind mișcările pacientului în mod transparent, atât înainte și înapoi, cât și în viraje la dreapta și la stânga;
- mod de deplasare în linie dreaptă (*Straight-Line Mode*): Andago urmărește pacientul doar pe direcția înainte și înapoi, ignorând orice comandă de virare (folosit pentru antrenamentele care necesită mers rectiliniu controlat);
- mod manual (*Manual Mode*): terapeutul controlează deplasarea dispozitivului Andago prin intermediul joystick-ului amplasat în partea superioară a dispozitivului portabil de comandă;
- se evaluează pacientul (mersul actual, echilibrul, contraindicații, dimensiuni și greutate);
- se alege nivelul de suport al greutateii corporale în funcție de capacitatea pacientului și se alege modul de antrenament;
- se instruieste pacientul privind utilizarea hamurilor, alinierea corectă în dispozitiv și regulile de siguranță;
- inițierea mersului sub supraveghere: mers liber, viraje, opriri, evitarea obstacolelor, schimbare de direcție (terapeutul monitorizează și poate lua control manual când e necesar);
- creșterea progresivă a provocării prin reducerea suportului greutateii corporale, creșterea distanței, complexitatea traseului, integrarea în activități din viața zilnică;
- monitorizarea continuă a parametrilor de mers (viteza, pași, distanță, frecvența pauzelor), a siguranței, oboselii, fricii de cădere;
- documentare: permite calcularea progresului în timp și exportul de date.

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale de reabilitare, clinici de reabilitare ambulatorie și alte unități medicale unde se

efectuează kinetoterapie și terapie fizică. Dispozitivul trebuie utilizat în spații adecvate pentru terapie fizică, cu suprafețe plane de mers, ce au proprietăți antiderapante corespunzătoare. Protocoalele de aplicare a terapiei variază, dar studiile au folosit o medie de 7 ședințe, fiecare cu o durată de 30 de minute. Unii pacienți au beneficiat de doar 4 ședințe, în timp ce alții au avut până la 10, în funcție de șederea lor și de obiectivele de reabilitare. Astfel, sesiunile de reabilitare cu Andago sunt planificate la 20–30 minute de mers asistat, de 3-7 zile pe săptămână, pe o durată de 4–10 săptămâni, cu creștere progresivă a duratei în funcție de răspunsul pacientului.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare și articulare ușoare sau moderate, risc ridicat de cădere ce poate fi scăzut cu ajutorul sistemului de susținere, dar trebuie monitorizat constant mai ales la pacienții cu sensibilitate tactilă redusă sau deteriorări cognitive/ vestibulare, tendinopatii, disconfort nivelul hamului sau ortezei dacă nu sunt adaptate corect, leziuni articulare, leziuni tegumentare cum ar fi abraziuni, leziuni sau iritații, echimoze ce pot apare la nivelul zonei de fixare a dispozitivului, oboseală, risc de „coliziuni” cu cadrul ușilor sau dificultăți de manevrare în spații înguste.

*Monitorizare:*

- date de la senzori: robotul Andago folosește senzori pentru a urmări mersul pacientului, inclusiv forțele pe care le exercită și poziția sa în ham. Poate detecta și înregistra potențiale căderi, oferind date despre echilibru și stabilitate;
- urmărire de către terapeut: acesta poate controla robotul prin intermediul unui dispozitiv portabil pentru a ajusta nivelul de susținere a greutății corporale în timp ce robotul urmărește pacientul în „modul de urmărire a pacientului” sau poate fi controlat manual de către terapeut;
- feedback pe ecran: sistemul robotului include un afișaj pe computer care afișează rezultatele cheie ale antrenamentului în timp real, putând fi folosit pentru a oferi feedback motivațional pacientului;
- exportul datelor: terapeuții pot exporta datele colectate din sistem prin USB pentru a documenta progresul antrenamentului în timp;
- evaluări clinice: terapeuții vor utiliza evaluări clinice tradiționale, pentru a evalua modificările controlului motor, forței și amplitudinii mișcării.

*Recomandări post-tratament:* continuarea programului de kinetoterapie și activități de recuperare pentru a transfera abilitățile în viața de zi cu zi, conform planului de îngrijire pentru a reduce treptat asistența robotică, astfel încât mersul să devină independent. Aceasta poate include o combinație de antrenament continuu la suprafață, exerciții la domiciliu și reevaluări regulate medicale pentru ajustarea terapiei.

Un dispozitiv robotic de reabilitare timpurie a pacienților imobilizați la pat, a celor neurologici este **ERIGO**, conceput pentru mobilizarea sigură a

acestor, inclusiv în faza acută a îngrijirii. Combină verticalizarea treptată cu mișcări ciclice ale picioarelor și încărcarea membrelor inferioare, pentru a asigura stabilizarea pacientului în poziție verticală. Scopul dispozitivului Erigo este de a oferi o mobilizare precoce și sigură și de a accelera procesul de recuperare prin stimularea intensivă senzitivo-motorie. Este disponibil în două versiuni: varianta standard (ErigoBasic) și varianta avansată (ErigoPro), în care stimularea pacientului poate fi îmbunătățită prin stimulare electrică funcțională sincronizată (FES, *Functional Electrical Stimulation*).

Dispozitivul Erigo este produs de Hocoma și a fost dezvoltat în colaborare cu Centrul de leziuni medulare din cadrul Spitalului Universitar Balgrist din Zürich, Elveția, și cu Spitalul Universitar Ortopedic din Heidelberg, Germania.

*Indicații:* reabilitarea pacienților cu deficiențe de mers date de afecțiuni neurologice (accident vascular cerebral, după leziuni medulare traumatiche, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, scleroză multiplă și paralizie cerebrală), afecțiuni musculo-scheletice (slăbiciune musculară, spasticitate sau rigiditate articulară rezultate în urma unui traumatism sau a unei boli), postoperator (intervenții chirurgicale, cum ar fi o intervenție chirurgicală pentru tumori cerebrale, care necesită mobilizare și verticalizare precoce), afecțiuni cardiovasculare (pacienți cu boli cardiovasculare care au nevoie de îmbunătățirea stabilității sistemului cardiovascular și a toleranței la o poziție verticală), stare de decondiționare generală (datorită repausului prelungit la pat sau pierderea conștienței).

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- boli cardiovasculare și respiratorii severe, instabile,
- contracturi articulare fixe, severe care afectează membrele inferioare (articulațiile șoldului, genunchiului sau gleznei),
- lungimea membrului inferior (măsurată de la talon până la marele trohanter) mai mică de 69 cm sau mai mare de 104 cm,
- creștere extrem de disproporționată a membrelor inferioare și/sau a coloanei vertebrale (de exemplu, în caz de displazii osoase sau cartilajinoase),
- pacienți imobilizați la pat prin indicație medicală (de exemplu, osteomielită sau alte afecțiuni inflamatorii sau infecțioase),
- instabilitate osoasă (fracturi neconsolidate, instabilitate la nivelul coloanei vertebrale, osteoporoză severă, pseudoartroză),
- leziuni cutanate care nu pot fi protejate corespunzător din zonele de contact cu sistemul de susținere al hamului sau la nivelul zonelor de sprijin ale membrelor inferioare,
- pacienți cu greutate mai mare de 135 kg,

- comportament necooperant sau agresiv, inclusiv sindrom psihotic temporar,
- afecțiuni vasculare ale membrilor inferioare,
- deficiențe cognitive moderat-severe, afazie severă,
- orice alt motiv care împiedică o ajustare corectă și nedureroasă a hamului.
- afecțiuni psihiatrice ce contraindică utilizarea terapiei,
- antecedente de disreflexie autonomă (la nivel T6 sau superior, un istoric de disreflexie autonomă crește riscul de recurență).

Contraindicații suplimentare pentru utilizarea Erigo FES (cu stimulare electrică funcțională):

- Stimulator cardiac sau alte dispozitive electrice active implantate,
- pompe de administrare a medicamentelor implantate,
- sarcina (posibile reacții adverse necunoscute).

*Mod de aplicare, operare:*

- evaluarea pacientului înainte de sesiune: clinicianul evaluează starea generală a pacientului urmărind semnele vitale, tonusul muscular, nivelul de spasticitate, integritatea pielii, starea cardiovasculară și eventualele contraindicații și se stabilesc obiectivele sesiunii (cum ar fi, creșterea toleranței la ortostatism, reducerea spasticității, îmbunătățirea circulației periferice, stimulare senzorială și motorie);
- pregătirea pacientului: transferul pacientului cu grijă pe masa Erigo, în poziție culcat, aplicarea hamurilor de siguranță, a suporturilor pentru picioare și fixările pentru trunchi, atașarea electrozilor FES (pentru ErigoPro) pe mușchii membrilor inferioare (de regulă pe cvadriceps, biceps femural, gastrocnemian și tibial anterior);
- setarea parametrilor de antrenament, terapeutul fixând unghiul de verticalizare (începând de la 0° până la maximum 90°, în funcție de toleranța pacientului), frecvența mișcărilor pasive ale picioarelor (numărul de „pași” pe minut), gradul de încărcare a membrilor inferioare (procent din greutatea corporală suportată), intensitatea stimulării FES, dacă este folosită cu monitorizarea permanentă a tensiunii arteriale, a pulsului și a nivelului de confort al pacientului;
- desfășurarea ședinței de tratament: verticalizarea progresivă, treptat, pentru a evita hipotensiunea ortostatică, menținerea pacientului într-o poziție verticală controlată, în timp ce picioarele execută mișcări ciclice ritmice asistate robotic, asigurându-se încărcarea fiziologică platară și stimularea senzorială aferentă, iar în cazul utilizării FES, stimularea electrică este sincronizată cu mișcările pasului pentru a spori activarea musculară. Terapeutul ajustează continuu parametrii în funcție de reacțiile pacientului;

- încheierea sesiunii: reducerea treptată a verticalizării până la poziția orizontală, îndepărtarea cu grijă a hamurilor și a suporturilor urmată de o reevaluare post-sesiune (toleranța la efort, reacțiile fiziologice, eventualele dureri, vertij sau disconfort).

*Resurse:* spatiul alocat este obișnuit reprezentat de spitale de reabilitare, clinici de reabilitare ambulatorie și alte unități medicale unde se efectuează kinetoterapie și terapie fizică. Protocoalele de aplicare a terapiei variază, fiind necesar un minim de 15 ședințe, multe studii folosind protocoale de 20 de ședințe (de cinci ori pe săptămână timp de patru săptămâni) sau chiar până la 40 de ședințe (de cinci ori pe săptămână timp de opt săptămâni). Numărul specific de ședințe depinde de starea pacientului, de obiectivele tratamentului și de planul de reabilitare și este determinat de medicul care urmărește cazul. De obicei, o sesiune durează 20–45 de minute, în funcție de starea și tolerabilitatea pacientului.

Nivelul de asistență robotică (GF, *Guidance Force*) reprezintă cât de mult robotul asistă pacientul în mișcarea picioarelor. Poate fi reglat între 0% și 100%. În cazul GF 100%, robotul preia complet mișcarea membrelor picioarelor, pacientul nu depune efort (mod de operare pasiv), în timp ce în cazul GF 0%, pacientul trebuie să execute întreaga mișcare singur, fără asistență robotică (mod de operare activ). Erigo permite ajustarea gradului de asistare, de la complet pasiv la practic independent, în funcție de capacitatea și progresul pacientului.

*Efecte adverse, riscuri:* dureri musculare și articulare ușoare sau moderate, hipotensiune ortostatică sau presincopă ce poate apare la verticalizare, creșterea tonusului muscular sau spasticitate accentuată, durere sau disconfort la nivelul membrelor inferioare, articulațiilor sau coloanei vertebrale, în special dacă fixarea nu este optimă sau pacientul are leziuni asociate, leziuni cutanate la nivelul hamurilor dacă sunt aplicate forțe de încărcare sau fixare intensă, disconfort, durere musculară, modificări de sensibilitate, posibilă iritație a pielii în cazul stimulării electrice, oboseală musculară sau suprasolicitare dacă parametrii (frecvență, durată) nu sunt ajustați corespunzător.

*Monitorizare:* combinație între datele în timp real culese de la senzorii dispozitivului și prin observarea răspunsurilor fiziologice ale pacientului în timpul tratamentului

- date de la senzori: robotul Erigo folosește senzori pentru a măsura și afișa ritmul cardiac al pacientului și, prin intermediul senzorilor de presiune de pe picioare, poate indica mișcarea activă și încărcarea cu greutate, monitorizarea parametrilor Erigo: gradul de înclinare (de obicei de la 0° până la 70°), viteza ciclurilor de mers, forța aplicată pe membrele inferioare, intensitatea stimulării electrice (dacă se folosește FES), durata totală a sesiunii (15–45 min inițial, crescând treptat);

- observație clinică: terapeuții vor observa starea generală a pacientului, urmărind semnele de intoleranță ortostatică (scăderea tensiunii arteriale, vertij) și pregătindu-se să ajusteze ședința după cum este necesar (viteza, înclinația sau rezistența);
- monitorizare externă: sistemele standard de monitorizare a pacienților, cum ar fi cele pentru tensiunea arterială și saturația oxigenului, pot fi atașate în siguranță la șinele standard ale dispozitivului pentru observare constantă;
- după ședința de tratament: reevaluarea tensiunii arteriale, frecvenței cardiace, notarea reacțiilor adverse sau a îmbunătățirilor (de ex. toleranță crescută la ortostatism), evaluarea tonusului muscular și a mobilității după verticalizare, ajustarea programului pentru următoarea ședință.

*Recomandări post-tratament:* continuarea reducerii ghidării picioarelor de către dispozitiv pentru a promova participarea activă, efectuarea de exerciții ulterioare precum întinderea și întărirea picioarelor, încorporarea antrenamentului pentru membrele superioare și echilibru și monitorizarea semnelor de oboseală sau intoleranță. Recomandările specifice depind de funcția motorie rămasă a pacientului și de obiectivele sesiunii, care pot fi ajustate pe măsură ce pacientul progresează.

#### **4.4 Tehnologii de stimulare electrică/neuromodulare:**

- a) Stimularea electrică transcutanată a nervilor (TENS, *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*) reprezintă un tip de formă de electroterapie neinvazivă care folosește curenți electrici de joasă intensitate; stimulează terminațiile nervoase senzitive, pentru a „bloca” sau reduce percepția durerii și determină ameliorarea durerii.

*Indicații:*

- controlul durerii în afecțiuni musculo-scheletale și neurologice, inclusiv în dureri articulare secundare afecțiunilor reumatismale degenerative,
- controlul durerii în afecțiuni musculo-scheletale inflamatorii în afara puseului,
- în reumatismele abarticulare,
- tendinopatii și dureri miofasciale,
- dureri post-traumatice și postoperatorii,
- neuropatii periferice,
- nevralgii post-herpetice,
- nevralgie de trigemen,
- nevralgie Arnold,
- neoplazii.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- aplicarea TENS la nivelul ochilor,

- aplicarea pe zone cu tegumente cu plăgi deschise, echimoze sau alte leziuni,
- la pacienți cu epilepsie,
- sarcina,
- pacienți cu dispozitive electrice implantate, inclusiv stimuloare cardiace, defibrilatoare cardiovertere implantabile,
- pacienți cu stimuloare ale măduvei spinării,
- aplicarea TENS direct peste zone cu tumori maligne.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătire: curățarea tegumentului și verificarea integrității acestuia, alegerea electrozilor corespunzători și a locului de aplicare și poziționarea electrozilor în funcție de zona dureroasă și traiectul nervos aferent,
- aplicare: începerea procedurii cu intensitate mică și creșterea treptată până la senzația confortabilă, monitorizarea pacientului pe durata tratamentului și ajustarea programului TENS conform toleranței clinice.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de laborator de recuperare în regim de internare de zi sau continuă, cu aplicarea în sala de fizioterapie sau la pat,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - dispozitiv TENS aprobat clinic,
  - electrozi de calitate și gel conductor adecvat,
- personal calificat:
  - medic de medicină fizică și reabilitare,
  - asistent medical sau fizioterapeut calificat.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, unele studii arată că această terapie implică sesiuni de 20-60 de minute, adesea de mai multe ori pe zi sau periodic, în funcție de durere (acută versus cronică) și de răspunsul individual. Un ciclu tipic poate fi de 7-10 zile de utilizare, urmat de o pauză, iar eficacitatea variază.

*Efecte adverse, riscuri:* rare și ușoare, reprezentate de iritații sau eritem cutanat sub electrozii aplicați, prurit local și rar poate apare senzația de amețeală sau leșin.

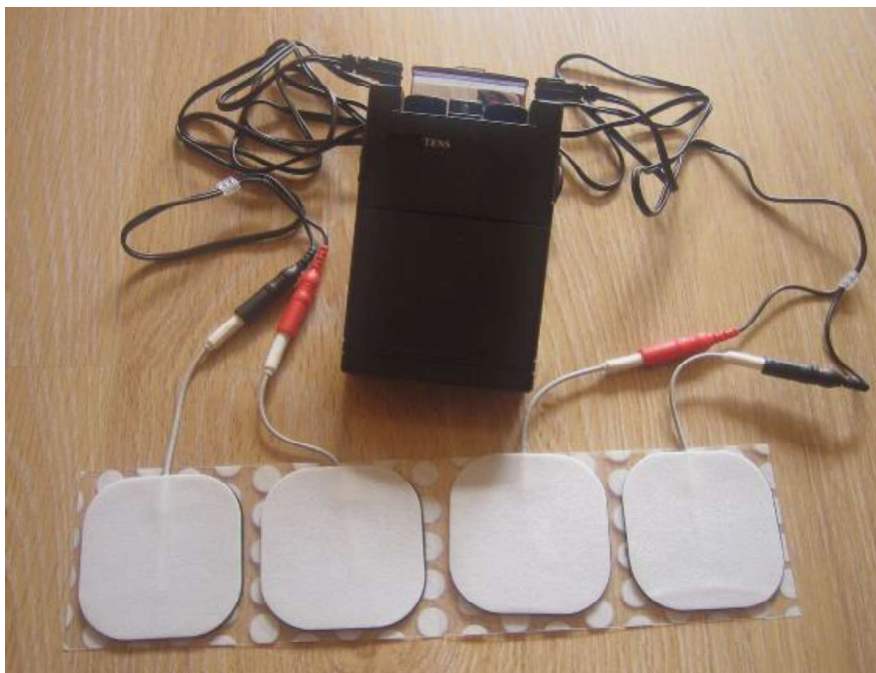
*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - evaluarea durerii (VAS),
  - observarea toleranței pacientului,
  - verificarea integrității pielii și a reacțiilor cutanate,
- după tratament:
  - reevaluarea durerii și funcționalității,

- notarea eventualelor efecte adverse, ajustarea planului de tratament în funcție de evoluție.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor terapeutice complementare, educația privind ergonomia și managementul durerii, reevaluare clinică la 1–2 săptămâni după finalizarea curei de tratament și eventual reluarea tratamentelor dacă durerea re apare.

- b) Stimularea electrică nervoasă percutanată (PENS, *Percutaneous Electrical Nerve Stimulation*, Figura 18) reprezintă o tehnologie minim invazivă de electroterapie care constă în inserția unor ace electrod prin tegument, în proximitatea nervilor sau a țesuturilor subcutanate, pentru a furniza impulsuri electrice cu scopul de a modula durerea și în modularea răspunsului nervos (prin stimularea fibrelor senzitivo- motorii) și reducerea sensibilizării centrale și creșterea pragului durerii. Pentru precizie, aceasta se realizează, de obicei, sub ghidaj imagistic.



**Figura 18.** PENS (Percutaneous Electrical Nerve Stimulation) - stimularea electrică nervoasă percutanată

*Indicații:*

- managementul durerii acute sau cronice de cauză musculo-scheletală;
- în durerea neuropatică de cauză periferică;
- durerea acută sau cronică refractară la tratamentele convenționale;
- durerea de cauză post-traumatică;

- durerea post-chirurgicală.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu pacemaker cardiac sau defibrilator implantat sau un alt dispozitiv electronic datorită posibilelor interferențe ce pot apare,
- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate, infecții active în zona de tratament,
- coagulopatii severe,
- alergii cunoscute la materiale folosite pentru ace sau electrozi,
- pacienți instabili hemodinamic,
- în absența supravegherii medicale specializate,
- necesită evaluare atentă a coagulării și a riscului de sângerare,
- necesită evitarea zonelor cu anomalii anatomice,
- necesită monitorizarea semnelor vitale în timpul procedurii,
- necesită ghidaj ecografic pentru precizia amplasării electrodului.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea pacientului: explicarea procedurii și obținerea consimțământului informat; evaluarea zonei dureroase și identificarea nervilor țintă; dezinfectarea câmpului operator și pregătirea acelor-electrod;
- aplicarea: inserarea subcutanată a acelor-electrod în proximitatea nervului afectat, de obicei sub ghidaj ecografic urmată de conectarea la generatorul de stimulare și apoi de ajustarea parametrilor de curent în funcție de toleranța pacientului.

*Resurse:*

- spatiul alocat este obișnuit reprezentat de ambulator medical sau clinică de recuperare, secții de fizioterapie ambulatorie,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - dispozitiv de stimulație electrică percutanată compatibil,
  - ace-electrod sterile,
  - echipament de ghidaj imagistic (ecograf),
- personal calificat:
  - medic specialist în medicină fizică și de reabilitare, neurologie,
  - asistent medical instruit în desfășurarea procedurii,
  - fizioterapeut.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare și variază de obicei între 8 și 12 ședințe, obișnuit de 1-2 ori pe săptămână timp de 30 de minute, dar numărul exact variază în funcție de afecțiune și de răspunsul individual, unii pacienți raportând o ameliorare în 4-6 sesiuni, în timp ce alții necesită mai multe ședințe. Durata unei sesiuni este în general între 25–60 de minute sub supraveghere medicală.

*Efecte adverse, riscuri:* minore și tranzitorii cum ar fi disconfort local în timpul inserției, hematom sau mici sângerări la locul puncției, durere ușoară post-procedurală, sau foarte rar poate apare infecția locală.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - observarea semnelor vitale,
  - raportarea durerii (VAS),
  - monitorizarea răspunsului la stimulare,
- după tratament:
  - reevaluarea durerii (VAS),
  - evaluarea funcțională,
  - documentarea efectelor adverse.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor fizice prescrise, monitorizarea evoluției durerii și a funcționalității, reevaluare medicală după 1–3 săptămâni și ajustarea protocoalelor dacă durerea persistă sau recidivează.

c) Stimularea electrică neuromusculară (NMES, *Neuromuscular Electrical Stimulation*) reprezintă un tip de electroterapie care aplică curenți electrici pulsați prin electrozi pe tegument, cu scopul producerii contracțiilor musculare pentru a îmbunătăți forța, funcția și tonusul muscular și pentru a activa fibra musculară atunci când contracția voluntară este diminuată sau absentă. Efectele includ creșterea forței musculare, menținerea masei musculare în perioadele de imobilizare și terapie suport în recuperarea funcțională.

*Indicații:*

- slăbiciune și atrofie musculară datorată imobilizării sau bolilor cronice,
- recuperare post-operatorie pentru creșterea forței musculare,
- leziuni neurologice cu afectarea funcției motorii (traumatisme vertebro-medulare, accident vascular cerebral) combinate cu kinetoterapie pentru îmbunătățirea funcției motorii,
- pacienți critici pentru menținerea masei și forței musculare,
- pacienți care nu pot efectua exerciții active intense, dar pot tolera contracții induse electric.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu pacemaker cardiac sau defibrilator implantat sau un alt dispozitiv electronic,
- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate, infecții active în zona de tratament,
- plăgi recente,
- tromboză activă,
- alergii severe ale tegumentului,

- sensibilitate redusă sau alterată deoarece există un risc crescut de apariție a arsurii,
- pacienți cu afecțiuni cardiovasculare instabile, insuficient controlate,
- ajustarea parametrilor trebuie făcută lent și sub supraveghere medicală.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea pacientului: așezare într-o poziție confortabilă, curățarea tegumentului,
- aplicarea electrozilor: pe mușchiul sau grupul muscular vizat, în direcția traiectului fibrelor,
- setarea stimulatorului: parametrii inițiali de frecvență, durată puls și intensitate,
- progresia: creșterea treptată până la obținerea unei contracții vizibile fără durere,
- dispozitivul trebuie ajustat astfel încât să producă contracții musculare eficiente fără disconfort excesiv.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de laborator de recuperare medicală sau clinică de recuperare, secții de fizioterapie, kinetoterapie ambulatorie,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - dispozitiv NMES portabil sau clinic,
  - electrozi adecvați de mărime și adeziune,
  - gel conductor sau sistem de fixare,
- personal calificat:
  - medic specialist în medicină fizică și de reabilitare,
  - fizioterapeut, kinetoterapeut.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, dar programele tipice implică 10-12 sesiuni pentru condiționarea inițială, adesea pe parcursul a mai multor săptămâni (de exemplu, 3-4 săptămâni, de 2-5 ori/săptămână), cu sesiuni care durează între 10 și 60 de minute. Numărul exact depinde de obiectivele individuale (forță, recuperare, durere), de mușchiul vizat și de răspunsul pacientului, unele studii arătând beneficii în programe mai scurte, în timp ce altele extind tratamentul timp de luni de zile.

*Efecte adverse, riscuri:* minore și tranzitorii cum ar fi disconfort la nivelul tegumentului sau al mușchiului, ușoară sensibilitate musculară post-tratament, iritații cutanate sub electrozi.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - evaluarea contracțiilor musculare și a confortului pacientului,
  - ajustarea parametrilor după toleranță,
  - observarea tegumentului sub electrozi,

- după tratament:
  - reevaluarea durerii (VAS),
  - evaluarea funcțională, a forței musculare,
  - înregistrarea efectelor adverse,
  - monitorizarea continuă permite adaptarea planului de tratament în funcție de evoluția pacientului.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor de kinetoterapie, reevaluare periodică la 2–4 săptămâni, educație privind exercițiile la domiciliu, ajustarea parametrilor NMES înainte de următoarea sesiune, dacă este necesar. Integrarea NMES într-un program terapeutic multimodal optimizează rezultatele funcționale și reduce riscul recidivei deficitului muscular.

- d) Stimulare electrică funcțională (FES, *Functional Electrical Stimulation*) este o tehnologie ce aplică impulsuri electrice pentru a induce contracții musculare coordonate în scopul de a genera mișcări funcționale, cum ar fi mersul sau prinderea obiectelor, la pacienți cu leziuni ale sistemului nervos central sau periferic (pareze, paralizii). Aceasta poate stimula musculatura scheletică în sincron cu activitățile normale pentru a îmbunătăți funcția motorie.

*Indicații:*

- post accidente vasculare cerebrale pentru corectarea „căderii piciorului” și îmbunătățirea mersului,
- după leziuni medulare pentru a genera mișcări funcționale sau a sprijini antrenamentul muscular,
- scleroză multiplă, paralizie cerebrală sau după traumatisme cerebrale pentru îmbunătățirea funcției motorii,
- alte situații în care mișcările voluntare sunt limitate, dar există țesut muscular viabil.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu pacemaker cardiac sau defibrilator implantat sau un alt dispozitiv electronic datorită posibilelor interferențe,
- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate, infecții active în zona de aplicare,
- epilepsie necontrolată,
- zone anatomice sensibile (sinus carotidian, ocular),
- necesită supravegherea atentă la pacienții cu tulburări circulatorii sau neuropatii,
- necesită ajustarea intensității pentru a preveni oboseala musculară excesivă sau disconfortul.

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea pacientului: explicarea procedurii și obținerea consimțământului informat; evaluarea zonei unde urmează să se aplice tehnologia,
- aplicarea: electrozii de suprafață sunt plasați pe musculatura sau nervii responsabili pentru mișcarea dorită (cum ar fi peroneal pentru dorsiflexie), dispozitivul generează impulsuri electrice sincronizate cu fazele funcționale ale mișcării (de ex. în timpul mersului), reglarea intensității și a altor parametri până când se obține o contracție funcțională eficientă, dar fără disconfort.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de ambulator medical sau clinică de recuperare, sală de fizioterapie ambulatorie, posibil și la domiciliu, când dispozitivele FES sunt portabile și pacientul este instruit corespunzător,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - dispozitiv FES cu canale multiple și programe funcționale (ex. pentru mers sau prindere),
  - electrozi de suprafață și cabluri compatibile,
  - opțional senzori EMG sau senzori de mișcare pentru control avansat,
- personal calificat:
  - medic specialist în medicină fizică și de reabilitare,
  - fizioterapeut, kinetoterapeut instruit în aplicarea sistemelor FES.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, dar protocoalele tipice implică 20 până la 48 de ședințe pe parcursul a câteva săptămâni sau luni, adesea de 2-3 ori pe săptămână, cu sesiuni individuale care durează 30-60 de minute, în funcție de afecțiune (cum ar fi accident vascular cerebral sau leziune medulară) și obiective, unele necesitând antrenament mai intensiv sau pe termen lung pentru câștiguri funcționale semnificative.

*Efecte adverse, riscuri:* sunt rare și de obicei minore, cum ar fi iritație cutanată la nivelul electrozilor, oboseală musculară temporară sau disconfort la stimularea în exces sau utilizarea unor parametri neadecvați.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - evaluarea controlului mișcării și a confortului pacientului,
  - observarea semnelor de oboseală sau iritație cutanată,
- după tratament:
  - reevaluarea durerii (VAS),
  - evaluarea funcțională,
  - compararea progresului în timp și ajustarea planului de tratament.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor complementare pentru consolidarea funcției motorii, reevaluare periodică la 2–4 săptămâni, educarea pacientului privind utilizarea tehnologiei la domiciliu, dacă este cazul, ajustarea protocoalelor înainte de următoarea sesiune în funcție de progresul individual.

e) Stimulare magnetică transcraniană (TMS, *Transcranial Magnetic Stimulation*, Figura 19) este o procedură neinvazivă de neuromodulare care folosește impulsuri magnetice variabile pentru a induce un câmp electric în cortexul cerebral și a modifica activitatea neuronală în regiuni specifice. Această tehnologie constă în aplicarea unor impulsuri magnetice scurte printr-o bobină plasată pe scalpul pacientului ce generează un curent electric slab la nivelul cortexului cerebral și care determină fie activarea, fie inhibarea sau modularea activității neuronale din zona țintită.

*Indicații:*

- tulburare depresivă majoră, rezistentă la tratament,
- tulburare obsesiv-compulsivă,
- sindromul de stres posttraumatic,
- anxietate severă,
- sindroame de durere cronice,
- afecțiuni neurologice cum ar fi boala Parkinson, tremor esențial, spasticitate,
- după accident vascular cerebral pentru ameliorarea deficitului motor și cognitiv,
- sindromul Tourette,
- insomnie,
- tinutus,
- fibromialgie.



**Figura 19.** rTMS (Transcranial Magnetic Stimulation) - stimulare magnetică transcraniană repetitivă

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- absolute: prezența dispozitivelor metalice feromagnetice în apropierea capului sau gâtului (implanturi metalice craniene, stenturi, etc.) aflate în apropierea câmpurilor magnetice generate de bobina TMS; ultimele ghiduri indică și implanturi cochleare, stimulator cardiac, pompe medicamentoase,
- relative: istoric de epilepsie sau risc crescut de convulsii; traumatisme craniene recente, medicamente care scad pragul convulsivant.

*Mod de aplicare, operare:*

- selectarea parametrilor: stimularea magnetică transcraniană repetitivă (rTMS, Figura 41) are efecte diferite asupra creierului în funcție de localizarea bobinei și de parametrii de tratament, inclusiv intensitatea, frecvența impulsurilor, durata trenului de impulsuri, intervalul dintre trenuri și numărul de impulsuri pe ședință. Intensitatea tratamentului cu câmp magnetic se bazează pe nivelul individual de excitabilitate corticală al pacientului sau pe pragul motor în repaus (MT). Combinarea unor perioade scurte de impulsuri rTMS cu intervale dintre trenuri relativ lungi maximizează siguranța procedurii. Numărul de impulsuri per ședință aprobat este de 3.000 pentru bobina de tip „figure-of-eight” și de 1.980 pentru bobina H1. Alte cercetări au demonstrat siguranța utilizării a până la 6.800 de impulsuri per ședință cu bobina de tip „figure-of-eight”; totuși, acest rezultat necesită replicare în eșantioane clinice mai mari înainte de a fi implementat în practica clinică de rutină. În plus, până în

- prezent, nu există date care să confirme că administrarea a mai mult de 3.000 de impulsuri per ședință este asociată cu o eficacitate mai mare,
- selectarea bobinei: se face în funcție de patologia de tratat. De exemplu, pentru tratamentul pacienților cu depresie prin rTMS bobina de tip „figure-of-eight” (cu sau fără nucleu de fier) sau bobina de tip H,
  - plasarea bobinei deasupra zonei de tratat.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de ambulator,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - sistem TMS cu bobine adecvate,
  - monitoare pentru semne vitale,
- personal calificat:
  - medic specialist în utilizarea TMS,
  - tehnician TMS instruit.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, dar programele tipice implică 20 până la 36 de ședințe pe parcursul a 4 până la 6 săptămâni, de obicei programate zilnic (5 zile/săptămână) pentru afecțiuni precum depresia, existând unele protocoale accelerate sau ședințe de întreținere disponibile, dar numărul exact depinde de răspunsul individual și de obiectivele tratamentului. Finalizarea completă a tratamentului este crucială pentru cele mai bune rezultate, îmbunătățirile fiind adesea observate în primele câteva săptămâni.

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort local la nivelul scalpului, cefalee ușoară, convulsii sau sincope (foarte rare), oboseală, amețelă tranzitorie.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - monitorizare semne vitale,
  - comunicare constantă cu pacientul pentru detectarea semnelor de disconfort sau apariția cefaleei,
- după tratament:
  - evaluări clinice ale simptomelor cum ar fi aplicarea scoruri psihometrice sau VAS pentru durere,
  - notarea și raportarea efectelor adverse,
  - reevaluare periodică a funcției motorii sau a celei cognitive.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei standard (medicație și psihoterapie) respectând recomandările medicului specialist, reevaluare clinică la 1-3 luni după finalizarea curei, educația pacientului privind posibilitatea apariției efectelor adverse tardive și recunoașterea acestor semne.

Stimularea Transcraniană cu Curent Continuu (tDCS, *Transcranial direct current stimulation*, Figura 20) este o tehnică non-invazivă de neuromodulare cerebrală care aplică un curent electric direct de intensitate

redușă (de obicei 0,5–2 mA) prin doi electrozi plasați pe scalp, pentru a modula excitabilitatea neuronală fără a induce potențiale de acțiune direct. Polaritatea curentului determină efectul: anodul crește excitabilitatea neuronală (depolarizare), iar catodul scade excitabilitatea (hiperpolarizare).



**Figura 20.** tDCS (Transcranial direct current stimulation) - stimularea transcraniană cu curent continuu

*Indicații:*

- tulburare depresivă majoră, în special ca terapie complementară sau alternativă la tratamente farmacologice, cu rezultate modeste,
- tulburare obsesiv-compulsivă,
- sindromul de stres posttraumatic,
- anxietate severă,
- sindroame de durere cronice,
- afecțiuni ca ADHD sau tulburări cognitive (în studii clinice),
- reabilitare după accident vascular cerebral pentru ameliorarea deficitului motor și cognitiv și a limbajului,
- migrenă,
- fibromialgie
- redobândirea echilibrului și abilităților motorii în boli neurologice (boală Parkinson, scleroză multiplă).

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- implante metalice sau dispozitive electronice intracraniene sau corp-implantate (pacemaker, stimuloare),
- crize epileptice active sau istoric de epilepsie necontrolată terapeutic,
- leziuni tegumentare active la locul electrozilor (ulcerații, dermatite, echimoze, infecții),
- traumatisme craniene recente,
- cooperare insuficientă pentru poziționarea electrozilor

- necesită evaluarea sănătății tegumentului de sub electrozi înainte de aplicare,
- se evită aplicarea pe tegumentul iritat.

*Mod de aplicare, operare:*

- se montează electrozii,
- se plasează electrozii de tip burete cu gel sau cu soluție salină conform sistemului EEG 10-20,
- se aplică un curent constant de 1–2 mA timp de 10–30 minute, în funcție de protocol,
- supravegherea aplicării de către un tehnician instruit sau de către medic.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de ambulator, cabinet de recuperare sau clinică de neurologie sau psihiatrie,
- aparatura necesară realizării tehnologiei:
  - dispozitiv de tDCS cu control al intensității curentului,
  - electrozi și soluție salină sau gel conductor,
  - materiale de igienă și protecție cutanată,
- personal calificat:
  - medic neurolog, psihiatru sau specialist în reabilitare medicală,
  - tehnician instruit în aplicarea tDCS și monitorizarea pacientului.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, dar programele tipice implică 10 până la 20 de ședințe, adesea zilnic, pe parcursul a 2-4 săptămâni, dar acesta variază foarte mult în funcție de afecțiune (depresie, durere, probleme cognitive) și de răspunsul individual, unele protocoale utilizând ședințe mai frecvente (de mai multe ori pe zi) sau necesitând ședințe de întreținere, întotdeauna conduse de un specialist.

*Efecte adverse, riscuri:* dermatita locală la aplicarea electrozilor, cefalee ușoară, eritem cutanat tranzitor, oboseală, disconfort minor de concentrare, greață, uneori, hipoestezie locală.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - monitorizare semne vitale,
  - observarea semnelor de disconfort cutanat,
- după tratament:
  - evaluări clinice ale simptomelor cum ar fi aplicarea scalelor pentru depresie sau VAS pentru durere,
  - monitorizarea modificărilor funcționale (mobilitate, echilibru) dacă este cazul,
  - notarea și raportarea efectelor adverse.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei standard (medicație și psihoterapie) conform recomandărilor specialistului, reevaluare

clinică la 1-3 luni după finalizarea curei și educația pacientului pentru recunoașterea efectelor adverse tardive.

#### 4.5 Sisteme de analiză a mișcării și biofeedback

a) **Sistemele de captare a mișcării** (MoCap, *Motion Capture*) reprezintă tehnologii care înregistrează și analizează mișcările corpului uman sau ale obiectelor. Acestea pot utiliza **markeri** sau pot funcționa **fără markeri** (*markerless*), în funcție de tehnologia implementată. Sisteme MoCap bazate pe markeri (Qualisys, SMART-DX, Vicon, Optitrack) sunt sisteme care utilizează camere optice de înaltă viteză și markeri reflectivi atașați pe segmentele corporale. Camerele captează lumina reflectată de acești markeri și permit reconstruirea tridimensională a mișcării cu un grad foarte ridicat de acuratețe. Sunt utilizate în cercetarea biomecanică, analiza mersului și sport de performanță.

##### **Qualisys**

Sistemul clinic Qualisys (QCS) este un sistem format din camere și un computer, utilizat pentru a cuantifica și afișa grafic modelele de mișcare umană la adulți și copii. Este destinat analizei mișcării în domeniile analizei mersului, reabilitării, medicinei sportive și ergonomiei. Pentru a realiza acest lucru, QCS utilizează date capturate de la senzori de imagine (camere de captură a mișcării) pentru a triangula poziția tridimensională a unuia sau mai multor markeri reflectivi atașați pacientului. Acest lucru se efectuează cu ajutorul a două sau mai multe camere calibrate pentru a furniza câmpuri vizuale suprapuse din multiple unghiuri.

QCS produce date cu 3 grade de libertate pentru fiecare marker, adică informații poziționale. Informațiile rotaționale (de exemplu, ale unui membru) pot fi obținute din orientarea relativă a trei sau mai mulți markeri.

Camerele de urmărire pot înregistra imagini și pot identifica poziția markerilor cu o rezoluție spațială și temporală ridicată, pentru a genera o captură de mișcare de înaltă performanță a markerilor. Markerii sunt de obicei atașați direct pe piele și sunt special concepuți pentru a reflecta lumina infraroșie emisă de camerele de urmărire. În plus, pot fi adăugate subsisteme pentru a înregistra date sincronizate cu camerele de urmărire, pentru a facilita analiza sau în scopuri pur documentare. Subsistemele suplimentare pot fi oricare dintre următoarele, sau o combinație a acestora: 1) video obișnuit, 2) date EMG și 3) date de la platforme de forță.

Componentele sistemului sunt formate din stația de lucru plus software și camerele de urmărire. Deși toate modelele de camere de captură a mișcării Qualisys acceptate sunt capabile să funcționeze la rate de cadre mai mari, Qualisys recomandă în conformitate cu recomandările din literatura

științifică, o rată de cadre de 100 fps (cadre pe secundă) pentru analiza mersului.

Qualisys (este un sistem de măsurare) poate avea multiple aplicații:

- evaluarea obiectivă a mersului (“gait analysis”): calculează parametri cinemetrici (unghiuri articulare), cinetici (momente, forțe) dacă este sincronizat cu placa de forță (“force plate”);
- monitorizarea progresului în reabilitare: prin comparații între măsurători pre și post terapie;
- feedback pentru terapeut: date precise biomecanice pot ajuta la ajustarea tratamentului (ex: corectarea tiparelor disfuncționale de mers);
- cercetare biomecanică: studii despre boli neurologice, ortopedice, intervenții chirurgicale, dispozitive de asistare (orteze, proteze) etc;
- integrare cu alte tehnologii: Qualisys poate lucra împreună cu IMU (unități de măsurare inerțială) pentru scenarii în care markerii optici nu pot fi văzuți direct;
- terapie bazată pe interacțiune vizuală: sistemul poate transmite date de mișcare în timp real pentru aplicații RV (realitate virtuală) sau avataruri.

*Indicații:*

- pentru analiza mersului la pacienți cu tulburări neurologice: post-accident vascular cerebral, după leziuni medulare traumatiche, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, scleroză multiplă și boală Parkinson;
- în cazul pacienților ortopedici: după intervenții la șold, genunchi, picior, proteze, orteze;
- evaluare înainte și după tratamente chirurgicale sau de reabilitare.
- reabilitarea cognitivă sau motorie: integrarea cu feedback vizual sau realitatea virtuală pentru antrenamente funcționale;
- studii clinice și de cercetare pentru a dezvolta noi protocoale de terapie bazate pe mișcare;
- în ergonomie: pentru a evalua mișcările la locul de muncă, riscul de leziuni, optimizarea mișcării;
- evaluarea coordonării ochi-corp: prin integrarea cu “eye-tracking” (Qualisys + Tobii Pro) pentru studii oculo-motorii.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate: dacă trebuie lipiți markeri, există risc de iritație,
- la pacienți cu obezitate, mușchi voluminoși, tegument moale, markerii se pot mișca, ducând la erori (dificultăți la plasarea markerilor),
- erori de linie de vedere („line-of-sight”): markerii pot fi ascunși de îmbrăcăminte, corp sau alte elemente, iar precizia scade,
- în caz de utilizare cu IMU: trebuie atenție la sincronizarea și calibrarea corectă,

- dacă înregistrarea durează mult este posibilă apariția unui grad de disconfort pentru pacient,
- spațiu fizic limitat: pentru o captare optimă, este necesară o cameră suficient de mare și aranjarea corectă a camerelor,
- asigurarea siguranței legate de electricitate, cabluri, sincronizarea cu alte dispozitive (placa de forță, EMG).

*Mod de aplicare, operare:*

- aranjarea, pregătirea dispozitivului: se montează camerele Qualisys (ex: Miquis, Oqus, în funcție de specificul laboratorului) în poziții strategice pentru a acoperi volumul de mișcare al pacientului;
- calibrarea: se calibrează sistemul pentru a obține un sistem spațial precis;
- aplicarea markerilor: se atașează markeri reflectivi pe segmentele relevante ale corpului (de ex. articulații, segmente osoase) conform unui marker predefinit sau personalizat;
- sincronizarea: dacă se folosește placa de forță, electromiografia sau alte dispozitive, se sincronizează cu sistemul Qualisys prin unitatea de sincronizare;
- captarea: pacientul realizează mișcările de interes (mers, exerciții, activități funcționale) în timp ce sistemul captează traiectoriile markerilor;
- analiza: se procesează datele în QTM (*Qualisys Track Manager*), se generează un schelet biomecanic, se calculează unghiurile, vitezele, momentele etc;
- raportarea: se pot genera rapoarte (PDF, HTML, Word) cu informații despre parametri de mișcare, simetrie, disfuncții etc, acestea putând fi utilizate în analiză clinică.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de laborator sau cameră de captare cu un volum suficient de mare (depinde câte camere și ce tip de mișcare),
- aparatura necesară realizării analizei:
  - camere Qualisys: Miquis, Oqus,
  - calculator sau stație cu software QTM (*Qualisys Track Manager*),
  - markeri reflectivi și kit de calibrare,
  - plăcile de forță (pentru analiza cinetică),
  - EMG (pentru măsurători musculo-electrice) – opțional,
  - sisteme de *eye-tracking* (dacă se dorește integrarea comportamentului vizual) – Qualisys se poate conecta cu Tobii Pro,
  - IMU-uri (dacă sistemul este hibrid) – pentru sincronizare cu Mocap,
- personal calificat:

- fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor, interpretare mișcare,
- tehnician mocap: pentru instalare, calibrare, mentenanță sistem,
- informatician sau programator (dacă se face integrare în RV sau aplicații personalizate),
- dacă se folosește eye-tracker, poate fi util un specialist în analiza ochiului.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, unele studii sugerând un total de aproximativ 10 sesiuni pentru un program de terapie VR pe baza performanței cinematice apacienților.

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort legat de markerii aplicați (frecare, iritație tegumentară, oboseală fizică, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, erori de măsurare dacă markerii cad, se mișcă sau dacă linia de vedere a camerelor este blocată, greață, amețeli, disconfort vizual atunci când se integrează cu alte tehnologii (ex: RV), apariția datelor eronate în cazul sincronizării greșite (ex: forță greșit aliniată cu markerii).

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - colectează date de mocap la fiecare sesiune sau la anumite intervale (ex: săptămânal) pentru a vedea schimbările progresive,
  - analizează parametrii biomecanici (unghiuri articulare, simetrie stânga-dreapta, forțe dacă e cazul),
  - feedback în timp real pentru corectarea mișcărilor: pacientul poate vedea cum se mișcă și își poate ajusta mișcărilor,
- după tratament:
  - realizează o evaluare finală cu mocap pentru a compara cu măsurările inițiale,
  - corelează datele biomecanice cu măsurători clinice: durere (VAS), mobilitate (scale clinice), echilibru, capacitatea de mers etc,
  - raportează efectele adverse: orice disconfort, probleme legate de markeri, sincronizare,
  - gestionare și planificare: pe baza rezultatelor, terapeutul poate ajusta viitoarele sesiuni sau recomanda un alt ciclu de terapie.

*Recomandări post-tratament:* terapie fizică și ocupațională, monitorizarea efectelor secundare și modificări ale stilului de viață, cum ar fi exercițiile fizice și dieta. Sfaturile specifice depind de afecțiunea tratată, dar ghidurile generale sugerează continuarea reabilitării pentru a optimiza performanța funcțională și crearea unui plan personalizat, centrat pe pacient și afecțiunea specifică, împreună cu medicul de reabilitare.

### **SMART-DX**

SMART-DX este un sistem pentru analiza mișcării, destinat înregistrării și analizei modelelor de mișcare umană în reabilitarea medicală, în medicina sportivă și în ergonomie și a fost folosit ca dispozitiv de referință în crearea Qualisys. Din componentele sistemului fac parte stația de lucru cu software, camere de urmărire.

SMART-DX poate avea numeroase aplicații:

- evaluarea mersului și a posturii: util în analiza funcțională a mersului la pacienți ortopedici sau neurologici;
- reabilitare cognitivă și a mobilității: sistemul permite captarea mișcărilor pacientului, oferind date pentru ajustarea terapiei;
- biomecanica în sport: analize de performanță, prevenirea accidentărilor, optimizarea mișcărilor sportive;
- ergonomie sau factori umani: optimizarea posturii la locul de muncă, analiza interacțiunii om-mașină;
- cercetare: cercetări biomecanice detaliate datorită sensibilității ridicate.

*Indicații:*

- pentru analiza mersului la pacienți cu tulburări neurologice: post-accident vascular cerebral, după leziuni medulare traumatiche, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatiche și ischemice, copii cu paralizie cerebrală;
- în cazul pacienților ortopedici: după intervenții la genunchi, șold, postfracturi, mai ales când dorim cuantificarea exactă a schimbărilor în cinemica mersului;
- reabilitare pediatrică: evaluarea mișcării la copii, adaptarea terapiei la nivel de segmente de membre, unghiuri articulare;
- evaluarea echilibrului și a posturii: poate depista deformări subtile în postură, asimetrii, instabilități;
- în cercetare: studii privind biomecanica, interacțiunea mișcare-forță, adaptări motorii;
- performanță sportivă: pentru optimizarea antrenamentului, prevenirea accidentărilor și analiza simetriei mișcărilor.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate: risc de apariția iritațiilor la nivelul tegumentului deoarece markerii reflectanți trebuie plasați pe tegument sau pe un costum,
- erori de linie de vedere („line-of-sight”): dacă pacientul are restricții de mișcare, obiecte în cameră sau îmbrăcăminte care le blochează, datele pot fi eronate,
- dacă înregistrarea durează mult și implică multe repetări este posibilă apariția unui grad de disconfort pentru pacient,

- spațiu fizic limitat: este nevoie de un laborator suficient de mare pentru a plasa camerele în mod optim și pentru a oferi volumul necesar de mișcare,
- sistemul trebuie recalibrat dacă camerele își schimbă poziția, altfel precizia scade,
- asigurarea siguranței legate de electricitate, cabluri, sincronizarea cu alte dispozitive (placa de forță, EMG).

*Mod de aplicare, operare:*

- aranjarea, pregătirea dispozitivului: se plasează camerele în poziții strategice pentru a acoperi volumul de mișcare al pacientului;
- calibrarea: se calibrează sistemul astfel încât sistemul să acopere zone diferite, inclusiv în prezența obstacolelor;
- aplicarea markerilor: se atașează markeri reflectivi (pasivi) pe segmentele relevante ale corpului (de ex. articulații, segmente osoase) conform unui marker validat;
- sincronizarea: dacă se folosește placa de forță, electromiografia sau alte dispozitive, se sincronizează cu sistemul SMART-DX prin semnale de trigger sau intrări digitale;
- captarea: pacientul realizează mișcările și exercițiile dorite (mers, echilibru, alte sarcini funcționale) în timp ce sistemul captează pozițiile markerilor;
- procesare: datele captate sunt procesate, generând parametri biomecanici (traietorii, viteze, unghiuri etc.);
- analiza și feedback: pe baza datelor, terapeutul poate da feedback, poate ajusta programul de exerciții sau poate crea rapoarte pentru progresul pacientului.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de laborator de mișcare sau cameră de reabilitare cu un volum suficient de mare pentru plasarea camerelor și pentru mișcările pacientului;
- aparatura necesară realizării analizei:
  - camere SMART DX EVO (sau alte variante SMART DX),
  - calculator sau stație de lucru cu software SMART-Suite plus (opțional) SMART Analyzer,
  - markeri reflectivi și suporturi pentru ei (tripozi, costume, benzi),
  - plăcile de forță (pentru analiza cinetică),
  - EMG (pentru activitate musculară),
  - IMU-uri (dacă sistemul este hibrid) – pentru sincronizare cu Mocap,
- personal calificat:

- fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor, interpretare mișcare,
- tehnician mocap: pentru instalare, calibrare, mentenanță sistem,
- bioinginer sau analist de mișcare: analizează datele cinematice, unghiurile, simetriile
- informatician sau programator dacă se creează protocoale personalizate sau se integrează cu alte sisteme.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, de obicei, sunt necesare 16 ședințe pentru programul de terapie Smart-DX, împărțite în două faze de câte 8 ședințe fiecare. Prima fază se concentrează pe antrenamentul de forță și controlul motor, în timp ce a doua fază transferă aceste câștiguri la mers.

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort legat de markerii aplicați (iritație tegumentară), oboseală fizică, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, erori de măsurare dacă markerii cad, se deplasează sau dacă sunt blocați de haine, apariția datelor eronate în cazul sincronizării greșite (ex: forță greșit aliniată cu markerii), riscul suprasolicitării (în special la pacienți fragili) în cazul terapiei intense.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - colectează date de mocap la fiecare sesiune sau la anumite intervale (ex: săptămânal) pentru a observa evoluția mișcării (traectorii, unghiuri articulare, simetrii),
  - analizează parametrii biomecanici (unghiuri articulare, simetrie stânga-dreapta, forțe dacă e cazul),
  - generarea rapoartelor intermediare (de ex. după fiecare 5 ședințe) și se poate da feedback pacientului sau terapeutului despre progresul înregistrat,
  - când se sincronizează cu EMG și plăci de forță, se poate măsura activitatea musculară și forțele, ceea ce dă o imagine mai completă a mecanicii mișcării,
- după tratament:
  - realizează o evaluare finală cu mocap pentru a compara datele inițiale și finale (spre exemplu unghiuri, simetrie, viteză),
  - evaluarea parametrilor clinici: durere (VAS), mobilitate (scale clinice), echilibru, capacitatea de mers,
  - raportează efectele adverse: orice disconfort, probleme legate de markeri, sincronizare,
  - gestionare și planificare: pe baza rezultatelor, terapeutul poate ajusta viitoarele sesiuni sau recomanda o nouă cură de reabilitare.

*Recomandări post-tratament:* continuarea terapiei convenționale și complementare ca pas următor, continuarea terapiei fizice și ocupaționale

tradiționale sau explorarea altor opțiuni, cum ar fi antrenamentul în realitate virtuală pentru îmbunătățirea abilităților motorii și a funcției cognitive.

### **VICON**

Vicon este unul dintre cele mai cunoscute și performante sisteme de capturare a mișcării – MoCap, bazate pe markeri, folosit pe scară largă în cercetarea biomecanică, în reabilitare, sport, în animație dar și în industria filmului sau gamingului.

Vicon utilizează camere optice de înaltă precizie care detectează markeri reflectivi atașați pe corpul uman sau pe diverse obiecte, acești markerii reflectând lumina infraroșie emisă de camerele sistemului. Software-ul Vicon (ex: Vicon Nexus, Vicon Blade) calculează poziția tridimensională a fiecărui marker și reconstruiește scheletul virtual al persoanei sau al obiectului.

Vicon are următoarele componente:

- camerele optice:
  - detectează markerii reflectivi în spațiul tridimensional,
  - pot fi de tip monocrom sau color, cu rate de capturare de la 100 la peste 1000 fps,
- markerii reflectivi:
  - obișnuit mici bile acoperite cu material retro-reflectorizant,
  - atașați pe puncte anatomice-cheie pentru a urmări mișcările segmentelor corporale,
- software Vicon:
  - reconstruiește poziția markerilor în timp real,
  - permite analiza biomecanică, calcularea cineticii și cinematicii, generarea de grafice și rapoarte,
- opționale:
  - plăci de forță integrate pentru analiza forțelor în timpul mersului sau săriturilor,
  - EMG și IMU sincronizate pentru date combinate.

Vicon poate avea multiple aplicații:

- evaluarea mersului („gait analysis”): Vicon este folosit pentru a detecta anomalii în mers (de exemplu la pacienți neurologici sau cu afecțiuni ortopedice) și pentru a ghida intervențiile terapeutice;
- în reabilitare: permite cuantificarea modificărilor în biomecanica pacientului înainte și după tratament, ceea ce ajută la personalizarea terapiei;
- în cercetare: oferă date exacte (traectorii tridimensionale, unghiuri, viteză), utile în studii de biomecanică, prostetică sau control motor;

- integrare în medii de reabilitare gamificate: Vicon poate fi folosit pentru sisteme interactive sau jocuri de reabilitare, oferind feedback precis al mișcării.

*Indicații:*

- pentru analiza mersului la pacienți cu tulburări neuromotorii: accident vascular cerebral, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, scleroză multiplă și boală Parkinson;
- în cazul pacienților ortopedici: după intervenții la șold, genunchi, picior, proteze, orteze;
- analiza mersului la persoanele cu amputații („gait after amputation”): Vicon poate cuantifica mersul și cinematica membrelor;
- reabilitare pediatrică: în copii cu dizabilități motorii, Vicon este folosit pentru măsurători obiective;
- evaluarea echilibrului și posturii: prin analiza traiectoriilor markeri, se pot identifica instabilități și disfuncții posturale;
- cercetare în biomecanică, dezvoltare de protocoale de recuperare, optimizarea intervențiilor.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate: markerii reflectanți trebuie să fie atașați corect pe corp și există risc de iritație;
- la pacienți cu obezitate, mușchi voluminoși, tegument moale, markerii se pot mișca, ducând la erori (dificultăți la plasarea markerilor);
- erorile de linie de vedere („line-of-sight”) sunt esențiale: camerele trebuie să vadă markerii, iar dacă țeșutul, hainele sau alte obiecte blochează markerii, datele pot fi greșite;
- calibrare: sistemul trebuie calibrat frecvent (ex: calibrare staționară și dinamică) pentru a asigura acuratețea;
- sincronizare: dacă se utilizează plăci de forță sau EMG, pentru o analiză corectă trebuie să se sincronizeze semnalele;
- oboseală sau disconfort experimentate de pacient, mai ales în sesiunile lungi de captare;
- riscuri de eroare dacă markerii se deplasează, cad sau sunt diagnosticați incorect.

*Mod de aplicare, operare:*

- aranjarea, instalarea sistemului: plasarea camerelor Vicon în jurul zonei de mișcare, configurarea volumului de captare;
- calibrarea: se efectuează calibrări staționare și dinamice, pentru a defini sistemul de coordonate;
- aplicarea markerilor: se atașează markeri reflectivi pe segmentele relevante ale corpului (de ex. articulații cheie) conform unui model biomecanic;

- sincronizarea: dacă se folosește placa de forță, electromiografia sau alte dispozitive;
- captură mișcare: pacientul execută sarcinile (mers, mișcări funcționale) iar sistemul înregistrează datele;
- procesare: datele captate sunt procesate în software;
- analiză și raportare: se extrag parametrii (unghiuri, viteze, simetrii), se generează rapoarte pentru terapeut sau clinician.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de o cameră de analiză cu un volum suficient pentru mișcare dar și posibilitatea instalării plăcilor de forță în podea cum e cazul laboratoarelor de biomecanică,
- aparatura necesară realizării analizei:
  - camere Vicon (ex: camere optice Vicon) pentru captare mocap,
  - calculator sau stație de lucru cu software Vicon Nexus (sau alt software Vicon),
  - markeri reflectivi și kit de calibrare,
  - plăcile de forță (pentru analiza cinetică),
  - EMG (pentru măsurători musculo-electrice) – opțional,
  - IMU-uri (dacă sistemul este hibrid) – pentru sincronizare cu Mocap,
- personal calificat:
  - fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor de mișcare, interpretarea mișcării,
  - tehnician (specialist) mocap: pentru instalare, calibrare, mentenanță sistem,
  - dacă se folosește EMG, un specialist EMG sau inginer de semnal.

Numărul de sesiuni necesare este determinat de planul de reabilitare, de obiectivele pacientului (mers, membru superior, echilibru), de afecțiune (accident vascular cerebral, leziune postraumatică, sarcopenie), variind de la evaluări individuale la zeci de ședințe (de exemplu, 6, până la 20 de ședințe) integrate cu alte terapii, cum ar fi antrenamentul pe bandă de alergare (Lokomat), cu scopul de a măsura obiectiv calitatea mișcării, unghiurile articulațiilor și forța pentru un tratament personalizat, nu doar un număr fix.

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort legat de markerii aplicați (frecare, iritație tegumentară), oboseală fizică, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, erori de măsurare dacă markerii cad, se mișcă sau dacă linia de vedere a camerelor este blocată, greață, amețeli, disconfort vizual atunci când se integrează cu alte tehnologii (ex: RV), apariția datelor eronate în cazul sincronizării greșite (ex: forță greșit aliniată cu markerii).

### *Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - la fiecare sesiune (sau la un număr predefinit de sesiuni) se pot face capturi pentru a urmări evoluția mișcării (unghiuri, simetrii, viteză),
  - analizează parametrii biomecanici (unghiuri articulare, simetrie stânga-dreapta, forțe),
  - feedback în timp real pentru corectarea mișcărilor: pacientul poate vedea cum se mișcă și își poate ajusta mișcărilor,
- după tratament:
  - realizează o evaluare finală cu mocap pentru a compara cu măsurările inițiale (ROM, simetrii, parametri specifici),
  - corelează datele biomecanice cu măsurători clinice: durere (VAS), mobilitate (scale clinice), echilibru, capacitatea de mers etc,
  - raportarea rezultatelor: generează rapoarte pentru pacient și echipa terapeutică (ex: cu Nexus Insight),
  - raportează efectele adverse: orice disconfort, probleme legate de markeri, sincronizare,
  - gestionare și planificare: pe baza rezultatelor, terapeutul poate ajusta viitoarele sesiuni sau recomanda un alt ciclu de terapie.

*Recomandări post-tratament:* continuarea la domiciliu a exercițiilor vizuale sau vestibulare, gestionarea simptomelor (vertij, greață) prin ajustarea intensității exercițiului (reprize mai scurte, dacă este necesar), creșterea treptată a dificultății antrenamentului (intensități medii, mișcări mai complexe) și integrarea câștigurilor în activitățile zilnice, cu scopul de a îmbunătăți echilibrul, stabilitatea privirii și funcția, terapie fizică și ocupațională continuă, vizând independența funcțională pe termen lung.

### **OptiTrack**

OptiTrack este un sistem de captare optică a mișcării (mocap, *motion capture*), care folosește camere și markeri reflectanți pentru a urmări mișcările corpului în spațiu tridimensional.

OptiTrack poate avea multiple aplicații:

- permite colectarea datelor biomecanice despre mers, postură, mișcări articulare sau echilibru, date ce pot fi folosite pentru diagnostic, monitorizare și optimizare a terapiei;
- în reabilitarea asistată, de exemplu în combinație cu roboți: în terapia robotică, traiectoriile mișcării unui terapeut pot fi captate cu OptiTrack și apoi reproduse de robot;
- permite feedback vizual sau realitate virtuală (VR): în sisteme de reabilitare bazate pe realitate virtuală sau mixtă, sistemul OptiTrack poate oferi date în timp real despre mișcarea pacientului, ceea ce crește motivația și precizia exercițiilor;

- Permite evaluarea obiectivă a progresului: prin măsurători precise (unghiuri articulare, viteză, accelerare) se pot măsura progresele terapiei și ajusta intervențiile.

*Indicații:*

- pentru analiza mersului la pacienți cu tulburări neurologice: accident vascular cerebral, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, scleroză multiplă și boală Parkinson;
- în cazul pacienților ortopedici: după intervenții la șold, genunchi, picior, proteze, orteze, leziuni musculo-scheletice, pentru analiza mersului, a mișcărilor articulațiilor, a echilibrului.
- optiTrack este folosit în laboratoare de reabilitare pentru a identifica mecanisme de leziune și optimizare a programelor;
- terapie asistată de robot: robotul repetă mișcărilor corecte ale terapeutului;
- cercetare și dezvoltare de protocoale de reabilitare: studii clinice, laboratoare de mișcare, știința mișcării.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu plăgi deschise, leziuni cutanate: markerii reflectanți trebuie să fie atașați corect pe corp și există risc de iritație;
- la pacienți cu obezitate, mușchi voluminoși, tegument moale, markerii se pot mișca, ducând la erori (dificultăți la plasarea markerilor);
- erorile de măsurare: camerele trebuie să vadă markerii, iar dacă țesutul, hainele sau alte obiecte blochează markerii, datele pot fi greșite;
- spațiu limitat: este nevoie de o cameră cu un volum adecvat pentru plasarea camerelor OptiTrack;
- în integrarea cu RV, poate exista risc de greață sau disconfort (similare altor aplicații RV).

*Mod de aplicare, operare:*

- aranjarea, instalarea sistemului: se montează camere OptiTrack în camera de terapie, configurate astfel încât să acopere volumul de mișcare necesar (ex: braț, mers);
- aplicarea markerilor: se atașează markeri reflectivi pe segmentele relevante ale corpului (de ex. articulații cheie, segmente relevante);
- calibrarea: se efectuează calibrări staționare și dinamice, pentru a defini sistemul de coordonate;
- se rulează exercițiile terapeutice: pacientul face mișcărilor dorite, în timp ce sistemul captează datele;
- se oferă feedback: pot fi doar date brute (înregistrări pentru analiză) sau feedback vizual în timp real (de exemplu avatar pe ecran, grafic al traiectoriei);
- datele pot fi stocate și analizate ulterior pentru a ajusta programul terapeutic.

*Resurse:*

- spatiul alocat este obișnuit reprezentat de o cameră de analiză cu un volum suficient, cu posibilitate de montare a minim câtorva (ex. 4 - 12) camere OptiTrack, în funcție de sistem,
- aparatura necesară realizării analizei:
  - camere OptiTrack,
  - calculator sau stație de lucru cu software,
  - markeri reflectivi și costume sau vestă de mocap dacă e cazul,
  - posibil VR (computer, ecran, ochelari) dacă terapia include feedback vizual,
  - plăcile de forță (pentru analiza cinetică),
- personal calificat:
  - fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor de mișcare, interpretarea datelor,
  - tehnician, inginer mocap: pentru instalare, pentru a seta sistemul, calibra camerele, marca pacienții,
  - analist biomecanic (opțional): pentru a procesa datele și a extrage parametri utili (unghiuri, viteze),
  - în caz de RV: specialist IT / RV.

Numărul de sesiuni de terapie OptiTrack variază foarte mult în funcție de afecțiune și obiective, dar studiile arată protocoale care includ în mod obișnuit 10 până la 18 sesiuni supravegheate pe parcursul a 5-8 săptămâni (de 2-3 ori/săptămână) pentru recuperarea membrelor superioare după accident vascular cerebral sau recuperarea genunchiului, folosind exerciții gamificate pentru a urmări mișcarea și a îmbunătăți amplitudinea de mișcare și forța, cu frecvență și durată adaptate de către medici.

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort legat de markerii aplicați (frecare, iritație tegumentară), epuizare fizică, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, erori de măsurare dacă markerii cad, se mișcă sau dacă linia de vedere a camerelor este blocată, greață, amețeli, disconfort vizual atunci când se integrează cu alte tehnologii (ex: RV), apariția datelor eronate în cazul sincronizării greșite (ex: forță greșit aliniată cu markerii).

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului:
  - la fiecare sesiune (sau la un număr predefinit de sesiuni) se colectează parametri precum traiectoriile articulațiilor, unghiuri, viteză, accelerare,
  - se poate compara performanța între sesiuni (ex: consistență, deviație față de traiectoria ideală),
- după tratament:

- realizează o evaluare finală și se refac măsurări cu OptiTrack pentru a compara cu măsurările inițiale (ROM, simetrie, parametri specifici),
- corelează datele biomecanice cu măsurători clinice: durere (VAS), mobilitate (scale clinice), echilibru, capacitatea de mers etc,
- raportează efectele adverse: orice disconfort, probleme legate de markeri, sincronizare,
- gestionare și planificare: pe baza rezultatelor, terapeutul poate ajusta viitoarele sesiuni sau recomanda un alt ciclu de terapie.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor la domiciliu, progresia treptată a antrenamentului, automonitorizarea continuă (cum ar fi cea video) și verificarea constantă a antrenamentului de către terapeut pentru a rafina tiparele de mișcare, utilizând datele obiective ale tehnologiei (analiza mersului, forță) și pentru a asigura o practică personalizată, bazată pe date și conformă cu nevoile la domiciliu, vizând îmbunătățirea forței, echilibrului și mișcării funcționale pentru activitățile zilnice.

### **KINECT**

Kinect (Figura 21) este o linie întreruptă de dispozitive de intrare bazate pe detectarea mișcării, produse de Microsoft și lansate pentru prima dată în 2010. Dispozitivele conțin, în general, camere RGB (camere video sau foto care captează imagini folosind cele trei culori de bază: R, *Red*-roșu; G, *Green*- verde; B, *Blue*- albastru), precum și proiectoare și senzori infraroșii care cartografiază adâncimea fie prin lumină structurată, fie prin calcule de tip „time of flight”. Aceste date pot fi utilizate pentru recunoașterea gesturilor în timp real și pentru detectarea scheletului corpului, printre alte funcții. De asemenea, includ microfoane ce pot fi folosite pentru recunoașterea vorbirii și control vocal.



**Figura 21.** Sistemul KINECT

Kinect are următoarele componente:

- cameră RGB: captează imagini folosind cele trei culori de bază: R - roșu; G - verde; B - albastru),

- senzor de adâncime: obișnuit senzori infraroșii care cartografiază adâncimea fie prin lumină structurată, fie prin calcule de tip „time of flight”.
- microfon cu matrice multiplă: folosit pentru recunoașterea vorbirii și control vocal.

Kinect poate avea multiple aplicații:

- în terapia neurologică: îmbunătățește echilibrul, controlul postural, mobilitatea după accidente vasculare cerebrale;
- în reabilitarea bolilor neurologice cronice: studiile au arătat că pacienții cu scleroză multiplă care fac exerciții cu Kinect au îmbunătățiri în echilibru (ex: scoruri cum este *Berg Balance Scale*);
- în reabilitarea bolnavilor cu boală Parkinson: un studiu pilot a folosit Kinect pentru exerciții de picior și mers la pacienți cu Parkinson și a raportat îmbunătățiri la testul mersului (*10 m Walk Test*);
- în reabilitarea efectuată acasă sau în telereabilitare: sistemele Kinect pot fi folosite în regim la domiciliu, oferind feedback vizual și repetabilitate ridicată.

*Indicații:*

- pacienți cu tulburări neuromotorii: accident vascular cerebral, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, scleroză multiplă și boală Parkinson;
- pacienți cu tulburări de echilibru, risc de cădere;
- evaluări clinice la domiciliu sau în clinică.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți care au nevoie de măsurători foarte fine: având o precizie limitată, Kinect nu este la fel de precis ca sistemele mocap profesionale (cu markere);
- la pacienți cu mișcări fine ale degetelor și mâinii: Kinect este mai puțin sensibil la mișcările foarte mici ale mâinii sau ale degetelor;
- condiții de iluminare redusă sau spațiu redus: sistemul trebuie instalat într-un spațiu unde senzorul poate „vedea” bine pacientul; lumină slabă sau obstacole pot afecta capturile;
- oboseală sau risc de suprasolicitare: dacă exercițiile nu sunt adaptate bine, pot apărea leziuni ale structurilor tegumentare și articulare sau durere musculoscheletală;
- dependență de feedback extern: pacientul poate deveni dependent de feedbackul vizual, iar dacă feedbackul dispare (de ex. în viața de zi cu zi), transferul abilităților poate fi limitat.

*Mod de aplicare, operare:*

- aranjarea, instalarea sistemului într-o sală: se montează senzorul (pe suport, la înălțimea adecvată) și se conectează la un calculator;

- se rulează software-ul specializat (jocuri de reabilitare, aplicații clinice) care afișează un avatar sau exerciții pe un ecran;
- pacientul stă într-o poziție optimă (de obicei la o distanță recomandată față de senzor) pentru ca Kinect să-l poată „vedea” complet;
- exercițiile sunt ghidate de sistem: jocuri de echilibru, ridicare de brațe, genuflexiuni, atingere de obiecte virtuale etc;
- feedback vizual în timp real: pacientul vede avatarul sau tracțiunea corpului în timp real și știe dacă efectuează corect exercițiile;
- posibilitatea de ajustare a exercițiilor: terapeutul poate modifica dificultatea, repetițiile, viteza, poziția, după ce evaluează progresul.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de o cameră în ambulatoriu, la cabinetul de recuperare (sală de terapie), spațiul trebuie să fie suficient de larg pentru ca pacientul să se miște și să fie la distanță optimă față de senzor (de obicei câțiva metri),
- aparatura necesară realizării analizei:
  - Kinect (modelul ales: Kinect v2, Azure Kinect etc.),
  - calculator (PC) suficient de puternic să ruleze aplicațiile de reabilitare,
  - monitor sau ecran pentru feedback vizual,
  - software de reabilitare (jocuri terapeutice, aplicații clinice),
  - suport pentru senzor, cabluri, eventual sistem de montare,
- personal calificat:
  - fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor de mișcare, interpretarea mișcării, supraveghere, ajustări,
  - inginer software sau terapeut digital (dacă se creează jocuri personalizate),
  - asistent medical (dacă e cazul, mai ales la pacienți vulnerabili).

Numărul de sesiuni de terapie Kinect variază foarte mult, de la 6 -10 sesiuni pentru afecțiuni mai simple până la 20 - 30 pentru recuperarea postoperatorie complexă, adesea cu 2-3 sesiuni săptămânale pe parcursul a câteva săptămâni sau luni, în funcție de afecțiune (cum ar fi accident vascular cerebral, echilibru sau postură) și de progresul individual, studiile arătând protocoale precum 10 sesiuni pentru echilibru sau 20 de sesiuni pentru recuperarea după accident vascular cerebral cu o durată a sesiunilor de antrenament cuprinse între 20-60 minute cu o ritmicitate de 3-5 pe săptămână.

*Efecte adverse, riscuri:* oboseală musculară, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, sau dacă exercițiile nu sunt adaptate corect, risc de accidentare sau dezechilibru, mai ales la pacienți cu

probleme de echilibru, posibilă frustrare sau lipsă de motivație dacă sistemul nu este adaptat sau jocurile nu sunt variate.

*Monitorizare:*

- evaluări clinice periodice: de exemplu, Berg Balance Scale, teste de mers, teste de forță, ROM (amplitudinea de mișcare),
- monitorizarea datelor Kinect: unghiuri articulații, precizia mișcărilor, progresul în jocuri,
- feedback al pacientului: durere (de ex. VAS – scala analog vizuală a durerii), oboseală, disconfort,
- raportarea efectelor adverse: dacă apar accidente, dureri, disconfort, terapeutul ajustează protocoalele.

*Recomandări post-tratament:* continuarea la domiciliu a exercițiilor, integrarea elementelor distractive, asemănătoare jocului, în viața de zi cu zi, asigurarea supravegherii continue de către terapeut (adesea de la distanță), menținerea unui spațiu sigur și liber pentru mișcare și creșterea treptată a intensității exercițiilor pentru a consolida câștigurile în forță, echilibru și funcționalitate, în special pentru recuperarea după accident vascular cerebral sau reabilitarea neurologică.

b) **Senzori inerțiali portabili** (Noraxon, Xsens MVN) reprezintă dispozitive mici, purtate pe corp care folosesc accelerometre, giroscopuri și magnetometre pentru a măsura mișcarea, orientarea și accelerația, oferind date pentru urmărirea activității zilnice, analize sportive, îngrijire medicală și chiar realitatea virtuală, prin detectarea mișcării liniare, rotației și a câmpurilor magnetice în timp real pentru a înțelege activitatea umană.

Sistemul **Xsens MVN** este un sistem de captură a mișcării (motion capture) complet corporal, bazat pe senzori inerțiali și magnetici, combinați cu algoritmi avansați și modele biomecanice și permite înregistrarea tridimensională a mișcării umane fără a fi nevoie de camere sau markeri. Este ușor de utilizat și eficient din punct de vedere al costurilor, captând mișcarea corpului uman în întregime, în orice mediu. MVN, *Motion Vector Navigation*, este un sistem complet portabil și nu este restricționat la un studio sau laborator. Poate fi utilizat oriunde: în aer liber, la birou sau pe terenul de lucru. Nu există limitări privind volumul de măsurare (cu excepția razei de acțiune wireless).

*Indicații:*

- pentru analiza mersului și echilibrului la pacienți cu tulburări neurologice: accident vascular cerebral, paralizie cerebrală, după leziuni cerebrale traumatice și ischemice, scleroză multiplă și boală Parkinson, recuperarea post-traumatism;

- în cazul pacienților ortopedici: monitorizează calitatea mișcării după accidentări (cum ar fi rupturile de ligament încrucișat anterior) pentru a asigura o aliniere corectă și a monitoriza câștigurile în forță și mobilitate;
- pacienții cu mișcări disfuncționale: cu ajutorul feedback-ului vizual sau auditiv (sonicare) în timp real îi ajută să corecteze în mod conștient aceste mișcări disfuncționale (cum ar fi îmbunătățirea prehensiunii la pacienții cu accident vascular cerebral);
- în cercetare și dezvoltare: oferă date biomecanice detaliate pentru dezvoltarea de noi tehnici de reabilitare și dispozitive medicale.

*Contraindicații si măsuri de precauție:*

- pacienți cu stimulatori cardiace sau dispozitive electronice implantate;
- la pacienți cu sensibilitate sau alergii cutanate la curele sau benzile dispozitivului;
- pacienții cu diferite limitări ale funcției fizice (deoarece sistemul nu restricționează în mod inerent mișcarea, ci o reflectă, pacientul trebuie să fie capabil fizic să efectueze mișcările urmărite).

*Mod de aplicare, operare:*

- pacientul trebuie să poarte haine strânse sau costum special (MVN suit) pentru a permite o fixare bună a tracker-elor (senzorilor), se evită părul lung (se strânge) sau bijuteriile mari care pot interfera cu plasarea senzorilor;
- tracker-ele (senzorii IMU) se fixează pe segmentele corpului: cap sau frunte, torace, umeri, coate, încheietura pumnului, șolduri, genunchi, glezne și se atașează de costum cu velcro sau benzi elastice;
- după plasarea senzorilor, se efectuează o calibrare statică într-o poziție fixă, de obicei „T-pose” (brațele lateral, paralel cu solul) sau „N-pose” (brațele ușor îndoite) ce permite software-ului să identifice corect fiecare segment și să înceapă să calculeze unghiurile și pozițiile corecte;
- după calibrare, pacientul poate începe mișcarea dorită (mers, alergare, ridicare obiecte, exerciții), senzorii înregistrează accelerațiile și rotațiile segmentelor și trimit datele wireless la computer sau hub-ul central;
- software-ul Xsens reconstruiește mișcarea în timp real, arătând un avatar tridimensional al corpului.

*Resurse:*

- spațiul alocat este un spațiu fizic liber (interior sau exterior, orice iluminare) pentru purtătorul senzorilor (suficient pentru ca persoana să se miște liber, să sară, să alerge, să se așeze sau să facă orice mișcare dorește fără a lovi obstacole),
- aparatura necesară realizării analizei:
  - calculator sau stație de lucru cu software,

- software sau licențe specifice,
- alimentare pentru încărcare și conexiune de date prin porturi USB,
- personal calificat:
  - fizioterapeut sau kinetoterapeut: pentru definirea protocoalelor de mișcare, interpretarea datelor,
  - tehnician, inginer mocap: pentru instalare, pentru a seta sistemul, calibra camerele, marca pacienții,
  - analist biomecanic (opțional): pentru a procesa datele și a extrage parametri utili (unghiuri, viteze),
  - specialist IT.

Numărul de sesiuni Xsens MVN variază în funcție de obiectiv: pentru testarea fiabilității, cercetătorii folosesc adesea două sesiuni la interval de o săptămână pentru a verifica consecvența, în timp ce pentru monitorizarea tratamentului, sesiunile au loc la intervale cheie (cum ar fi momentul inițial, 3 luni, 6 luni) pentru a urmări schimbările, dar o singură sesiune oferă date bune pentru validarea mișcărilor precum mersul pe jos sau genuflexiuni. Cheia nu este un număr fix, ci planificarea sesiunilor pentru fiabilitate (sesiuni multiple) sau urmărirea progresului (sesiuni periodice).

*Efecte adverse, riscuri:* disconfort legat de markerii aplicați (frecare, iritație tegumentară), epuizare fizică, mai ales dacă pacientul efectuează multe repetări sau mișcări complexe, erori de măsurare în cazul în care activitatea interferă cu diferite câmpuri electromagnetice.

*Monitorizare:* la fiecare sesiune se colectează parametri precum traiectoriile articulațiilor, unghiuri, viteză, accelerare (prin utilizarea fluxului de date în timp real - Network Monitor sau cu ajutorul fișierelor înregistrate pentru feedback vizual asupra mișcării avatarului), verificând astfel mișcarea articulară, centrul de masă și consistența pentru analiză.

*Recomandări post-tratament:* continuarea exercițiilor la domiciliu pentru prevenirea accidentărilor, îmbunătățirea performanței și reabilitare, adesea prin compararea datelor pre și post antrenament pentru a evidenția îmbunătățiri ale echilibrului, amplitudinii de mișcare sau modelelor de mișcare.

### c) **EMG (electromiografie)**

Electromiografia este o tehnică electro-fiziologică care măsoară și înregistrează activitatea electrică generată de mușchii scheletici, ca răspuns la activarea nervoasă. Acest semnal (numit electromiogramă) reflectă nivelul de recrutare a unităților motorii și modul în care mușchii sunt coordonați în timp, atât în repaus, cât și în contracție sau mișcare. Prin plasarea de electrozi la suprafață (sEMG) sau în interiorul mușchiului (EMG cu ac), se pot analiza

caracteristici precum amplitudinea, frecvența, ordinea de recrutare, sincronizarea, informații ce sunt utile în analiza mișcării, în reabilitare, biofeedback și cercetare biomecanică.

Electromiografia de suprafață (SEMG) este una dintre cele mai vechi modalități de biofeedback și a fost folosită în cercetarea clinică încă din anii 1920, de către Edmond Jacobson, dezvoltatorul tehnicii terapeutice de relaxare musculară progresivă.

Unitatea motorie, care constă într-un grup de fibre musculare și neuronii motori care le controlează, reprezintă baza structurală a EMG. În EMG sunt utilizați trei tipuri de electrozi: electrod de tip ac, electrod cu fir fin și electrod de suprafață.

Biofeedback-ul EMG este procesul de măsurare și transformare a informațiilor fiziologice provenite de la mușchi în semnale vizuale și auditive. Antrenamentul prin biofeedback EMG are scopul de a conștientiza riscul de suprasolicitare asociat durerii musculare. Biofeedback-ul EMG poate fi utilizat pentru a crește activitatea în mușchii slabi sau paretici sau pentru a facilita reducerea tonusului în mușchii spastici (util atât în reabilitarea musculoscheletală, cât și în cea neurologică).

EMG-ul poate fi utilizat pentru a detecta activitatea electrică anormală a mușchilor, pentru a detecta slăbiciunea musculară, spre deosebire de slăbiciunea cauzată de utilizarea redusă din cauza durerii sau a lipsei de motivație și pentru a izola nivelul de iritare sau leziune a nervilor.

*Indicații:* în evaluarea funcției neuromusculare, a controlului motor sau a integrității nervilor periferici

- pentru investigarea afecțiunilor nervilor periferici:
  - neuropatii periferice (diabetice, toxice, carentiale),
  - sindroame de compresie nervoasă (sindromul de tunel carpian, tunel tarsian, neuropatie ulnară la cot, etc),
  - leziuni traumatice de nerv (secționări, întinderi, contuzii),
- evaluarea radiculopatiilor și plexopatiilor:
  - radiculopatii cervicale sau lombare (ex. în contextul herniei de disc),
  - afectări ale plexului brahial sau lombosacrat,
- diagnosticul bolilor neuromusculare:
  - boli ale neuronului motor (scleroza laterală amiotrofică),
  - boli ale joncțiunii neuromusculare (miastenia gravis – cu teste specializate),
  - poliradiculonevrite (sindrom Guillain–Barré),
- investigarea afecțiunilor musculare (miopatii):
  - distrofii musculare,
  - miopatii inflamatorii (polimiozită, dermatomiozită),
  - miopatii metabolice,

- miopatii toxice (de ex. induse de medicamente),
- analiza controlului motor și a coordonării musculare:
  - evaluarea recrutării unităților motorii în timpul mișcării,
  - detectarea asinergiilor sau coactivărilor musculare anormale,
  - analiza funcțională în activități sportive sau sarcini motorii,
- utilizarea în reabilitare și biofeedback:
  - reeducare neuromusculară după accident vascular cerebral,
  - recuperare în afecțiuni ortopedice (ex.: instabilitate de genunchi, reabilitare post-chirurgicală),
  - controlul durerii musculare prin feedback vizual sau auditiv (biofeedback EMG),
  - antrenamentul selectiv al grupelor musculare subactive sau hiperactive,
  - corectarea modelelor motorii defectuoase („gait retraining”, control postural),
- în cercetare biomecanică și sportivă:
  - analiza activării musculare în gesturi sportive (alergare, ciclism, înot),
  - evaluarea performanței și a oboselii musculare,
  - optimizarea tehnicilor de mișcare,
  - studii de ergonomie și interacțiune om-mașină.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- pacienți cu zonele acoperite de o atelă sau un aparat ghipsat,
- infecții cutanate deschise, arsuri superficiale sau grefe de piele recente,
- la nivelul extremităților afectate de limfedem,
- pacienții cu tendințe hemoragice și cei cu răspuns imunitar redus, la pacienții cu un număr de trombocite sub 50000/dL,
- se efectuează cu precauție la pacienții care iau medicamente antiplachetare sau anticoagulante (la acești pacienți, examinarea mușchilor paraspinali este în general evitată pentru a reduce riscul unui hematom în apropierea structurilor spinale),
- pacienții cu pacemakere și defibrilatoare cardiace implantate,
- stimulatoarele cerebrale profunde (DBS, *Deep Brain Stimulation*) și stimulatoarele nervului vag (VNS, *Vagus Nerve Stimulation*) interferează rar cu înregistrarea EMG, însă pot produce artefacte (unele studii recomandă dezactivarea DBS înainte de procedură pentru a reduce interferențele).

*Mod de aplicare, operare:*

- pregătirea pacientului: pacientul este poziționat confortabil, se curăță zona de aplicare și, eventual, rasă pentru electrozi; electrozii de suprafață sau cu ac sunt aplicați pe sau în mușchiul țintă; senzorii de referință sunt poziționați pentru a asigura înregistrări corecte;

- înregistrarea semnalului: testul înregistrează activitatea musculară în repaus și în contracție voluntară (minimă și maximă), se poate include stimulare nervoasă repetitivă pentru a evalua joncțiunea neuro-musculară;
- interpretarea și ajustarea: medicul specialist interpretează undele EMG în timpul înregistrării pentru a identifica modele patologice sau normale de activitate.

Durata medie a unui examen complet de EMG este de obicei 30-90 de minute, în funcție de complexitatea evaluării.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de laborator sau cameră liniștită pentru a minimiza zgomotul electric, spațiu suficient la masă sau pat pentru pacient și echipament (amplificator, computer) și zone curate de pregătire a tegumentului, asigurându-se că interferențele electrice (luminescente, contactul cu pacientul) sunt reduse la minimum pentru semnale clare, necesitând adesea echipamente specializate, cum ar fi rețele de electrozi, preamplificatoare și sisteme de achiziție de date,
- aparatura necesară realizării analizei:
  - componente hardware și software. Acesta include instrumentație digitală pentru eșantionarea datelor, stocare și procesarea semnalelor, împreună cu amplificatoare, filtre, un analizor de frecvență și un stimulator.
  - electrozi de suprafață și electrozi de tip ac pentru înregistrare și stimulare: electrozi de tip ac (de unică folosință pentru a preveni răspândirea bolilor infecțioase), în procedurile standard se folosesc ace concentrice sau ace monopolare.
  - ace concentrice: formate din 2 electrozi, cu un electrod central din platină izolat de o canulă de oțel. Vârful acului funcționează ca electrod activ, în timp ce tija acționează ca electrod de referință. Acest design ajută la obținerea unui potențial de acțiune muscular clar, prin minimizarea activității îndepărtate,
  - ace monopolare: acestea constau dintr-un nucleu de oțel inoxidabil izolat cu teflon, cu excepția vârfului, care funcționează ca electrod activ. Un electrod separat, plasat pe piele, funcționează ca electrod de referință.
  - alți microelectrozi specializați, cum ar fi cei utilizați în SFEMG, sunt rezervați unor situații specifice,
- personal calificat:
  - medic cu pregătire specifică (nu tehnician sau de o persoană care nu este medic): medicul de medicină fizică și de reabilitare, medici atestați în medicina electrodiagnostică.

*Efecte adverse, riscuri:*

- durere sau disconfort (procedura cu ac poate provoca durere la introducerea acului și la contracțiile musculare provocate de stimulare), anxietatea pacientului poate crește percepția durerii,
- hematome sau sângerare (inserția acului poate duce, în cazuri rare, la sângerare sau hematom, iar la pacienții cu tulburări de coagulare sau la cei care iau anticoagulante, riscul este mai ridicat),
- infecție (există posibilitatea infecției dacă tehnica nu este strict sterilă și poate apare celulita),
- leziuni nervoase (există risc teoretic ca acul să lezeze un nerv dacă este plasat necorespunzător),
- pneumotorax (poate apărea dacă se examinează mușchi profunzi sau de lângă cavitatea toracică cum ar fi serratus anterior sau diafragma),
- senzație de curent electric sau leșin (stimularea nervoasă poate provoca o mică senzație de șoc electric și în situații rare, pot exista microcurenți scăpați-„leakage” dacă echipamentele nu sunt corect împământate), poate uneori apare o reacție vasovagală (leșin) în timpul testului din cauza disconfortului,
- efecte psihologice sau anxietate (pacienții pot fi anxioși înainte de test, ceea ce poate amplifica disconfortul, de aici importanța consimțământului informat și explicării procedurii pentru a reduce anxietatea și percepția durerii),
- altele (riscuri teoretice precum peritonită pentru mușchi abdominali, dar acestea nu par să fi fost raportate clinic).

*Monitorizare:*

- verificarea calității semnalului (zgomot de bază scăzut, impedanță bună, zgomot minim de 50/60 Hz),
- analizarea modelelor de activare (amplitudine, frecvență, simetrie în timpul mișcării),
- urmărirea oboselii (schimbări mediane de frecvență) și utilizarea instrumentelor de inteligență artificială sau software pentru informații în timp real despre utilizarea mușchilor în scopuri de diagnosticare, recuperare sau performanță.

d) **Biofeedback** (MultiReha Vibrabalance, Balance System SD)

Biofeedbackul este o tehnică de evaluare și antrenament funcțional care utilizează senzori electronici pentru a măsura în timp real procese fiziologice (cum ar fi activitatea musculară, echilibrul, postura, ritmul cardiac sau respirația), transformând aceste informații în stimuli vizuali, auditivi sau vibro-tactili, percepuți conștient de pacient.

Biofeedbackul este o metodă comportamentală de dobândire sau îmbunătățire a controlului voluntar asupra proceselor fiziologice și o varietate de modificări ale sistemului nervos autonom și ale altor funcții interne ale corpului pot fi influențate prin această metodă. Biofeedbackul este o metodă promițătoare pentru modificarea simptomelor tulburărilor psihofiziologice și medicale, cum ar fi hipertensiunea arterială, modificările vasculare din migrenă, anomaliile neuromusculare și aritmiile cardiace.

**MultiReha VIBRAbalance** (Figura 22) este o platformă de echilibru cu funcție de vibrație și biofeedback sub formă de control prin jocuri pe calculator.



**Figura 22.** Platforma de echilibru MultiReha VIBRAbalance

Această platformă combină trei elemente cheie:

- balans (echilibru): dispozitivul este conceput pentru antrenarea echilibrului, prin mișcări de balans executate pe platformă;
- vibrație: platforma are o funcție de vibrație, ceea ce adaugă un stimul neuromuscular suplimentar, valorificând beneficiile terapiei vibraționale;
- biofeedback sub formă de jocuri pe calculator: printr-un senzor (cu Bluetooth) este conectată la un software care permite utilizatorului să controleze jocuri pe monitor, în funcție de mișcările sale pe platformă.

*Indicații:*

- reabilitarea persoanelor cu tulburări de echilibru (de exemplu, la vârstnici, pacienți neurologici, persoane cu vertij);
- antrenament sportiv (pentru îmbunătățirea stabilității, propriocepției);
- reabilitare pediatrică (datorită interfeței de joc, platforma este mai motivantă pentru copii).

*Contraindicații și măsuri de precauție:* derivă din contraindicațiile WBV, *Whole-Body Vibration*, adică vibrație a întregului corp, care este o tehnologie și metodă de antrenament și terapie în care întregul corp este expus la vibrații mecanice printr-o platformă specială, cu scopul de a stimula musculatura, echilibrul și sistemele neuromusculare

- litiază renală sau vezicală,
- tulburări de ritm,
- sarcină,
- epilepsie,
- convulsii,
- neoplazii,
- purtători de pacemaker,
- hipotensiune ortostatică netratată,
- implanturi recente (articulare, corneene, cohleare etc.),
- tromboză venoasă,
- hernii de disc,
- artrită reumatoidă în puseu,
- boli cardiovasculare grave, decompensate,
- diabet zaharat sever, dezechilibrat,
- migrene.

*Mod de aplicare, operare:* bazat pe jocuri, în care pacienții controlează acțiunile de pe ecran (colectarea pictogramelor, ghidarea unui avion) prin schimbarea greutateii și a echilibrului pe platformă, primind feedback vizual în timp real (punct roșu care arată devierea) și, de asemenea, indicii vibrotactile, ceea ce face ca antrenamentul de echilibru să fie distractiv și eficient, în special pentru persoanele cu probleme de echilibru, prin combinarea terapiei prin vibrații dovedite cu jocuri interactive pe calculator pentru provocări dinamice și imprevizibile.

*Resurse:*

- spațiul alocat este obișnuit reprezentat de spațiul standard pentru ca o persoană să stea pe platforma circulară (cu diametrul de aproximativ 42 cm) și să se miște liber, plus spațiu pentru un computer sau ecran pentru biofeedback și, eventual, spațiu pentru a utiliza centurile anti-gravitaționale pentru activarea întregului corp, asigurând suficient spațiu liber pentru mișcarea și sesiunile de terapie în siguranță, tipice pentru o clinică, o sală de sport sau o zonă de terapie la domiciliu,
- aparatura necesară realizării analizei:
  - platforma principală VIBRAbalance (o placă de echilibru specială cu vibrații integrate și control computerizat),
  - un computer pentru jocuri de biofeedback,
  - centuri anti-gravitaționale opționale pentru activarea părților superioare sau inferioare ale corpului, toate funcționând împreună

pentru a oferi terapie combinată cu vibrații și echilibru pentru antrenamentul postural și de coordonare,

- personal calificat:
  - kinetoterapeut sau fizioterapeut deoarece dispozitivul este utilizat pentru antrenamentul echilibrului, biofeedback și terapia prin vibrații, necesitând expertiză în postură, mișcare și reabilitare, adesea în combinație cu jocuri pe calculator.

*Efecte adverse, riscuri:*

- la pacienții cu leziuni ale măduvei spinării: durere, escare la nivelul picioarelor, disreflexie autonomă și amețeli, acestea fiind atribuite în mare parte perioadei de stat pasiv în picioare în cadrul intervenției,
- tulburări ale urechii interne, cefalee,
- spasticitate la nivelul membrelor inferioare,
- fracturi (în special la persoanele cu osteoporoză severă),
- afectarea implanturilor chirurgicale (plăci sau șuruburi).

*Monitorizare:* cu ajutorul sistemului de biofeedback încorporat, folosind jocuri pe calculator și feedback în timp real pe ecran (grafice sau animații) pentru a vedea cum controlează pacientul platforma în funcție de echilibrul corpului său, permițând terapeuților să urmărească progresul, să evalueze stabilitatea și să personalizeze sesiuni de terapie provocatoare și captivante pentru echilibru, postură și control dinamic.

#### *4. Tehnologii cu laser terapeutic, câmp electromagnetic, cu unde de șoc extracorporeale*

##### **Tehnologia SIS (*Super Inductive System*)**

SIS (Figura 23) este o terapie non-invazivă, fără contact, în care un câmp electromagnetic de mare intensitate este eliberat de un aplicator plasat în apropierea zonei afectate, provocând stimulare neuromusculară și contracții musculare. Este o tehnologie bazată pe un câmp electromagnetic foarte intens, care produce „depolarizare” a țesutului neuromuscular, provoacă contracții musculare, stimulează circulația și accelerarea proceselor de vindecare.

Efectele terapeutice includ: ameliorarea durerii (dureri acute și cronice ale sistemului musculo-scheletic), miorelaxare (în tratamentul tulburărilor spastice, mobilizarea articulară, reducerea blocajelor articulare, accelerarea vindecării fracturilor, edemului osos, regenerare tisulară, îmbunătățirea circulației locale).

*Indicații:* reabilitarea pacienților cu afecțiuni osteo-articulare degenerative (coxartroza, gonartroza, spondiloze), afecțiuni osteo-articulare inflamatorii (artrita reumatoidă, spondilita anchilozantă, artropatia psoriazică), afecțiuni abarticulare (bursite, periartrita scapulo-humerală, tendinoza coifului rotatorilor, epicondilita), afecțiuni ale coloanei vertebrale (herniile de disc, spondilo-discartroze, spondiloze), neuropatii periferice (neuropatia de nerv ulnar, radial, median), afecțiuni ale neuronului motor central (reducerea spasticității post-accident vascular cerebral, îmbunătățirea funcției musculare), prevenirea atrofiei musculare de imobilizare, afecțiuni posttraumatice (entorse de gleznă, genunchi, întinderi musculare, leziuni ale ligamentelor, capsulei articulare și țesutului conjunctiv, sindrom de impingement), în refacerea post-fracturi (accelerarea vindecării fracturilor osoase, stimularea regenerării osoase), osteoporoză (stimulare osoasă non-invazivă), hematoame, cicatrici cronice, exostoze calcaneene, pneumonia COVID 19.



**Figura 23.** Tehnologia SIS (Super Inductive System)

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- dispozitive electronice implantate: stimulatoarele cardiace, defibrilatoarele, pompele de insulină sau implanturile cochleare, implanturi metalice în zona tratată,
- sarcină,
- epilepsie,
- tumori benigne sau maligne în zona tratată,
- afecțiuni cardio-vasculare instabile,
- infecții active, febră,
- tulburări de coagulare, tratament cu anticoagulante,

- aplicarea în zona unei plăci epifizare.

*Mod de aplicare, operare:*

- aparatul SIS are o intensitate de până la 2,5 Tesla și frecvențe de până la aprox 150 Hz;
- se efectuează o examinare obișnuită a pacientului înainte de inițierea terapiei și se determină zona ce va fi supusă tratamentului;
- se plasează aplicatorul cu o spirală ascunsă la câțiva centimetri deasupra zonei corpului care urmează să fie tratată, fără contact cu pielea sau fără să fie necesară aplicarea de gel;
- se începe protocolul și se setează intensitatea la pragul motor al pacientului;
- parametri tehnici: frecvență (interval larg, de la ~1 Hz până la ~150 Hz), intensitatea câmpului (până la ~2,5 Tesla, uneori chiar și 3 T pentru penetrare în profunzime);
- se interzice prezența următoarelor obiecte în apropierea aplicatorului: dispozitive de transfer date (carduri de credit sau debit, unități flash USB etc.), dispozitive electronice (telefoane, tablete, ceasuri, pc-uri), materiale feromagnetice.

*Resurse:* Spațiul alocat este obișnuit reprezentat de sală de fizioterapie cu acces la priză adecvată (230-240 V), zona trebuie să permită poziționarea pacientului în decubit dorsal, ventral sau șezut și aparatul să fie poziționat la zona de tratat.

Un protocol tipic de terapie SIS implică o serie de 5-10 ședințe, zilnic sau de 2-3 ori/săptămână, urmate de o pauză de 4-6 săptămâni între serii, cu o durată a ședinței de aproximativ 10-20 minute (sau în unele protocoale 9 minute), în funcție de nevoile individuale ale pacientului, de progresul său și de planul specific de recuperare.

*Efecte adverse, riscuri:* sunt rare, procedura fiind non-invazivă - senzație de contracții musculare, ușoară oboseală musculară după ședință, ușoară înroșire sau senzație de căldură locală. Riscurile apar dacă dispozitivul este utilizat la pacienți cu contraindicații (implant electronic, sarcină, tumori active, etc).

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului: terapeutul monitorizează confortul pacientului, eventualele senzații neplăcute, cum ar fi durere, furnicături, căldură locală și ajustează intensitatea dacă pacientul simte orice fel de disconfort,
- după tratament: terapeutul evaluează reacția la nivelul zonei tratate (sensibilitate, durere, mobilitate), după un scurt interval (de 1-3 zile) pentru a observa dacă apar efecte tardive (ușoară fatigabilitate musculară), notează gradul de ameliorare (durere, funcție) și, eventual, apariția efectelor adverse.

*Recomandări post-tratament:* continuarea unui regim de kinetoterapie la domiciliu, implicarea în activități zilnice și menținerea hidratării. Pacienții își pot relua activitățile normale imediat, deoarece nu există timp de recuperare, dar este fundamental să se mențină progresele obținute în timpul tratamentului, urmând îndrumările terapeutului pentru exercițiile la domiciliu.

### **Tehnologia cu unde de șoc extracorporeale, ESWT (*Extracorporeal ShockWave Therapy*)**

Terapia cu unde de șoc extracorporeale (ESWT, *Extracorporeal ShockWave Therapy*, Figura 24) reprezintă aplicarea în scop terapeutic a undelor de șoc oscilatorii „de înaltă presiune”. Acestea au nevoie de un mediu material pentru a se propaga. Propagarea undelor de șoc (SW, *shockwave*) se face cu presiune mare: în jur de 150 megapascal (Mpa) sau 15 barr sau aproximativ 15 atmosfere. În consecință provoacă un adevărat șoc mecanic în mediile țintă, prin urmare, și-au atras numele de „unde de înaltă presiune”, „unde balistice” sau „unde de șoc”.

Terapia cu unde de șoc extracorporeale este o procedură neinvazivă în care unde acustice de mare intensitate sunt transmise în țesuturile musculo-scheletale pentru a stimula procesele biologice naturale de regenerare și vindecare fără intervenție chirurgicală.

Există două tipuri principale, în funcție de modalitățile de producere a undelor de șoc:

- ESWT focalizat (FSWT, *Focused Extracorporeal Shockwave Therapy*): pătrunde în țesuturi profunde și poate avea energie mai ridicată, acționează la nivel de celulă, frecvanța șocurilor este variabilă;
- ESWT radial (RSWT, *Radial Shockwave Therapy*): are energie mai mică și penetrare superficială, frecvența șocurilor este mică; produce efecte la nivel global, tisular.

Efecte terapeutice: analgezice, reparare tisulară, osteogeneză.



**Figura 24.** ESWST (Extracorporeal ShockWave Therapy): Focused Shockwave (A); Radial Shockwave (B)

*Indicații:*

- tendinopatii cronice cum ar fi epicondilita laterală, tendinopatia achileană, fasciită plantară,
- tendinopatii calcifiante (la nivelul umărului),
- tulburări ale metabolismului osos cu întârzieri în vindecarea osoasă (pseudartroză, întârziere de consolidare și formare a calusului osos),
- unele afecțiuni tegumentare sau ulceratiile cronice,
- spasticitate în anumite contexte clinice.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

- sarcina (tratamentul nu trebuie aplicat în aria unde se află fătul),
- tumori maligne în aria tratată sau metastaze osoase,
- tulburări severe de coagulare și tratament anticoagulant,
- plăci epifizare la copii,
- țesut pulmonar, ficat, splină, cord, vase mari, organe sexuale în câmpul de aplicare pentru focare adânci,
- pacemaker sau defibrilator în zona de tratament,
- infecție acută sau leziuni cutanate deschise,
- fracturi acute sau rupturi totale de tendon fără consolidare prealabilă,
- pe zona unei proteze totale cimentate (risc de decimentare a protezei).

*Mod de aplicare, operare:*

- pacientul este poziționat confortabil (în funcție de zona tratată),
- se aplică gel la nivelul zonei ce urmează a fi tratată pentru a asigura cuplajul acustic,
- aplicatorul este plasat pe piele și focalizat pe zona țintă,
- undele sunt eliberate în impulsuri repetate,

- manevrarea aplicatorului se face prin metoda dinamică, cu mișcări lente în ritm constant, mișcări sinusoidale, liniare, metodă care se poate combina cu metoda semimobilă prin insistarea pe zonele contracturate (miogeloze, calcificări tendinoase).

*Resurse:*

- spatiul alocat e reprezentat de ambulator, cabinet de fizioterapie sau medicină sportivă, posibil în sală de tratament sau de zi, cu acces la paturi și scaune adecvate,
- aparatură necesară:
  - generator de unde de șoc (focal sau radial),
  - aplicator ergonomic și gel de cuplaj,
  - echipament de monitorizare a pacientului,
- personal implicat:
  - medic specialist (medicină fizică și de reabilitare) pentru indicații și supraveghere
  - fizioterapeut instruit pentru setări și aplicare.

Un protocol tipic de terapie ESWT implică serie de 5-10 ședințe, zilnic sau la 2-4 zile, cu o durată a ședinței de aproximativ 4-6 minute per zonă sau 10-15 minute în aplicarea pe mai multe zone, în funcție de nevoile individuale ale pacientului, de progresul său și de planul de recuperare.

*Efecte adverse, riscuri:* eritem cutanat pronunțat, echimoze, hematoame, microfracturi de stres traumatic (calcaneu), osteonecroză aseptică, ruptură tendinoasă.

*Monitorizare:*

- în timpul tratamentului: toleranța la durere și ajustarea intensității, monitorizarea semnelor vitale dacă este necesar;
- după tratament: evaluarea durerii (ex. VAS), monitorizarea funcției și mobilității articulației, urmărirea eventualelor efecte adverse, documentare și raportare în fișa medicală.

*Recomandări post-tratament:* evitarea efortului fizic intens 24-48 h, hidratare adecvată și exerciții ușoare de mobilizare, reevaluare la 4-8 săptămâni pentru ajustarea planului de tratament.

## Bibliografie

1. Ahmed T, Islam R, Brahmi B, Rahman MH. Robustness and tracking performance evaluation of PID motion control of 7 DoF anthropomorphic exoskeleton robot assisted upper limb rehabilitation. *Sensors* 2022; 22(10): 3747.
2. Al-Amri M, Nicholas K, Button K, Sparkes V, Sheeran L, Davies JL. Inertial measurement units for clinical movement analysis: Reliability and concurrent validity. *Sensors* 2018; 18(3): 719.
3. Al-Fahaam H, Davis S, Nefti-Meziani S. The design and mathematical modelling of novel extensor bending pneumatic artificial muscles (EBPAMs) for soft exoskeletons. *Robot Auton Syst* 2018; 99: 63–74.
4. Almasi S, Ahmadi H, Asadi F, Shahmoradi L, Arji G, Alizadeh M, Kolivand H. Kinect-based rehabilitation systems for stroke patients: A scoping review. *Biomed Res Int* 2022; 2022: 4339054.
5. Alshammari DS, Salisu S. Marker-based motion capture for ergonomic risk assessment in industrial workplaces: A systematic. 2025.
6. Amirabdollahian F, Loureiro R, Gradwell E, Collin C, Harwin W, Johnson G. Multivariate analysis of the Fugl-Meyer outcome measures assessing the effectiveness of GENTLE/S robot-mediated stroke therapy. *J Neuroeng Rehabil* 2007; 4(4): 4.
7. Aprile I, Rabuffetti M, Padua L, Di Sipio E, Simbolotti C, Ferrarin M. Kinematic analysis of the upper limb motor strategies in stroke patients as a tool towards advanced neurorehabilitation strategies: a preliminary study. *Biomed Res Int* 2014; (1): 636123.
8. Arazpour M, Chitsazan A, Bani MA, Rouhi G, Ghomshe FT, Hutchins SW. The effect of a knee ankle foot orthosis incorporating an active knee mechanism on gait of a person with poliomyelitis. *Prosthet Orthot Int* 2013; 37(5): 411–4.
9. Arntz A, Weber F, Handgraaf M, Lällä K, Korniloff K, Murtonen KP *et al.* Technologies in home-based digital rehabilitation: scoping review. *JMIR Rehabil Assist Technol* 2023; 10(1): e43615.
10. Atkinson M, Tully A, Maher CA, Innes-Wong C, Russo RN, Osborn MP. Safety, feasibility and efficacy of Lokomat® and Armeo® Spring training in deconditioned paediatric, adolescent and young adult cancer patients. *Cancers* 2023; 15(4): 1250.
11. Bardi E, Gandolla M, Braghin F, Resta F, Pedrocchi AL, Ambrosini E. Upper limb soft robotic wearable devices: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 2022; 19(1): 87.
12. Baronchelli F, Zucchella C, Serrao M, Intiso D, Bartolo M. The effect of robotic assisted gait training with Lokomat® on balance control after stroke: systematic review and meta-analysis. *Front Neurol* 2021; 12: 661815.

13. Bovolenta F, Goldoni M, Clerici P, Agosti M, Franceschini M. Robot therapy for functional recovery of the upper limbs: A pilot study on patients after stroke. *J Rehabil Med* 2009; 41(12): 971–5.
14. Bressi F, Cricenti L, Bravi M, Pannunzio F, Cordella F, Lapresa M *et al.* Treatment of the paretic hand with a robotic glove combined with physiotherapy in a patient suffering from traumatic tetraparesis: A case report. *Sensors* 2023; 23(7): 3484.
15. Bressi F, Santacaterina F, Cricenti L, Campagnola B, Nasto F, Assenza C *et al.* Robotic-assisted hand therapy with gloreha sinfonia for the improvement of hand function after pediatric stroke: a case report. *Appl Sci* 2022; 12(9): 4206.
16. Burgar CG, Lum PS, Shor PC, Van der Loos HM. Development of robots for rehabilitation therapy: The palo alto VA/Stanford experience. *J Rehabil Res Dev* 2000; 37(6): 663–74.
17. Butz B, Jussen A, Rafi A, Lux G, Gerken J. A taxonomy for augmented and mixed reality applications to support physical exercises in medical rehabilitation—a literature review. *Healthcare* 2022; 10(4): 646.
18. Campanini I, Disselhorst-Klug C, Rymer WZ, Merletti R. Surface EMG in clinical assessment and neurorehabilitation: barriers limiting its use. *Front Neurol* 2020; 11: 934.
19. Carnevale A, Nicodemi G, Pisani MG, Lalli A, di Luzio FS, D’Hooghe P *et al.* Portable exoskeletons for upper limb rehabilitation: A systematic review. *J Exp Orthop* 2025; 12(3): e70416.
20. Castaldo M, De Angelis D’Ossat A, Gnessi P, Galeoto G. A systematic review on low-level laser therapy in the management of shoulder impingement syndrome. *Appl Sci* 2023; 13(6): 3536.
21. Charette C, Dery J, Blanchette AK, Faure C, Routhier F, Bouyer LJ *et al.* A systematic review of the determinants of implementation of a locomotor training program using a powered exoskeleton for individuals with a spinal cord injury. *Clin Rehabil* 2023; 37(8): 1119–38.
22. Chen C, Song Y, Chen D, Zhu J, Ning H, Xiao R. Design and application of pneumatic rehabilitation glove system based on brain-computer interface. *Rev Sci Instrum* 2024; 95(9): 095108.
23. Chen CT, Lien WY, Chen CT, Wu YC. Implementation of an upper-limb exoskeleton robot driven by pneumatic muscle actuators for rehabilitation. *Actuators* 2020; 9(4): 106.
24. Cheng Y, Shangfeng P. Virtual decomposition control of multi-degree-of-freedom rehabilitation exoskeleton robotic arm. *J Mech Eng* 2022; 58(9): 21–30.
25. Chien A, Hsieh FH, Huang C, Chang FC, Meng NH, Chou LW. The development of an emg controller-based robotic gait training system and its clinical feasibility for subacute stroke patients in improving

- locomotive function. *J Mech Med Biol* 2019; 19: 1940018.
26. Ciortea VM, Motoaşcă I, Borda IM, Ungur RA, Bondor CI, Iliescu MG *et al.* Effects of high-intensity electromagnetic stimulation on reducing upper limb spasticity in post-stroke patients. *Appl Sci* 2022; 12(4): 2125.
  27. Crea S, Cempini M, Moise M, Baldoni A, Trigili E, Marconi D *et al.* A novel shoulder-elbow exoskeleton with series elastic actuators. *Int Conf Biomed Robot Biomechatron* 2016: 1248–53.
  28. De la Corte-Rodríguez H, Román-Belmonte JM, Rodríguez-Damiani BA, Vázquez-Sasot A, Rodríguez-Merchán EC. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of musculoskeletal pain: a narrative review. *Healthcare* 2023; 11(21): 2830.
  29. De Sire A, Ammendolia A, Lippi L, Farì G, Cisari C, Invernizzi M. Percutaneous electrical nerve stimulation (Pens) as a rehabilitation approach for reducing mixed chronic pain in patients with musculoskeletal disorders. *Appl Sci* 2021; 11(9): 4257.
  30. De Sire A, Invernizzi M. Musculoskeletal rehabilitation: state-of-the-art. *Appl Sci* 2021; 11(14): 6243.
  31. Diotaiuti P, Marotta G, Vitiello S, Di Siena D, Palombo M, Langiano E *et al.* Biofeedback for motor and cognitive rehabilitation in parkinson's disease: A comprehensive review of non-invasive interventions. *Brain Sci* 2025; 15(7): 720.
  32. dos Santos Lopes G, De Freitas AMC, Fonseca AM, Silva EFE, Queiroz MGJS, Rodrigues PAM *et al.* Musculoskeletal structures in injuries, recovery and applicable treatments: A literature review. *J Adv Med Med Res* 2024; 36(7): 291-306.
  33. Du Plessis T, Djouani K, Oosthuizen C. A review of active hand exoskeletons for rehabilitation and assistance. *Robotics* 2021; 10(1): 40.
  34. Esquenazi A, Talaty M. Robotics for lower limb rehabilitation. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2019; 30(2): 385–97.
  35. Ettefagh A, Roshan Fekr A. Technological advances in lower-limb tele-rehabilitation: A review of literature. *J Rehabil Assist Technol Eng* 2024; 11: 20556683241259256.
  36. Fantini Pagani CH, Willwacher S, Benker R, Brüggemann GP. Effect of an ankle-foot orthosis on knee joint mechanics: a novel conservative treatment for knee osteoarthritis. *Prosthet Orthot Int* 2014; 38(6): 481–91.
  37. Feng S, Tang M, Huang G, Wang J, He S, Liu D *et al.* EMG biofeedback combined with rehabilitation training may be the best physical therapy for improving upper limb motor function and relieving pain in patients with the post-stroke shoulder-hand syndrome: A Bayesian network meta-analysis. *Front Neurol* 2023; 13: 1056156.
  38. Foreman MH, Engsborg JR. The validity and reliability of the Microsoft

- Kinect for measuring trunk compensation during reaching. *Sensors* 2020; 20(24): 7073.
39. Gechev A, Kane NM, Koltzenburg M, Rao DG, Van Der Star R. Potential risks of iatrogenic complications of nerve conduction studies (NCS) and electromyography (EMG). *Clin Neurophysiol Pract* 2016; 1: 62–6.
  40. Gijbels D, Lamers I, Kerkhofs L, Alders G, Knippenberg E, Feys P. The Armeo Spring as training tool to improve upper limb functionality in multiple sclerosis: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 2011; 8(1): 5.
  41. Guo Y, He M, Tong X, Zhang M, Huang L. Research on the motion control strategy of a lower-limb exoskeleton rehabilitation robot using the twin delayed deep deterministic policy gradient algorithm. *Sensors* 2024; 24(18): 6014.
  42. He F, Zhang R, Sha F, Hu Y, Zhang Z, Zheng M. Neuromuscular Electrical Stimulation Combined With Rehabilitation Training Improves Rehabilitation After Spinal Cord Injury. *Ann Ital Chir* 2025; 96(12): 1654-1660.
  43. He R, Dong Y, Li Y, Zheng M, Peng S, Tong RKY *et al*. Therapeutic and orthotic effects of an adaptive functional electrical stimulation system on gait biomechanics in participants with stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2025; 22(1): 62.
  44. Hesse S, Werner C, Pohl M, Rueckriem S, Mehrholz J, Lingnau ML. Computerized arm training improves the motor control of the severely affected arm after stroke: A single-blinded randomized trial in two centers. *Stroke* 2005; 36(9): 1960–6.
  45. Hu B, Mao B, Lu S, Yu H. Design and torque control base on neural network PID of a variable stiffness joint for rehabilitation robot. *Front Neurorobot* 2022; 16: 1007324.
  46. Hunt J, Lee H. Development of a low inertia parallel actuated shoulder exoskeleton robot for the characterization of neuromuscular property during static posture and dynamic movement. *IEEE Int Conf Robot Autom* 2019: 556–62.
  47. Ismail Hassan M, Shafiek Mustafa Saleh M, Hesham Sallam M, Hesham Elkhodary H, Mohamed Sayed M, Samy H *et al*. Extracorporeal Shock Wave Therapy versus laser therapy in treating musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci* 2025; 40(1): 194.
  48. Jackson AE, Levesley MC, Makower SG, Cozens JA, Bhakta BB. Development of the iPAM MkII system and description of a randomized control trial with acute stroke patients. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2013: 1–6.
  49. Johnson MI, Paley CA, Jones G, Mulvey MR, Wittkopf PG. Efficacy

- and safety of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis of 381 studies (the meta-TENS study). *BMJ open* 2022; 12(2): e051073.
50. Kang J, Lee H, Yu S, Lee M, Kim HJ, Kwon R *et al.* Effects and safety of transcranial direct current stimulation on multiple health outcomes: an umbrella review of randomized clinical trials. *Mol Psychiatry* 2024; 29(12): 3789-3801.
  51. Karakas H, Seebacher B, Kahraman T. Technology-based rehabilitation in people with multiple sclerosis: a narrative review. *J Mult Scler Res* 2021; 1(3): 54–68.
  52. Karunakaran KK, Gute S, Ames GR, Chervin K, Dandola CM, Nolan KJ. Effect of robotic exoskeleton gait training during acute stroke on functional ambulation. *NeuroRehabilitation* 2021; 48(4): 493–503.
  53. Kim B, Deshpande AD. An upper-body rehabilitation exoskeleton Harmony with an anatomical shoulder mechanism: Design, modeling, control, and performance evaluation. *Int J Robot Res* 2017; 36(4): 414–35.
  54. Kim DH, Shin YI, Joa KL, Shin YK, Lee JJ, You SJH. Immediate effect of Walkbot robotic gait training on neuromechanical knee stiffness in spastic hemiplegia: A case report. *NeuroRehabilitation* 2013; 32(4): 833–8.
  55. Kim SY, Yang L, Park IJ, Kim EJ, Park MS, You SH *et al.* Effects of innovative WALKBOT robotic-assisted locomotor training on balance and gait recovery in hemiparetic stroke: a prospective, randomized, experimenter blinded case control study with a four-week follow-up. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2015; 23(4): 636–42.
  56. Klein J, Spencer S, Allington J, Bobrow JE, Reinkensmeyer DJ. Optimization of a parallel shoulder mechanism to achieve a high-force, low-mass, robotic-arm exoskeleton. *IEEE Trans Robot* 2010; 26(4): 710–5.
  57. Klein J, Spencer SJ, Allington J, Minakata K, Wolbrecht ET, Smith R *et al.* Biomimetic orthosis for the neurorehabilitation of the elbow and shoulder (BONES). *IEEE RAS EMBS Int Conf Biomed Robot Biomechatron* 2008: 535–41.
  58. Knippenberg E, Verbrugghe J, Lamers I, Palmaers S, Timmermans A, Spooren A. Markerless motion capture systems as training device in neurological rehabilitation: a systematic review of their use, application, target population and efficacy. *J Neuroeng Rehabil* 2017; 14(1): 61.
  59. Krebs HI, Ferraro M, Buerger SP, Newbery MJ, Makiyama A, Sandmann M, Hogan N. Rehabilitation robotics: Pilot trial of a spatial extension for MIT-Manus. *J Neuroeng Rehabil* 2004; 1(1): 5.
  60. Krishnakumar S, van Beijnum BJB, Baten CT, Veltink PH, Buurke JH. Estimation of kinetics using IMUs to monitor and aid in clinical

- decision-making during ACL rehabilitation: a systematic review. *Sensors* 2024; 24(7): 2163.
61. LaMarca A, Tse I, Keysor J. Rehabilitation Technologies for Chronic Conditions: will we sink or swim? *Healthcare* 2023; 11(20): 2751.
  62. Lee SJ, Chun MH. Combination transcranial direct current stimulation and virtual reality therapy for upper extremity training in patients with subacute stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2014; 95(3): 431-438.
  63. Lu L, Tan Y, Klaic M, Galea MP, Khan F, Oliver A *et al.* Evaluating rehabilitation progress using motion features identified by machine learning. *IEEE Trans Biomed Eng* 2020; 68(4): 1417–28.
  64. Lum PS, Burgar CG, Van der Loos M, Shor PC, Majmundar M, Yap R. The MIME robotic system for upper-limb neuro-rehabilitation: results from a clinical trial in subacute stroke. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2005: 511–4.
  65. Luo S, Xu H, Zuo Y, Liu X, All AH. A review of functional electrical stimulation treatment in spinal cord injury. *Neuromolecular Med* 2020; 22(4): 447-63.
  66. Maas JC, Dallmeijer AJ, Oudshoorn BY, Bolster EA, Huijing PA, Jaspers RT *et al.* Measuring wearing time of knee-ankle-foot orthoses in children with cerebral palsy: comparison of parent-report and objective measurement. *Disabil Rehabil* 2018; 40(4): 398–403.
  67. Mashud G, Hasan SK, Alam N. Advances in control techniques for rehabilitation exoskeleton robots: A systematic review. *Actuators* 2025;14(3).
  68. Mat Dzahir MA, Yamamoto SI. Recent trends in lower-limb robotic rehabilitation orthosis: control scheme and strategy for pneumatic muscle actuated gait trainers. *Robotics* 2014; 3(2): 120–48.
  69. McClintock SM, Reti IM, Carpenter LL, McDonald WM, Dubin M, Taylor SF *et al.* Consensus recommendations for the clinical application of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in the treatment of depression. *J Clin Psychiatry* 2017; 79(1): 3651.
  70. Meng Q, Liu G, Xu X, Meng Q, Qin L, Yu H. A multi-degree-of-freedom reconfigurable ankle rehabilitation robot with adjustable workspace for post-stroke lower limb ankle rehabilitation. *Front Bioeng Biotechnol* 2023; 11: 1323645.
  71. Micolás O, Gil-Gregorio M, Uría-Oruezábal AM, López-González R, González-de-la-Flor Á, Giménez MJ *et al.* Gait kinematics assessed by Vicon® and quality of life correlations in multiple sclerosis patients: A cross-sectional study. *Sensors* 2025; 25(22): 6909.
  72. Mihelj M, Nef T, Riener R. ARMin II-7 DoF rehabilitation robot: Mechanics and kinematics. *IEEE Int Conf Robot Autom* 2007: 4120–5.
  73. Mousavi Hondori H, Khademi M. A review on technical and clinical

- impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. *J Med Eng* 2014; 2014(1): 846514.
74. Nam KY, Kim HJ, Kwon BS, Park JW, Lee HJ, Yoo A. Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 2017; 14(1): 24.
  75. Neblett R. Surface electromyographic (SEMG) biofeedback for chronic low back pain. *Healthcare* 2016; 4(2): 27.
  76. Noronha B, Ng CY, Little K, Xiloyannis M, Kuah CWK, Wee SK *et al*. Soft, lightweight wearable robots to support the upper limb in activities of daily living: A feasibility study on chronic stroke patients. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2022; 30: 1401–11.
  77. Nussbaum EL, Houghton P, Anthony J, Rennie S, Shay BL, Hoens AM. Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: critical review and recommendations for clinical practice. *Physiother Can* 2017; 69(5): 1-76.
  78. Olczak A, Carvalho R, Stępień A, Mróz J. The influence of therapy enriched with the Erigo® pro table and motor imagery on the body balance of patients after Stroke—A randomized observational study. *Brain Sci* 2025; 15(3): 275.
  79. Olmos-Gómez R, Calvo-Muñoz I, Gómez-Conesa A. Treatment with robot-assisted gait trainer Walkbot along with physiotherapy vs. isolated physiotherapy in children and adolescents with cerebral palsy. Experimental study. *BMC Neurol* 2024; 24(1): 245.
  80. Otten A, Voort C, Stienen A, Aarts R, van Asseldonk E, van der Kooij H. LIMPACT: A hydraulically powered self-aligning upper limb exoskeleton. *IEEE/ASME Trans Mechatron* 2015; 20(5): 2285–98.
  81. Pan J, Astarita D, Baldoni A, Dell’Agnello F, Crea S, Vitiello N *et al*. NESM- $\gamma$ : An upper-limb exoskeleton with compliant actuators for clinical deployment. *IEEE Robot Autom Lett* 2022; 7(3): 7708–15.
  82. Pan M, Yuan C, Liang X, Dong T, Liu T, Zhang J *et al*. Soft actuators and robotic devices for rehabilitation and assistance. *Adv Intell Syst* 2022; 4(4): 2100140.
  83. Patel P, Green M, Tram J, Wang E, Murphy M, Abd-Elsayed AA *et al*. (2025). Latest advancements in transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and electronic muscle stimulation (EMS): revisiting an established therapy with new possibilities. *J Pain Res* 2025: 137-153.
  84. Perry JC, Zabaleta H, Belloso A, Keller T. ARMassist: A low-cost device for telerehabilitation of post-stroke arm deficits. *World Congr Med Phys Biomed Eng* 2009; 25(9): 64–7.
  85. Plaza-Manzano G, Gómez-Chiguano GF, Cleland JA, Ariás-Buría JL, Fernández-de-las-Peñas C, Navarro-Santana MJ. Effectiveness of

- percutaneous electrical nerve stimulation for musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Pain* 2020; 24(6): 1023-1044.
86. Plooij M, Apte S, Keller U, Baines P, Sterke B, Asboth L *et al.* Neglected physical human-robot interaction may explain variable outcomes in gait neurorehabilitation research. *Sci Robot* 2021; 6(58): eabf1888.
  87. Popovic MR, Curt A, Keller T, Dietz V. Functional electrical stimulation for grasping and walking: indications and limitations. *Spinal cord* 2001; 39(8): 403-12.
  88. Porciuncula F, Roto AV, Kumar D, Davis I, Roy S, Walsh CJ *et al.* Wearable movement sensors for rehabilitation: a focused review of technological and clinical advances. *PM R* 2018; 10(9): S220–32.
  89. Qian W, Liao J, Lu L, Ai L, Li M, Xiao X *et al.* CURER: A lightweight cable-driven compliant upper limb rehabilitation exoskeleton robot. *IEEE/ASME Trans Mechatron* 2022; 28(3): 1730–41.
  90. Rakhmatillaev J, Bucinkas V, Juraev Z, Kimsanboev N, Takabaev U. A recent lower limb exoskeleton robot for gait rehabilitation: a review. *Robot Sys Appl* 2024; 4(2): 68–87.
  91. Reinkensmeyer DJ, Wolbrecht ET, Chan V, Chou C, Cramer SC, Bobrow JE. Comparison of three-dimensional, assist-as-needed robotic arm/hand movement training provided with Pneu-WREX to conventional tabletop therapy after chronic stroke. *Am J Phys Med Rehabil* 2012; 91(11): S232–41.
  92. Richardson MC, Tears C, Morris A, Alexanders J. The effects of unilateral versus bilateral motor training on upper limb function in adults with chronic stroke: A systematic review. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2021; 30(4): 105617.
  93. Rosati G, Gallina P, Masiero S. Design, implementation and clinical tests of a wire-based robot for neurorehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2007; 15(4): 560–9.
  94. Rudhe C, Albisser U, Starkey ML, Curt A, Bolliger M. Reliability of movement workspace measurements in a passive arm orthosis used in spinal cord injury rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2012; 9(1): 37.
  95. Saleh MS, Shahien M, Mortada H, Elaraby A, Hammad YS, Hamed M *et al.* High-intensity versus low-level laser in musculoskeletal disorders. *Lasers Med Sci* 2024; 39(1): 179.
  96. Sanchez RJ, Wolbrecht E, Smith R, Liu J, Rao S, Cramer S *et al.* A pneumatic robot for re-training arm movement after stroke: Rationale and mechanical design. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2005: 500–4.
  97. Scataglini S, Abts E, Van Bocxlaer C, Van den Bussche M, Meletani S, Truijen S. Accuracy, validity, and reliability of markerless camera-based

- 3D motion capture systems versus marker-based 3D motion capture systems in gait analysis: a systematic review and meta-analysis. *Sensors* 2024; 24(11): 3686.
98. Schepers M, Giuberti M, Bellusci G. Xsens MVN: Consistent tracking of human motion using inertial sensing. *Xsens Technol* 2018; 1(8): 1–8.
  99. Sehle A, Stuermer J, Hassa T, Spiteri S, Schoenfeld MA, Liepert J. Behavioral and neurophysiological effects of an intensified robot-assisted therapy in subacute stroke: A case control study. *J Neuroeng Rehabil* 2021; 18(1): 6.
  100. Sreeraj VS, Arumugham SS, Venkatasubramanian G. Clinical practice guidelines for the use of transcranial direct current stimulation in psychiatry. *Indian J Psychiatry* 2023; 65(2): 289-296.
  101. Su T, Wang M, Chen Z, Feng L. Effect of upper robot-assisted training on upper limb motor, daily life activities, and muscular tone in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis. *Brain Behav* 2024; 14(11): e70117.
  102. Szabo DA, Neagu N, Teodorescu S, Apostu M, Predescu C, Pârvu C *et al.* The role and importance of using sensor-based devices in medical rehabilitation: a literature review on the new therapeutic approaches. *Sensors* 2023; 23(21): 8950.
  103. Takebayashi T, Takahashi K, Amano S, Goshō M, Sakai M, Hashimoto K *et al.* Robot-assisted training as self-training for upper-limb hemiplegia in chronic stroke: A randomized controlled trial. *Stroke* 2022; 53(7): 2182–91.
  104. Takebayashi T, Takahashi K, Okita Y, Kubo H, Hachisuka K, Domen K. Impact of the robotic-assistance level on upper extremity function in stroke patients receiving adjunct robotic rehabilitation: sub-analysis of a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil* 2022; 19(1): 25.
  105. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Kagai Y, Okamoto Y *et al.* Shoulder joint hybrid assistive limb treatment for chronic stroke patients with upper limb dysfunction. *J Clin Med* 2023; 12(3): 1215.
  106. Tikka SK, Siddiqui MA, Garg S, Patojoshi A, Gautam M. Clinical practice guidelines for the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation in neuropsychiatric disorders. *Indian J Psychiatry* 2023; 65(2): 270-288.
  107. Trigili E, Crea S, Moisè M, Baldoni A, Cempini M, Ercolini G *et al.* Design and experimental characterization of a shoulder-elbow exoskeleton with compliant joints for post-stroke rehabilitation. *IEEE/ASME Trans Mechatron* 2019; 24(4): 1485–96.
  108. Tu X, Han H, Huang J, Li J, Su C, Jiang X *et al.* Upper limb rehabilitation robot powered by PAMs cooperates with FES arrays to realize reach-to-grasp trainings. *J Healthc Eng* 2017; 1: 1282934.

109. van Dellen F, Labruyere R. Settings matter: a scoping review on parameters in robot-assisted gait therapy identifies the importance of reporting standards. *J Neuroeng Rehabil* 2022; 19(1): 40.
110. van Hedel HJ, Rosselli I, Baumgartner-Ricklin S. Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments. *J Neuroeng Rehabil* 2021; 18(1): 29.
111. Vanoglio F, Comini L, Gaiani M, Bonometti GP, Luisa A, Bernocchi P. A Sensor-based upper limb treatment in hemiplegic patients: results from a randomized pilot study. *Sensors* 2024; 24(8): 2574.
112. Wang H, Lu J. Research on fractional order fuzzy PID control of the pneumatic-hydraulic upper limb rehabilitation training system based on PSO. *Int J Control Autom Syst* 2022; 20(1): 310–20.
113. Wang RS, Sun JN, Zheng QY, Chen L, Chen P. Therapeutic efficacy of home-based neuromuscular electrical stimulation on early postoperative functional recovery following arthroscopic rotator cuff repair: a double-blind randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2025; 26(1): 805.
114. Wang Y, Han X, Xin B, Zhao P. Innovations in upper limb rehabilitation robots: A review of mechanisms, optimization, and clinical applications. *Robotics* 2025; 14(6): 81.
115. Wu L, Xu G, Wu Q. The effect of the Lokomat® robotic-orthosis system on lower extremity rehabilitation in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol* 2023; 14: 1260652.
116. Yu S, Liu C, Ye C, Fu R. Passive and active training control of an omnidirectional mobile exoskeleton robot for lower limb rehabilitation. *Actuators* 2024; 13(6): 202.
117. Yubo Z, Zixi W, Linhong J, Sheng B. The clinical application of the upper extremity compound movements rehabilitation training robot. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2005: 91–4.
118. Zhang Y, Zhao P, Gong L, Deng X. Trajectory synthesis and sensitivity analysis of six-bar mechanism for gait implementation. *Adv Mech Mach Sci* 2023: 396–408.
119. Zimmermann Y, Forino A, Riener R, Hutter, Letters A. ANYexo: A versatile and dynamic upper-limb rehabilitation robot. *IEEE Robot Autom Lett* 2019; 4(4): 3649–56.
120. Zimmermann Y, Sommerhalder, M, Wolf M, Riener R, Hutter M. ANYexo 2.0: A fully actuated upper-limb exoskeleton for manipulation and joint-oriented training in all stages of rehabilitation. *IEEE Trans Robot* 2023; 39(3): 2131–50.
121. <https://doi.org/10.3390/robotics14060081>
122. <https://doi.org/10.1310/RYT5-62N4-CTVX-8JTE>

123. <https://doi:10.1186/1743-0003-6-20>
124. [https://www.ric.org/research/center/mars2/archives/marsrerc/ARMG\\_uide.aspx](https://www.ric.org/research/center/mars2/archives/marsrerc/ARMG_uide.aspx)
125. [https://mindworks.shoutwiki.com/wiki/Robotic\\_Arm\\_Assist](https://mindworks.shoutwiki.com/wiki/Robotic_Arm_Assist)
126. <https://exoskeletonreport.com/product/reogo/>
127. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00986-9>
128. <https://doi.org/10.3109/03091902.2015.1088094>
129. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2005.1501135>
130. <https://DOI:10.1186/1743-0003-4-4>
131. <https://DOI:10.1109/ICRA.2019.8794181>
132. <https://doi:10.1186/1743-0003-6-46>
133. <https://www.medicaexpo.com/prod/hocoma/product-68750-438436.html>
134. <https://www.hocoma.com/us/solutions/armeo-spring-2/>
135. <https://rehabpub.com/conditions/neurological/stroke-neurological/watch-a-live-demo-of-the-harmony-shr-upper-body-rehab-system/>
136. <https://DOI:10.1109/ICVR.2008.4625154>
137. <https://exoskeletonreport.com/product/gloreha-sinfonia/>
138. <https://vbrrii.it/technologies/hand-function-and-upper-limbs/gloreha-aria/>
139. <https://doi.org/10.1515/auto-2022-0113>
140. <https://doi.org/10.1109/TRO.2022.3226890>
141. <https://DOI:10.1109/BIOROB.2016.7523802>
142. [https://braceroom.com/en\\_US/p/Hkafo-Orthosis-With-Dynamic-Carbon-Foot-And-Hip-And-Knee-Rom-Adjustment/892](https://braceroom.com/en_US/p/Hkafo-Orthosis-With-Dynamic-Carbon-Foot-And-Hip-And-Knee-Rom-Adjustment/892)
143. <https://orthomerica.com/products/adult-orthoses/lower-extremity-orthoses/orlando-fracture-system/orlando-hkafo/>
144. [https://goodhouret.click/product\\_tag/89084489\\_.html](https://goodhouret.click/product_tag/89084489_.html)
145. <https://digitalpatientinformationhub.bradfordhospitals.nhs.uk/leaflets/knee-ankle-foot-orthoses/>
146. <https://www.bedfordshirehospitals.nhs.uk/patient-information-leaflets/knee-ankle-foot-orthosis-kafo/>
147. <http://medicare-alliance.com/en/product/kafo/>
148. <https://www.saloorthotics.com/product/articulated-afo/>
149. <https://bracelab.com/push-ortho-ankle-foot-orthosis-afo.html>
150. <https://www.londonorthotics.co.uk/guide/ankle-foot-orthosis/>
151. <https://www.anatomicalconceptsinc.com/praf0-ankle-foot-orthosis>
152. <https://www.neuro-robotik-zentrum.de/en/robotik-therapien>
153. <https://www.researchgate.net/figure/The-Lokomat-Hocoma-AG-Switzerland-is-a-bilateral-gait-robotic-orthosis/>
154. <https://exoskeletonreport.com/product/reoambulator/>

155. <https://www.walkbot.co.kr/en/index.php>
156. <https://www.walkbot.co.kr/en/sub/product-introduction.php>
157. <https://www.openpr.com/news/3142638/manufacture-of-robotic-rehabilitation-device-walkbot>
158. <https://www.walkbot.co.kr/en/sub/product-introduction.php>
159. <https://www.hocoma.com/us/solutions/andago/>
160. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00827-1>
161. <https://intirg.com/products/erigo-1k2vf>
162. <https://www.hocoma.com/us/solutions/erigo-2/>
163. <https://www.heller-medizintechnik.de/portfolio/tens-transcutaneous-electrical-muscle-stimulation/>
164. [https://en.wikipedia.org/wiki/Transcutaneous\\_electrical\\_nerve\\_stimulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Transcutaneous_electrical_nerve_stimulation)
165. <https://blog.elitemedicalsupply.com/neuromuscular-electrical-stimulation-nmes-for-rehabilitation>
166. <https://www.theips.co.uk/physio-treatments/functional-electrical-stimulation.html>
167. <https://nrtimes.co.uk/watershed-moment-for-functional-electrical-stimulation-od23/>
168. <https://www.decaturtms.com/neurostar-transcranial-magnetic-stimulation>
169. <https://ionclinics.com/en/techniques/transcranial-direct-current-stimulation-tcds/>
170. <https://www.elitemedtech.com/product/transcranial-direct-current-stimulation-tcds-for-adhd-therapy/>
171. <https://www.qualisys.com/video-tutorials/what-comes-with-your-system/>
172. <https://www.btsbioengineering.com/products/smart-dx-evo/>
173. <https://www.vicon.com/resources/case-studies/a-simple-motion-capture-system-delivering-powerful-results/>
174. <https://DOI:10.3389/fnhum.2017.00505>
175. <https://ro.wikipedia.org/wiki/Kinect>
176. <http://dx.doi.org/10.14257/ijbsbt.2015.7.5.29>
177. <https://multireha.com/multireha-vibrabalance/>
178. <https://www.btlmedical.com.hk/pain/en/super-inductive-system.php>
179. <https://medsunrise.en.made-in-china.com/product/fQZYFuxvgaUO/China-Super-Inductive-System-SIS-High-Intensity-Electromagnetic-Field-Eliminate-Muscle-Tension-and-Reduce-Spasticity.html>
180. <https://www.medicalsearch.com.au/btl-6000-rswt-easy-radial-swt/p/256388>
181. <https://www.btlmedical.com.hk/pain/en/product.php?modal=focused-shockwave-therapy>



## **4. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA CARDIOVASCULARĂ**

### **Definiție**

Reabilitarea cardiovasculară este considerată a fi o strategie fundamentală în prevenția secundară a bolilor cardiovasculare. Reabilitarea cardiovasculară reprezintă un program supervizat recomandat pacienților care se recuperează după un eveniment cardiovascular cu scopul de a reduce impactul negativ fizic și psihoemoțional, de a scădea mortalitatea, a preveni spitalizările recurente și de a ameliora funcția cardiovasculară, îmbunătățind astfel calitatea vieții pacientului.

Aceasta presupune un program complex coordonat de către medic și de către personalul medical auxiliar cu scopul de a reduce apariția de noi evenimente cardiovasculare. Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a definit acest program intervențional drept „suma activităților necesare pentru a influența în mod favorabil cauza subiacentă a bolii, precum și pentru a asigura cele mai bune condiții fizice, psihice și sociale posibile, astfel încât pacienții să poată, prin propriile eforturi, să păstreze sau să reia (la pierdere) un loc cât mai corespunzător în societate”.

### **Evoluția reabilitării cardiovasculare**

Reabilitarea cardiovasculară s-a dezvoltat semnificativ de-a lungul anilor, devenind o componentă obligatorie în managementul pacientului cu afecțiuni cardiovasculare. La momentul actual, practica medicală are în vedere 3 obiective principale și anume: măsurile preventive, tratamentul ghidat de diagnosticul pacientului și alocarea atenției a resurselor materiale. Programul de recuperare cardiovasculară respectă aceste obiective esențiale, incluzând nu doar elemente de recuperare fizică, ci și componente de suport social, psihologic și de evaluare și modificare a factorilor de risc care au un rol important în dezvoltarea bolilor cardiovasculare.

De-a lungul timpului, reabilitarea cardiovasculară a suferit transformări importante direct proporționale cu impactul semnificativ mai crescut al afecțiunilor cardiovasculare. Disciplina de reabilitare

cardiovasculară a trecut printr-o transformare majoră, progresând de la începuturile sale din anii 1900 până în prezent când a devenit un program interdisciplinar esențial în managementul bolilor cardiovasculare, fapt susținut de recomandările internaționale publicate recent.

Începuturile reabilitării cardiovasculare datează din anii 1900 când epidemiologul Jeremy Morris a evidențiat beneficiul adus de activitatea fizică în cazul bolnavilor cu afecțiuni cardiovasculare. Apoi, în 1940, a fost realizat primul studiu care atestă faptul că exercițiul fizic poate fi utilizat în tratamentul și controlul bolilor cardiovasculare.

Până la începutul anilor 1950, pacienților cu infarct miocardic le era recomandată o perioadă de câteva săptămâni de repaus la pat, dezvoltând secundar o atrofie musculară severă. După anul 1960, a fost implementată o terapie de recuperare pentru pacienții coronarieni, numită „terapia pe scaun”. Primul program de reabilitare cardiovasculară a fost realizat de doctorul Paul Dudley White în Boston după al-2-lea război mondial. Efectele benefice ale activității fizice au fost observate la pacienții cu boală coronariană, punctând faptul că un program de exerciții fizice aerobe personalizate poate reduce mortalitatea cu aproximativ 20% la persoanele care suferit în antecedente un infarct miocardic.

Anii 1970 au marcat o dezvoltare globală a acestei specialități medicale, testarea fizică de stres fiind utilizată pe scară largă, iar prescrierea exercițiilor fizice a fost personalizată. Primele ghiduri și protocoale standardizate au fost publicate între anii 1980-1990 și au susținut necesitatea existenței unei echipe multidisciplinare compusă din medici, kinetoterapeuți, asistente medicale, dieteticieni și psihologi, reabilitarea cardiovasculară fiind încadrată în categoria prevenției secundare.

În anii 1990 programele de recuperare au evoluat prin introducerea exercițiilor de yoga asociate cu o dietă cardioprotectivă. În anii 2000, s-au dezvoltat programele de exerciții la domiciliu, iar ulterior, în anul 2010, au apărut programele hibride, care au combinat reabilitarea cardiacă efectuată în ambulatoriu cu cea realizată la domiciliul pacientului.

Începutul secolului 21 a marcat progresia tehnologică remarcabilă în domeniul recuperării, monitorizarea pacienților realizându-se prin dispozitive la distanță și prin diferite metode de telemedicină ceea ce a îmbunătățit capacitatea de urmărire a evoluției a acestor pacienți. Mai mult, includerea inteligenței artificiale în planul de recuperare se pare că are un rol benefic în evaluarea și monitorizarea strategiilor terapeutice.

Reabilitarea cardiovasculară contemporană a devenit o etapă obligatorie în protocolul terapeutic al pacientului cu boli cardiovasculare, fiind utilizată conform recomandărilor aflate în vigoare. În prezent, este o intervenție complexă și multidisciplinară, personalizată, care include o evaluare medicală detaliată, managementul factorilor de risc, suportul

psihologic, nutrițional și de schimbare a stilului de viață a fiecărui pacient în parte. Rolul benefic al recuperării cardiovasculare este susținut de numeroase date publicate din studii clinice care au evidențiat o îmbunătățire a calității vieții, o scădere semnificativă a mortalității, precum și o diminuare a ratelor de reinternare în aceste cazuri.

## Obiective

Reabilitarea cardiovasculară are la bază atât un program de exerciții, cât și și un program educațional conceput special pentru a reface capacitatea funcțională a pacientului. Scopul acestui program recuperator este de a obține cel mai bun nivel posibil de autonomie, îmbunătățirea calității vieții și reintegrarea socio-profesională a pacientului.

Obiectivele reabilitării cardiovasculare trebuie individualizate și personalizate în funcție de afecțiune și de caracteristicile fiecărui pacient. Astfel, în scopul de a obține funcția cardiovasculară optimă, se va avea în vedere: tensiunea arterială, profilul lipidic, greutatea, indicele de masă corporală, nivelul glicemiei serice, fumatul activ/pasiv, medicația urmată, afecțiunile musculoscheletale asociate, bolile psihiatrice, apneea de somn etc.

Principalele obiective ale recuperării cardiovasculare sunt:

- Optimizarea capacității funcționale și a toleranței la efort
- Optimizarea recuperării după un eveniment cardiovascular sau procedură intervențională
- Reducerea durerii
- Prevenirea unor noi evenimente cardiovasculare prin controlul asupra factorilor de risc modificabili (fumatul, dislipidemia, hipertensiunea arterială, diabetul zaharat, sedentarismul, obezitatea, stress-ul psiho-emoțional)
- Îmbunătățirea nivelului psiho-emoțional
- Îmbunătățirea calității vieții
- Reintegrarea socio-profesională

Aceste obiective majore pot fi împărțite în 2 categorii în funcție de momentul evenimentului cardiovascular:

- Obiective pe termen scurt (imediat după evenimentul cardiovascular):
  - Controlul manifestărilor clinice cardiace
  - Creșterea capacității funcționale
  - Limitarea impactului psihologic al bolii
  - Ameliorarea statusului psihosocial și vocațional
- Obiective pe termen lung:

- Stoparea agravării bolii coronariene
- Stabilizarea / încetinirea progresiei aterosclerozei
- Scăderea riscului de moarte subită de cauză cardiovasculară
- Scăderea riscului de reinfarct/ eveniment cardiovascular major

Câteva exemple de acțiuni care fac parte din programul de recuperare cardiovasculară în funcție de obiectivul avut în vedere sunt prezentate în tabelul 1.

**Tabel 1.** Exemple de acțiuni de recuperare în funcție de obiectivul propus

<b>Obiectiv</b>	<b>Acțiune</b>
Optimizarea capacității funcționale	Plan de exerciții fizice individualizat Exerciții aerobe Exerciții fizice de rezistență / flexibilitate / echilibru
Scăderea riscului de evenimente cardiovasculare majore	Exerciții fizice personalizate Dietă Stoparea fumatului Tratament medicamentos specific
Optimizarea recuperării imediat după un eveniment cardiovascular	Exerciții fizice precoce în funcție de capacitatea de efort Suport psihologic/ emoțional

## Indicații

Programul de reabilitare cardiovasculară trebuie individualizat în funcție de patologia pacientului și de capacitatea de efort a acestuia, fiind realizat după o evaluare amănunțită împreună cu medicul cardiolog curant. Se recomandă efectuarea unei anamneze complete, a unui istoric detaliat al bolii cardiace, un examen clinic atent și investigații paraclinice complexe. Cu toate că se promovează postulatul „exercițiul fizic într-un program de reabilitare cardiacă presupune puțin risc și multe beneficii dovedite” întotdeauna trebuie avut în vedere riscul pacientului, precum și indicațiile sau contraindicațiile acestor programe recuperatorii.

Reabilitarea cardiovasculară se recomandă a fi efectuată în următoarele situații:

- Afecțiuni cardiace:
  - infarct miocardic acut
  - pacienți cu status post implantare de stent coronarian
  - cardiopatie ischemică cronică

- angină pectorală stabilă
- insuficiență cardiacă clasa I/II NYHA (și în stadiile avansate, însă compensate hemodinamic și sub atentă supraveghere în spital)
- hipertensiunea arterială esențială/secundară
- implantare de stimulator cardiac
- valvulopatii fără indicație chirurgicală
- status post TAVI (implantarea transcater a valvei aortice)
  
- Afecțiuni post chirurgie cardiovasculară:
  - valvulopatii operate
  - chirurgia arterei aorte ascendente, toracice sau abdominale
  - by-pass aorto-coronarian
  - arteriopatie obliterantă operată
  - transplant cord/plămân
  - afecțiuni cardiace congenitale operate
  
- Afecțiuni vasculare:
  - arteriopatie obliterantă neoperată (stadiul I și II)
  - insuficiență venoasă cronică

Situațiile medicale care contraindică efectuarea exercițiilor de reabilitare cardiovasculară sunt:

- sindromul coronarian acut / angina instabilă
- aritmia ventriculară complexă
- hipotensiunea arterială ortostatică
- stenoza aortică severă/simptomatică
- patologie inflamatorie/infecțioasă necontrolată
- tahicardia sinusală necontrolată peste 120 bătăi/minut
- stenoza aortică severă simptomatică
- insuficiența cardiacă congestivă acută decompensată
- tromboembolism pulmonar recent /tromboflebită recentă
- hipertensiune pulmonară severă (presiune ventricul drept peste 60 mmHg)
- trombi intracavitari
- diabet zaharat dezechilibrat (peste 400 mg/dl glicemie)
- patologie musculoscheletală care împiedică efectuarea exercițiului fizic

Indicațiile reabilitării cardiovasculare se bazează pe clase de recomandări internaționale (I-III), cât și pe nivelurile de evidență (A, B, C) în funcție de studiile din care provin datele analizate. Astfel, clasa I se referă

la dovezi și/sau acord general potrivit cărora un tratament sau o procedură este benefic(ă), util(ă) sau eficient(ă); clasa II susține faptul că există dovezi contradictorii și/sau divergență de opinie privind utilitatea/eficacitatea unui tratament sau procedură. Nivelul de evidență A punctează faptul că datele provin din multiple studii clinice randomizate sau meta-analize, iar nivelul B se referă la date provenite de la un singur studiu clinic randomizat sau mai multe studii mari non-randomizate. Tabelul 2 sumarizează indicațiile reabilitării cardiovasculare în funcție de nivelul de evidență.

**Tabel 2.** Indicațiile reabilitării cardiovasculare în funcție de nivelul de evidență

Afecțiuni	Clasă de recomandare	Nivel de evidență
Sindrom coronarian acut	I	A
Sindrom coronarian cronic	I	B
Revascularizare chirurgicală	I	B
Insuficiență cardiacă cu fracție de ejecție redusă/prezervată	I	A

## Fazele programului de reabilitare cardiovasculară

Programul de reabilitare cardiovasculară este o procedură medicală complexă care presupune 3 etape (faze) diferite în funcție de momentul inițierii după evenimentul cardiovascular acut și are în vedere starea fizică a pacientului, precum și evoluția ulterioară a acestuia. Mobilizarea precoce a pacientului este esențială pentru o recuperare clinică satisfăcătoare, obiectivul principal fiind optimizarea funcției cardiace. Se vor lua în considerare parametrii cardiovasculari specifici (scăderea debitului cardiac, aritmiile, fluctuațiile hemodinamice etc) și ameliorarea funcției fizice, folosind o abordare progresivă în scopul de a facilita sincronizarea randamentului cardiac cu sistemul vascular periferic și musculoscheletal.

Reabilitarea cardiovasculară presupune 3 faze (etape) importante, fiecare având obiective specifice și fiind obligatoriu de parcurs în cadrul procesului complex de reabilitare după evenimentele cardiovasculare acute:

- **Faza 1 – faza clinică (inpatient)** - se inițiază imediat după spitalizarea pacientului, în primele 24 de ore. Această fază începe în cadrul spitalizării, după un eveniment cardiovascular acut sau după o intervenție chirurgicală. O evaluare inițială presupune cuantificarea capacității fizice și motivația pacientului de a tolera reabilitarea cardiacă. Kinetoterapeuții și asistentele medicale realizează exerciții fizice ușoare la patul

pacientului pentru a menține mobilitatea și a preveni complicațiile asociate spitalizării. Echipa de reabilitare evaluează activitățile zilnice ale pacientului, îl informează cu privire la gestionarea stresului și asigură o odihnă adecvată pe parcursul spitalizării. Trebuie să fie evaluate cu atenție comorbiditățile pacientului care necesită dispozitive speciale de asistență, se realizează educație familială și se planifică detaliile externării.

- **Faza 2 – outpatient** - începe imediat după externarea pacientului din spital și se realizează în ambulatorii specializate sau la domiciliul acestuia. Reprezintă un program de reabilitare supravegheată și durează între 3 și 6 luni. O evaluare inițială identifică posibii factori sau comorbidități care pot limita programul de exerciții fizice prescris. Se elaborează un plan de terapie structurat, centrat pe pacient, care include educație, antrenament individualizat și tehnici de relaxare. Această fază își propune să promoveze independența și schimbările majore în stilul de viață a pacientului, pregătindu-l pentru recuperarea pe termen lung la domiciliu.
- **Faza 3 – de menținere** a unei funcții cardiovasculare în parametri funcționali pe tot parcursul vieții se realizează de regulă neinstituționalizat, la domiciliul pacientului. Presupune un program de reabilitare pe termen lung ce implică servicii specializate la domiciliu. Această fază pune accent pe independență și automonitorizare, concentrându-se pe flexibilitate, forță și exerciții fizice de tip aerob. Pacienții primesc îndrumări cu privire la menținerea unui stil de viață activ și continuarea programului de exerciții fizice. Vizitele regulate în ambulatoriu la medicii specialiști permit o monitorizare atentă a funcției cardiovasculare, ajustarea medicației de fond și consolidarea unui stil de viață sănătos. În timpul acestei faze se pot implementa intervenții pentru a preveni reparația evenimentelor cardiovasculare acute.

Tabelul 3 sumarizează principalele caracteristici ale celor 3 etape ale procesului de reabilitare cardiovasculară.

**Tabel 3.** Caracteristicile celor 3 faze de reabilitare cardiovasculară

<b>Fază reabilitare</b>	<b>Loc desfășurare</b>	<b>Tip de intervenție</b>
Faza 1 (inpatient)	Spital (terapie intensivă / saloane)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- exerciții fizice ușoare la patul pacientului pentru a menține mobilitatea și a preveni complicațiile asociate spitalizării</li> <li>- evaluare clinică, paraclinică, comorbidități</li> <li>- educația pacientului</li> </ul>
Faza 2 (outpatient)	Ambulatorii specializate  Domiciliul pacientului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- program de reabilitare supravegheat (3-6 luni)</li> <li>- antrenament fizic individualizat și tehnici de relaxare</li> <li>- promovează independența și schimbările majore în stilul de viață</li> </ul>
Faza 3 (de menținere)	Ambulatorii specializate  Domiciliul pacientului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- se pune accent pe independență și automonitorizare, pe flexibilitate, forță și exerciții fizice de tip aerob</li> <li>- vizite regulate în ambulatoriu la medicii specialiști</li> <li>- intervenții pentru a preveni reapariția evenimentelor cardiovasculare acute</li> </ul>

#### **4.1. Faza 1 (inpatient) a reabilitării cardiovasculare**

Reprezintă primul pas în procesul de reabilitare cardiovasculară și se realizează în spital, imediat după apariția evenimentului cardiovascular acut. Durează pe toată perioada spitalizării pacientului și se realizează atât în cadrul secției de terapie intensivă, cât și în saloanele aferente clinicilor medicale.

Scopul principal al acestei etape este de a stabiliza pacientul din punct de vedere medical și de a iniția procesul de recuperare într-un mediu sigur, controlat, pregătindu-l pentru tranziția spre domiciliul de reședință și spre programele de reabilitare specializate incluse în faza 2 de reabilitare.

Obiectivele fazei 1 de reabilitare cardiovasculară includ:

- stabilizarea clinică a pacientului
- monitorizarea precoce și complexă a pacientului - monitorizarea funcțiile vitale (tensiune arterială, ritm cardiac, saturație de oxigen)
- mobilizarea precoce și prudentă a pacientului în funcție de capacitatea de efort a acestuia

- menținerea mobilității articulare
- menținerea tonusului muscular
- asigurarea capacității de autoîngrijire
- educația pacientului - instrucțiuni individualizate privind dieta, medicația, activitățile permise și recunoașterea simptomelor bolii
- prevenirea complicațiilor timpurii asociate imobilizării prelungite la pat
- suport psihologic în vederea îmbunătățirii calității vieții și a aderenței la tratament

Această etapă inițială după un eveniment cardiovascular acut, major, se poate asocia cu o instabilitate hemodinamică importantă, fiind necesară o monitorizare atentă și continuă a pacientului. Pacienții pot dezvolta tulburări de ritm și de conducere cardiacă severe, amenințătoare de viață, sau pot prezenta modificări respiratorii asociate afecțiunii cardiovasculare.

Echipa medicală din faza 1 necesită o componență multidisciplinară, fiind alcătuită din:

- medic cardiolog
- medic de medicină fizică și de reabilitare
- asistente medicale
- kinetoterapeut, fizioterapeut, maseur
- psiholog
- nutriționist / dietetician

Cele mai importante componente ale fazei 1 de reabilitare sunt:

- evaluarea și monitorizare medicală continuă: personalul medical (medici cardiologi, asistente medicale) urmărește constant semnele vitale ale pacientului (ritm cardiac, tensiune arterială, saturație de oxigen) pentru a se asigura că starea acestuia este stabilă și pentru a preveni complicațiile precoce ale bolii
- mobilizarea precoce și progresivă: activitatea fizică ușoară este esențială, fiind realizată în funcție de capacitatea cardio-pulmonară a pacientului; implică: exerciții ușoare la pat, urmate de ridicarea din pat în scaun, ulterior de plimbări scurte pe holul spitalului, de obicei sub supravegherea personalului medical sau a unui fizioterapeut. Intensitatea este foarte redusă și adaptată stării clinice a fiecărui pacient.
- educație inițială pentru pacient și familie: se oferă informații de bază despre afecțiunea cardiacă, despre procesul de recuperare, medicamentele prescrise și importanța adoptării unui stil de viață sănătos
- consiliere nutrițională inițială: se prezintă noțiunile de bază privind dieta, cum ar fi reducerea aportului de sare sau grăsimi; se educă pacientul despre importanța reducerii și stopării consumului de alcool; se punctează rolul esențial al opririi fumatului

- planificarea externării și a inițierii fazei 2 din programul de reabilitare cardiovasculară: echipa medicală evaluează starea pacientului și face recomandările specifice pentru continuarea reabilitării cu faza ambulatorie, stabilind un plan de exerciții și un set de obiective inițiale la domiciliu.

**Tehnologiile medicale utilizate în această fază 1** a reabilitării cardiovasculare sunt, în principal, cele necesare pentru monitorizarea vitală continuă și pentru managementul acut al stării pacientului, accentul fiind pus pe echipamentele de monitorizare clinică.

**Echipamentele de monitorizare vitală continuă** sunt esențiale pentru a asigura siguranța pacientului în timp real, pe măsură ce starea sa se stabilizează și începe mobilizarea ușoară. Din această categorie fac parte:

- electrocardiograful
- electrocardiograful cu monitorizare Holter
- tensiometrele manuale / automate
- monitorizarea tensiunii arteriale pe 24 ore (ABPM)
- pulsoximetrul
- monitorul pentru funcțiile vitale
- aparatul de capnografie (doar în secțiile de terapie intensivă)
- tehnicile de telemetrie

## **Electrocardiograful**

Electrocardiograful este aparatul utilizat pentru a înregistra activitatea electrică a cordului prin folosirea unor electrozi de suprafață. Este o investigație nedureroasă și neinvazivă care, prin intermediul acestor electrozi, detectează curenții de depolarizare și repolarizare cardiaci care ulterior vor fi reprezentați grafic pe o hârtie milimetrică. Impulsurile electrice captate de electrozi sunt foarte slabe și necesită amplificare. Electrocardiograful utilizează amplificatoare diferențiale pentru a măsura diferențele de potențial dintre perechile de electrozi.

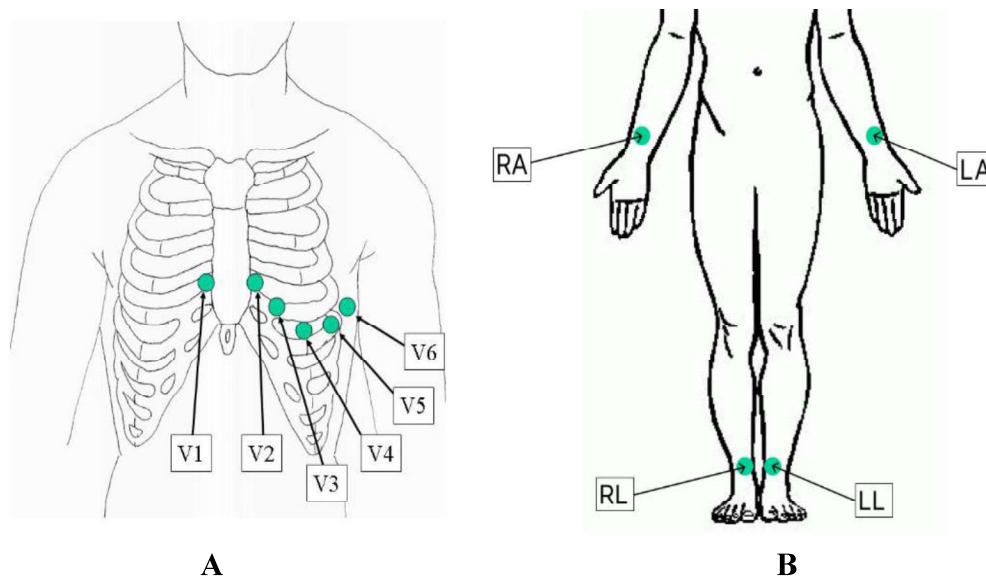
Electrozii sunt plasați pe toracele pacientului, la nivelul pumnului și gleznelor bilateral. În total sunt înregistrate 6 derivații dintre care 6 ale membrelor (frontale) și 6 precordiale (ale planului orizontal).

Derivațiile membrelor pot fi unipolare și bipolare. Derivațiile unipolare folosesc un singur electrod explorator, al doilea fiind electrodul indiferent. Derivațiile bipolare utilizează 2 electrozi exploratori aflați la distanță egală de cord și care înregistrează diferențele de potențial.

Punctele de fixare ale electrozilor pe torace sunt desemnate prin convenție. Standard sunt utilizați 6 electrozi. Cele 6 puncte toracice standard de fixarea electrozilor sunt:

- punctul 1 (V1) - spațiul 4 intercostal parasternal drept
- punctul 2 (V2) - spațiul 4 intercostal parasternal stâng
- punctul 3 (V3) – la jumătatea distanței între punctele 2 și 4
- punctul 4 (V4) - spațiul 5 intercostal stâng pe linia medioclaviculară
- punctul 5 (V5) - spațiul 5 intercostal stâng pe linia axilară anterioară
- punctul 6 (V6) - spațiul 5 intercostal stâng pe linia axilară medie

Figura 1 ilustrează zonele de plasare ale electrozilor pentru derivațiile membrelor și pentru cele precordiale.



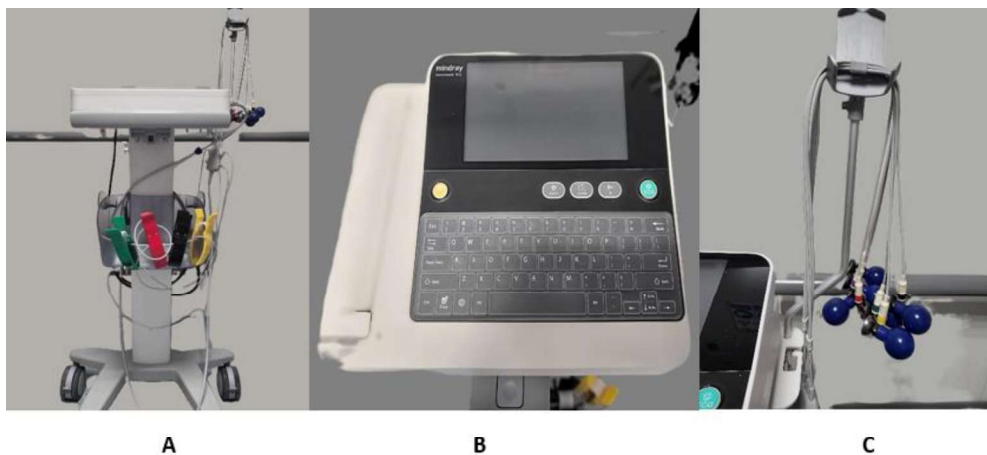
**Figura 1.** Zonele de plasare a electrozilor pentru realizarea electrocardiogramei. A – derivațiile precordiale (V1 – V6). B – derivațiile membrelor (derivații frontale); RA = right arm, LA = left arm, RL = right leg, LL = left leg (figură adaptată după <https://www.medicalcorp.ro/info/ekg-ce-trebuie-sa-stii> , accesat pe data de 26/11/2025)

Electrocardiograful este alcătuit din următoarele elemente:

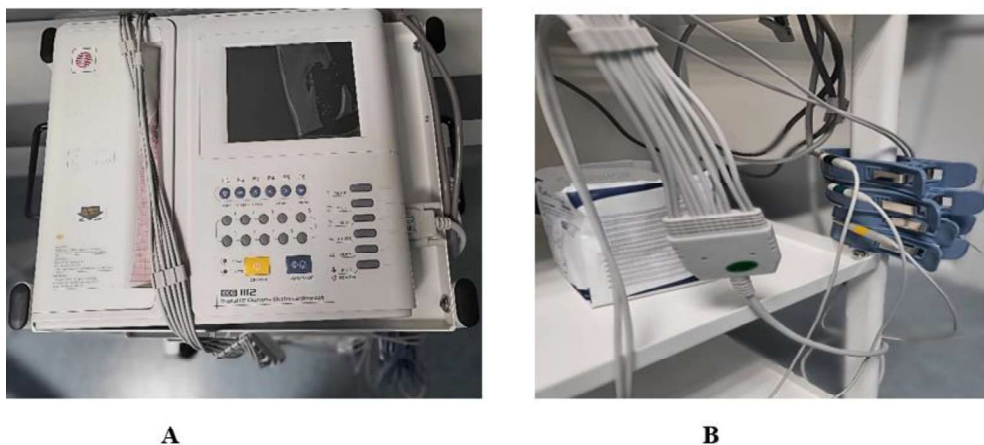
- electrozi: dispozitive plasate pe pielea pacientului care captează semnalele electrice ale cordului
- cabluri: conectează electrozii montați pe pacient la electrocardiograf
- amplificator: crește intensitatea semnalelor electrice captate de electrozi pentru a fi înregistrate și analizate
- filtre: elimină zgomotul și interferențele pentru a asigura o înregistrare clară

- convertor analog-digital: transformă semnalele electrice amplificate într-un format digital pentru a fi afișate pe hârtia milimetrică
- monitor: afișează electrocardiograma în timp real
- sistem de înregistrare: stochează datele pentru analize ulterioare

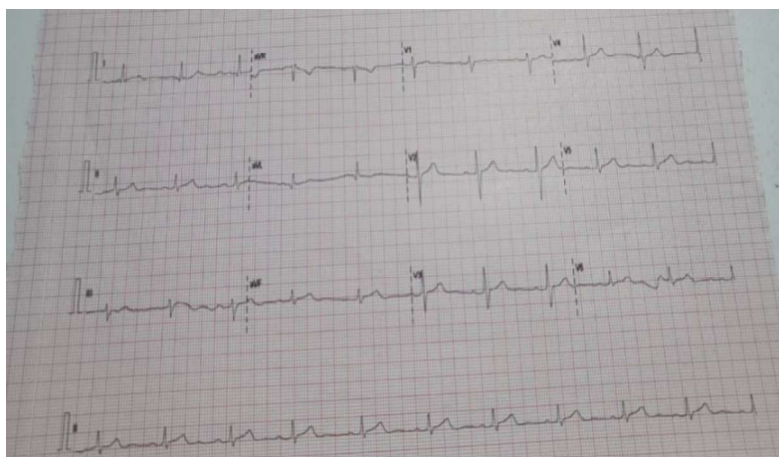
Figura 2 și figura 3 prezintă principalele componente ale electrocardiografelor aflate în gestiunea Clinicii Reumatologie I din cadrul Spitalului Clinic de Recuperare Iași. În figura 4 este ilustrată o electrocardiogramă realizată pe hârtie milimetrică care include cele 6 derivații precordiale și cele 4 derivații ale membrilor.



**Figura 2.** Electrocardiograf. A. Monitor, electrozi pentru derivațiile precordiale și pentru derivațiile membrilor, cabluri de conectare. B. monitorul aparatului de tip Mindray BeneHeart R12 (înregistrare 12 derivații). C. electrozi pentru derivațiile precordiale sub formă de ventuze

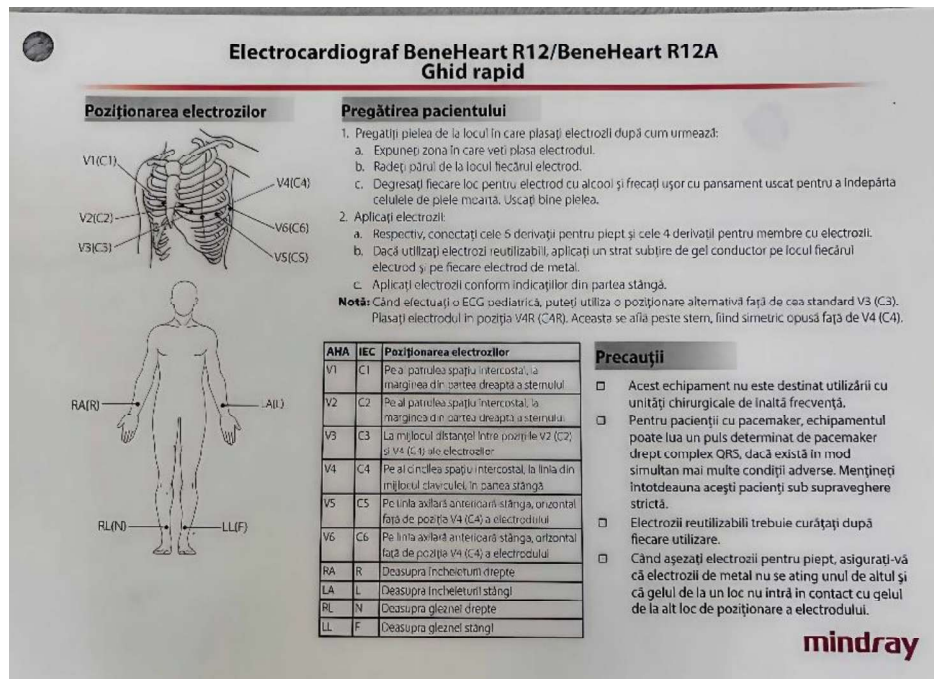


**Figura 3.** Electrocardiograf. A. Monitor Digital 12 Channels Electrocardiograph. B. Cabluri de conectare și electrozi pentru derivațiile membrelor sub formă de clipsuri



**Figura 4.** Eletrocardiograma înregistrată pe hârtie milimetrică la viteza de 25 mm/h. Sunt reprezentate grafic derivațiile membrelor (D I, D II, D III) și derivațiile precordiale (V1-V6) prin captarea și amplificarea de către aparat a impulsurilor electrice ale cordului

Electrocardiograful BeneHeart R12 include și un ghid rapid pentru efectuarea electrocardiogramei care conține indicații privind poziționarea electrozilor și pregătirea corespunzătoare a pacientului (figura 5).



**Figura 5.** Ghid rapid pentru efectuarea electrocardiografei asociat electrocardiografului BeneHeart R12

Pregătirea pacientului pentru efectuarea electrocardiografei presupune următoarele etape :

- pacientul va fi așezat pe pat în decubit dorsal, într-o încăpere liniștită, cu o temperatură ambientală optimă
- se expune zona unde va fi plasat electrozul
- se rade părul de pe suprafața cutanată de plasare a electrozilor
- se degresează tegumentul cu alcool, apoi se usucă cu un pansament
- se conectează electrozii conform schemei incluse în ghid
- în situația în care sunt folosiți electrozi reutilizabili se va aplica un strat subțire de gel conductor pe locul fiecărui electrod și pe fiecare electrod de metal
- electrozii vor fi curățați după fiecare utilizare

Efectuarea electrocardiografei este indicată în următoarele situații:

- durere precordială / toracică
- palpitații
- amețea sau vertij
- stări lipotimice
- fatigabilitate importantă, oboseală inexplicabilă
- tulburări respiratorii (dispnee)

- durere în epigastru brusc instalată
- aritmii cardiace
- infarct de miocard
- blocuri atrio-ventriculare
- cardiomiopatii
- dezechilibre metabolice și electrolitice
- screening de rutină

Electrocardiograma se efectuează de către personalul medical tuturor pacienților internați, fiind o investigație inclusă în protocolul de evaluare a funcției cardiovasculare. Este utilă a fi realizată în următoarele situații:

- diagnosticarea afecțiunilor cardiace
- monitorizarea evoluției bolilor cardiace
- evaluarea răspunsului la tratament
- monitorizarea dispozitivelor cardiace implantate
- evaluarea preoperatorie
- screening-ul de rutină în cazul pacienților care prezintă factori de risc cardiovasculari (sindrom metabolic, dislipidemii, hipertensiune arterială, diabet zaharat, istoric familial de afecțiuni cardiovasculare)

## **Electrocardiograful cu monitorizare Holter**

Electrocardiograful cu monitorizare Holter este un dispozitiv portabil, alimentat cu baterii, care înregistrează continuu activitatea electrică a inimii pentru 24 - 48 de ore, timp în care pacientul își desfășoară activitățile zilnice normale. Aparatul este montat la indicația medicului specialist pentru a înregistra eventualele modificări de ritm cardiac care nu pot fi detectate în cursul efectuării unei electrocardiograme obișnuite.

Aparatul de monitorizare Holter a electrocardiogramei are în structură următoarele componente:

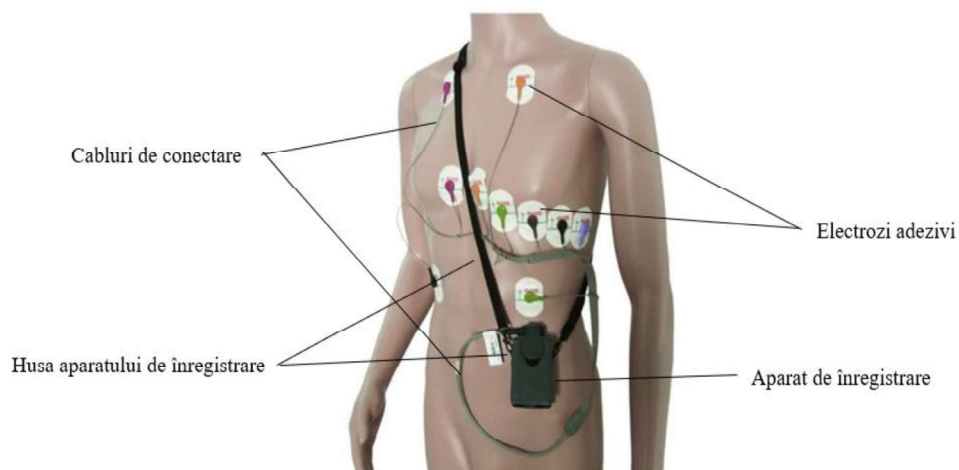
- aparatul de înregistrare - reprezintă o unitate mică, portabilă, alimentată de baterii care conține un card de memorie sau un mediu de stocare digitală unde vor fi salvate datele acumulate pe toată perioada înregistrării
- cabluri - conectează aparatul de înregistrare la electrozi; lungimea și numărul acestora poate varia ( 3, 5 sau 7 cabluri), în funcție de numărul de canale de monitorizare necesare

- electrozi adezivi - plasturi mici, de unică folosință, care se lipesc direct pe toracele pacientului ; conțin un gel conductor care ajută la captarea semnalelor electrice
- husa dispozitivului de înregistrare – aparatul va fi purtat de către pacient într-o husă (la gât sau la curea) pe toată perioada înregistrării (zi și noapte)
- software de analiză - program special aflat pe computerul medicului la care se conectează aparatul de înregistrare; este utilizat pentru a descărca, vizualiza și analiza datele înregistrate pe durata purtării dispozitivului și pentru a genera un raport detaliat al activității cardiace
- jurnalul pacientului – este esențial în analiza datelor, chiar dacă nu reprezintă o componentă electronică; pacientul notează activitățile desfășurate și orele la care a simțit apariția unor simptome precum palpitații sau durere precordială

Principiul de funcționare al unui electrocardiograf Holter este relativ simplu și include mai multe etape :

- detectarea impulsurilor electrice ale cordului de către electrozii plasați pe toracele pacientului; aceștia captează semnalele electrice de la nivelul pielii prin intermediul gelului conductor
- transmiterea și amplificarea semnalelor electrice la aparatul de înregistrare
- înregistrarea, digitalizarea semnalelor electrice și stocarea continuă a datelor pe un mediu de stocare digital (un card de memorie)
- analiza datelor – descărcarea datelor pe un computer care conține un program special de vizualizare, un software avansat care analizează automat miile de înregistrări ale activității cardiace
- interpretarea medicală a datelor – se realizează de către un medic specialist care corelează datele obiectivate cu simptomele notate de pacient în jurnal pe toată perioada investigației

În figura 6 este ilustrat un electrocardiograf Holter și principalele componente necesare pentru o monitorizare corectă (figură adaptată după [CardiocenterIasi/photos/monitorizare-holter-ekgmonitorizarea-holter-ekg-permite-%25C3%25AEnregistrareaelectrocar/796748877087923/?locale=ro](https://www.cardiocenteriasi/photos/monitorizare-holter-ekgmonitorizarea-holter-ekg-permite-%25C3%25AEnregistrareaelectrocar/796748877087923/?locale=ro), site accesat în data de 29.11.2025).



**Figura 6.** Componentele electrocardiografului Holter

Pregătirea pacientului pentru montarea unui dispozitiv electrocardiograf Holter este un proces simplu și rapid. Este esențială aderența bună a electrozilor. Pacientul trebuie să înțeleagă modul de funcționare și utilizare a aparatului.

Înainte de montarea aparatului (acasă) pacientul trebuie să aibă în vedere:

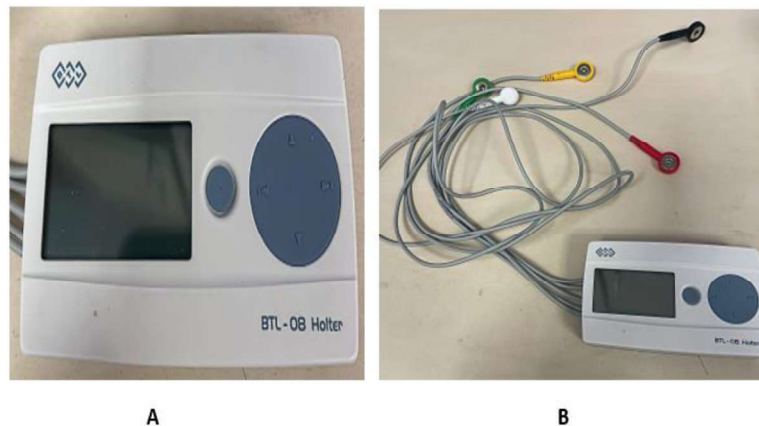
- igienă corporală riguroasă – tegumentul toracelui trebuie să fie curat, fără loțiuni, uleiuri, creme sau pudră, deoarece acestea pot împiedica aderența electrozilor și pot afecta calitatea semnalului electric
- se rade părul de pe torace (dacă este necesar) - părul aflat sub electrozi poate cauza artefacte (interferențe) în înregistrare
- îmbrăcăminte adecvată - pacientul este sfătuit să poarte haine lejere, din două piese care pot fi date jos sau ridicate ușor pentru a permite accesul la torace în timpul montării ; de asemenea, hainele trebuie să fie suficient de largi pentru a ascunde aparatul Holter și cablurile sale

În timpul montării aparatului se vor avea în vedere următoarele:

- curățarea tegumentului - se vor curăța și degresa suplimentar zonele specifice de pe torace unde vor fi aplicați electrozii folosind alcool sanitar sau un gel abraziv ușor pentru a se asigura un contact stabil
- montarea electrozilor în zonele standard și conectarea cablurilor la aparatul de înregistrare care va fi fixat într-o husă specială la gât sau la cureauă

- instruirea pacientului - pacientul este instruit să nu ude aparatul ; i se explică cum să completeze corect jurnalul, notând ora exactă, activitatea desfășurată și simptomele resimțite ; este informat când trebuie să revină pentru demontarea dispozitivului

Figura 7 ilustrează un electrocardiograf Holter de tip BTL-08 HOLTER.



**Figura 7.** Electrocardiograf Holter de tip BTL-08 HOLTER. A. Unitate centrală de înregistrare. B. Aparat de stocare a datelor și cablurile de conectare

Monitorizarea electrocardiografică Holter este recomandată atunci când există suspiciuni de apariție a unor aritmii cardiace care nu pot fi surprinse printr-o electrocardiogramă standard de repaus. Astfel, se indică în următoarele situații:

- palpitații
- amețeli, vertij
- sincopă
- disconfort toracic / durere precordială
- tulburări de respirație, dispnee
- oboseală, fatigabilitate importantă
- diagnosticul aritmiilor cardiace specifice: tahicardii, bradicardii, fibrilație atrială, flutter atrial, bătăi ectopice
- evaluarea răspunsului la medicația antiaritmică
- monitorizarea dispozitivelor cardiace implantabile
- evaluarea riscului de a dezvolta un eveniment cardiovascular acut

Un raport final rezultat în urma acestei investigații este un document complex și detaliat, generat de software-ul de analiză și revizuit de către medic. Raportul conține o sinteză a mii (sau zeci de mii) de bătăi cardiace înregistrate pe durata monitorizării. Elementele cheie conținute în raport sunt:

- numărul total ale bătăilor cordului
- frecvența cardiacă maximă / minimă / medie
- indexul circadian al frecvenței cardiace
- episoadele de tahicardie / bradicardie
- prezența pauzelor (intervalul RR maxim) și a asistolelor
- prezența episoadelor de fibrilație atrială / flutter atrial
- evaluarea segmentului ST – supra/subdenivelare
- ectopia ventriculară – tahicardie ventriculară, triplete, cuplete, bigeminism, trigeminism
- ectopie supraventriculară – tahicardie supraventriculară, triplete, cuplete

În figura 8 este prezentat un raport de analiză a unui pacient după 24 ore de folosire a unui electrocardiograf Holter.

Ritm cardiac		Ectopie ventriculară	
Total bătăi	92 677 (0% paced)	V Total	23 (< 1%)
HR max / min	116 / 49 bpm	V / Ora Max	10 pe oră
Media HR	0 63 bpm	Episoade Tahicardie V	-
HR Max / Min Sinus	116 / 49 bpm	Cea mai rapidă Tahicardie V	-
Media HR (Trecez/Adormit)	67 / 56 bpm	V Cea mai lungă secvență	-
Index circadian	1.20	Triplete / Execută	0 Z 0 bătăi
Tahicardie / Bradicardie	< 1% / 51%	Cuplete	0 Z 0 bătăi
Pauze		Bigeminism	0 Z 0 bătăi
RR Max	1 546 ms	Trigeminism	0 Z 0 bătăi
Pauze (>2000ms)	0	Ectopie supraventriculară	
Fibrilație atrială / Flutter atrial		S Tot	283 (< 1%)
Total AF	-	Episoade Tahicardie SV	-
AF HR Max	0 bpm	Cea mai rapidă Tahicardie SV	-
Cel mai lung AF	-	S Cea mai lungă secvență	0 96 bpm 2. sec
Bradycardie		Triplete / Execută	22 Z 80 bătăi
Cea mai mică	0 52 bpm 00:54:14	Cuplete	21 Z 42 bătăi
Cea mai mare	0 56 bpm 01:03:34	ST	
ST		St ridicare max	-
		ST depresurare max	-

**Figura 8.** Raport de analiză electrocardiograf cu monitorizare Holter pe 24 ore

## Tensiometrul manual / automat

Tensiometrul este un dispozitiv medical utilizat pentru măsurarea și monitorizarea valorii tensiunii arteriale. Există 2 categorii de tensiometre folosite în practica clinică:

- tensiometre mecanice (manuale) – folosite de cadrele medicale deoarece necesită utilizarea unui stetoscop și o pompă manuală pentru umflarea manșetei; oferă o precizie ridicată în evaluarea tensiunii arteriale
- tensiometre automate – utilizate mai ales pentru monitorizarea tensiunii arteriale la domiciliu; sunt ușor de utilizat și oferă un rezultat imediat; pot stoca mai multe valori tensionale, iar unele aparate dețin funcții suplimentare precum afișarea electrocardiogramei sau posibilitatea de conectare Bluetooth pentru transferul datelor către un dispozitiv inteligent

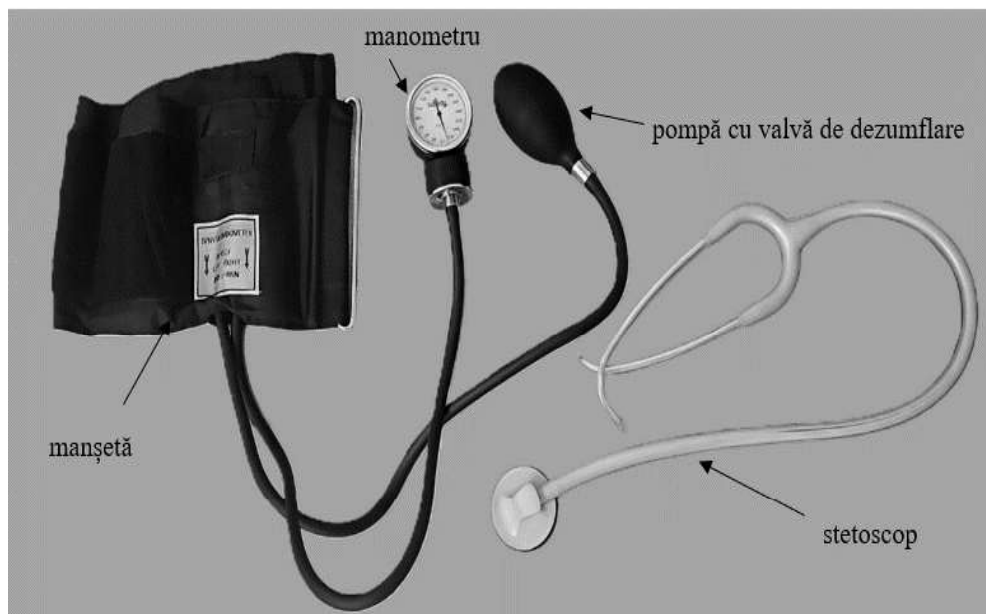
Ambele categorii de tensiometre determină 2 valori cheie ale tensiunii arteriale:

- tensiunea sistolică (valoarea maximă indicată de aparat) – reprezintă presiunea maximă din artere atunci când cordul se contractă și pompează sângele spre periferie (sistolă)
- tensiunea diastolică (valoarea minimă indicată de aparat) – reprezintă presiunea minimă din artere atunci când cordul se relaxează și se umple cu sânge (diastolă)

Tensiometrul mecanic, cunoscut și sub numele de sfigmomanometru, este un dispozitiv medical clasic, profesional, utilizat pentru măsurarea manuală a tensiunii arteriale. Prezintă următoarele componente:

- manșeta - reprezintă elementul gonflabil învelit într-un material textil care se fixează în jurul brațului pacientului
- pompa (para de cauciuc) - este utilizată pentru a umfla manual manșeta cu aer
- manometrul - este un cadran gradat (de la 0 la 300 mmHg) care indică presiunea din interiorul manșetei
- valva de dezumflare - permite eliberarea controlată a aerului din manșetă
- stetoscopul - este un instrument separat, necesar pentru a asculta zgomotele cardiace în timpul măsurării tensiunii arteriale

Figura 9 prezintă principalele componente ale unui tensiometru manual utilizat în clinică.



**Figura 9.** Principalele componente ale unui tensiometru manual

Principiul de funcționare al unui tensiometru mecanic (manual) are la bază metoda ascultatorie (Korotkoff). Sunetele Korotkoff sunt produse de fluxul sanguin în artera brahială și sunt interpretate direct de către operator cu ajutorul stetoscopului. Domeniul de măsurare este cuprins între 0 și 300 mmHg, cu o precizie de aproximativ  $\pm 3$  mmHg.

Măsurarea corectă a tensiunii arteriale presupune mai multe etape de pregătire a pacientului și aparatului. Se realizează într-un mediu liniștit și depinde în totalitate de experiența operatorului. Pregătirea pacientului și a aparatului presupune următoarele:

- repaus – pacientul se află într-o încăpere liniștită, stă așezat cu spatele sprijinit și picioarele pe podea timp de cel puțin 5 minute înainte de măsurarea tensiunii arteriale
- poziția brațului - brațul pacientului (de obicei stângul) va fi sprijinit la nivelul cordului, relaxat; mâna va fi orientată cu palma în sus
- alegerea manșetei – se va utiliza o manșetă de dimensiune potrivită pentru a cuprinde diametrul brațului pacientului
- aplicarea manșetei - manșeta va fi înfășurată ferm în jurul brațului dezgolit (nu peste haine groase) la aproximativ 2-3 cm deasupra plicii cotului; linia indicatoare (furtunul manșetei) trebuie să fie aliniată cu artera brahială (pe interiorul brațului)

- poziționarea stetoscopului - diafragma stetoscopului va fi introdusă la nivelul arterei brahiale, sub marginea inferioară a manșetei

Tehnica propriu-zisă de măsurare a tensiunii arteriale cu un tensiometru mecanic, realizată de către un cadru medical, cuprinde:

- închiderea valvei - valva de dezumflare a pompei se va închide prin rotire în sensul acelor de ceasornic
- umflarea manșetei - se va pompa rapid aer în manșetă până când manometrul va indica o valoare cu aproximativ 20-30 mmHg mai mare față de tensiunea sistolică obișnuită a persoanei (sau până la aproximativ 180-200 mmHg dacă nu se cunoaște valoarea obișnuită); în această etapă nu trebuie să se mai audă niciun sunet prin stetoscop
- eliberarea controlată a aerului - valva de dezumflare se va deschide ușor (rotind-o în sens invers acelor de ceasornic), astfel încât presiunea să scadă cu o viteză constantă de 2-3 mmHg pe secundă
- citirea tensiunii sistolice (valoarea maximă) - prima bătaie ritmică, clară și distinctă care se aude în stetoscop (sunetul Korotkoff de fază 1) indică tensiunea sistolică; se va reține această valoare
- citirea tensiunii diastolice (valoarea minimă) - se continuă eliberarea aerului din manșetă; momentul în care sunetele auzite în stetoscop dispar complet indică tensiunea tensiunii diastolice
- dezumflarea completă a manșetei – se va deschide complet valva pentru a dezumfla rapid manșeta și a o scoate de pe brațul pacientului

Spre deosebire de tensiometrul mecanic, tensiometrul digital (automat) este ușor de utilizat la domiciliu, permițând pacientului o măsurare rapidă și corectă a tensiunii arteriale. Aparatele necesită o validare clinică, fiind testate individual și îndeplinind standardele internaționale de precizie.

Principiul de funcționare al unui tensiometru digital se bazează pe metoda oscilometrică, o tehnică electronică complet automatizată. Aparatul utilizează un senzor electronic pentru a percepe oscilațiile peretelui arterial.

Un tensiometru automat prezintă următoarele componente principale:

- unitatea centrală – conține ecranul unde sunt afișate valorile tensiunii sistolice și diastolice și frecvența cardiacă, butoanele de operare (start/stop sau altele în funcție de aparat) și placa logică (microcontrolerul) care include un circuit electronic intern unde este gestionat întregul proces de măsurare a tensiunii arteriale
- manșeta – include o structură pneumatică (sac de aer) care se umflă pentru a comprima artera și a opri temporar fluxul sanguin

- sistemul de presurizare - conține pompa de aer (motorul): motor electric mic care umflă rapid vezica pneumatică din manșetă la presiunea necesară și valva de evacuare (supapa): mecanism controlat electronic care eliberează aerul din manșetă într-un ritm controlat
- senzorul de presiune (transductorul) - componentă critică situată în unitatea centrală, conectată la manșetă printr-un tub flexibil de aer; detectează oscilațiile (vibrațiile) presiunii coloanei de sânge din arteră în timpul dezumflării manșetei
- furtunul/tubul de aer - face legătura etanșă între manșetă și unitatea centrală
- sursa de alimentare – de obicei baterii

Figura 10 exemplifică componentele unui tensiometru digital (automat) utilizat în clinică pentru a măsura tensiunea arterială a pacienților.



**Figura 10.** Componentele unui tensiometru digital (automat)

Pașii care trebuie urmați atunci când se folosește un tensiometru digital sunt:

- pacientul va sta într-o încăpere liniștită, în repaus complet (minim 5 minute înainte de măsurarea tensiunii arteriale)
- se va alege o manșetă de dimensiune potrivită pentru brațul pacientului

- manșeta va fi aplicată direct pe piele; brațul pacientului va fi sprijinit pe o masă sau un suport special; manșeta va fi strânsă suficient de tare în jurul brațului; marcajul arterial (simbol/săgeată) de pe manșetă va fi aliniat cu artera brahială (în interiorul cotului)
- umflarea manșetei prin apăsarea butonului Start - o mică pompă electrică (motorul intern) începe să umfle manșeta (vezica pneumatică) în jurul brațului la o presiune superioară tensiunii arteriale sistolice a pacientului
- dezumflarea controlată și detectarea oscilațiilor peretelui arterial - valva de evacuare se deschide și eliberează aerul din manșetă lent și constant; senzorul de presiune ultra-sensibil detectează momentul exact când aceste pulsații (oscilații) devin brusc mult mai ample (tensiunea sistolică); pe măsură ce manșeta continuă să se dezumfle, oscilațiile de presiune ating un punct de amplitudine minimă (tensiunea diastolică)
- afișarea rezultatelor pe ecranul LCD - microcontrolerul procesează toate aceste date și calculează, în plus, frecvența cardiacă (pulsul)

### **Monitorizarea ambulatorie a tensiunii arteriale (ABPM**

- **Ambulatory Blood Pressure Monitoring**) reprezintă o metodă medicală de măsurare a tensiunii arteriale pe parcursul a 24 de ore, inclusiv pe timpul nopții, folosind un aparat portabil. Acest test oferă o imagine mai precisă a valorilor tensiunii arteriale comparativ cu măsurătorile ocazionale efectuate în cabinet, ajutând la diagnosticarea corectă a hipertensiunii arteriale, monitorizarea tratamentului și identificarea hipertensiunii de tip "halat alb" sau a hipertensiunii mascate.

Principiul de funcționare se bazează pe aceeași metodă oscilometrică utilizată de majoritatea tensiometrelor electronice automate. Aparatul este alcătuit din 2 componente principale:

- manșeta - manșetă gonflabilă similară cu cea standard, care se înfășoară în jurul brațului pacientului
- dispozitivul de înregistrare (Holterul) - un aparat mic, purtat la curea, într-o husă specială sau într-un buzunar, care conține o pompă de aer, un senzor de presiune, un microprocesor și un modul de memorie

Dispozitivul de înregistrare este format din:

- pompă de aer miniaturală – determină umflarea manșetei la intervale regulate de timp

- senzori de presiune - măsoară presiunea aerului din manșetă și detectează oscilațiile peretelui arterial
- microprocesor și circuite de control - gestionează întregul proces de măsurare, de la inițierea umflării până la dezumflare și calcularea valorilor tensionale
- memorie internă - stochează toate măsurătorile (tensiunea sistolică, diastolică, pulsul, data și ora) pe durata celor 24 de ore
- sursă de alimentare - de obicei baterii reîncărcabile

Figura 11 prezintă schematic componentele principale ale unui aparat de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale (figură adaptată după [https://www.gimaitaly.com/prodotti.asp?sku=35112&dept\\_selected=54&dept\\_id=558](https://www.gimaitaly.com/prodotti.asp?sku=35112&dept_selected=54&dept_id=558), site accesat pe data de 30/11/2025).



**Figura 11.** Componentele principale ale aparatului de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale

Folosirea dispozitivului de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale presupune o procedură simplă de pregătire alcătuită din următorii pași:

- aplicarea dispozitivului în cabinetul medical – durează aproximativ 10-15 minute și este efectuată de personal medical calificat; manșeta aparatului este fixată în jurul brațului; conectarea manșetei la aparatul digital prin

intermediul unui cablu; ulterior dispozitivul este prins de o curea în jurul taliei sau plasat într-o borsetă specială pe care pacientul o va purta pe umăr sau în jurul șoldului

- aparatul va începe să umfle manșeta automat la intervale prestabilite (ex: la fiecare 15-20 min ziua și 30-60 min noaptea)
- atunci când manșeta se umflă, pacientul este sfătuit să oprească orice activitate, să relaxeze brațul pe lângă corp și să rămână nemișcat și tăcut pentru a nu se produce erori în măsurarea tensiunii arteriale
- aparatul trebuie protejat de contactul cu apa
- pacientul va menține un jurnal de activitate pe toată perioada celor 24 de ore

După 24 de ore de purtare a aparatului, pacientul revine în cabinet pentru scoaterea dispozitivului și interpretarea datelor de către medic. Această etapă se realizează prin utilizarea componentelor auxiliare și de software ale sistemului ABPM care includ:

- stație de andocare / cablu de transfer date - reprezintă un conector fizic folosit pentru a descărca datele înregistrate de aparat pe un computer
- software de analiză special - un program instalat pe computer care preia datele brute și le transformă în grafice, tabele și rapoarte statistice detaliate

Buletinul de analiză final conține următoarele date pentru susținerea unui diagnostic corect:

- tensiunea arterială medie pe 24h - valoarea medie a tensiunii sistolice și diastolice pentru întreaga perioadă înregistrată
- frecvența cardiacă medie - pulsul mediu înregistrat pe parcursul zilei
- presiunea pulsului valoarea medie - diferența dintre tensiunile arteriale sistolice și diastolice medii
- datele sunt împărțite în două perioade cheie, deoarece valorile normale diferă în funcție de zi/noapte
- ritmul circadian
- indicele Dipping - raportul procentual dintre tensiunea medie din timpul zilei și cea din timpul nopții
- reprezentări grafice - graficul prezintă vizual toate punctele de măsurare pe un timeline de 24 de ore, permițând medicului să observe fluctuațiile tensiunii arteriale
-

Utilizarea aparatului de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale este indicată în următoarele situații:

- diagnosticul hipertensiunii arteriale – reprezintă standardul de aur pentru confirmarea sau excluderea diagnosticului de hipertensiune arterială; diagnosticul hipertensiunii de “halat alb”, hipertensiunii mascate, hipertensiunii arteriale de limită (borderline) sau instabilă
- evaluarea eficacității tratamentului – monitorizarea tratamentului, confirmarea hipertensiunii arteriale rezistentă la tratament, identificarea episoadelor de hipotensiune arterială
- identificarea tiparelor anormale de hipertensiune arterială nocturnă
- monitorizarea categoriilor speciale de pacienți – sarcină cu hipertensiune arterială (pre-eclampsie, eclampsie), pacienți cu risc cardiovascular crescut, suspiciune de apnee în somn

În figura 12 sunt exemplificate câteva rezultate obținute cu ajutorul aparatului de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale.

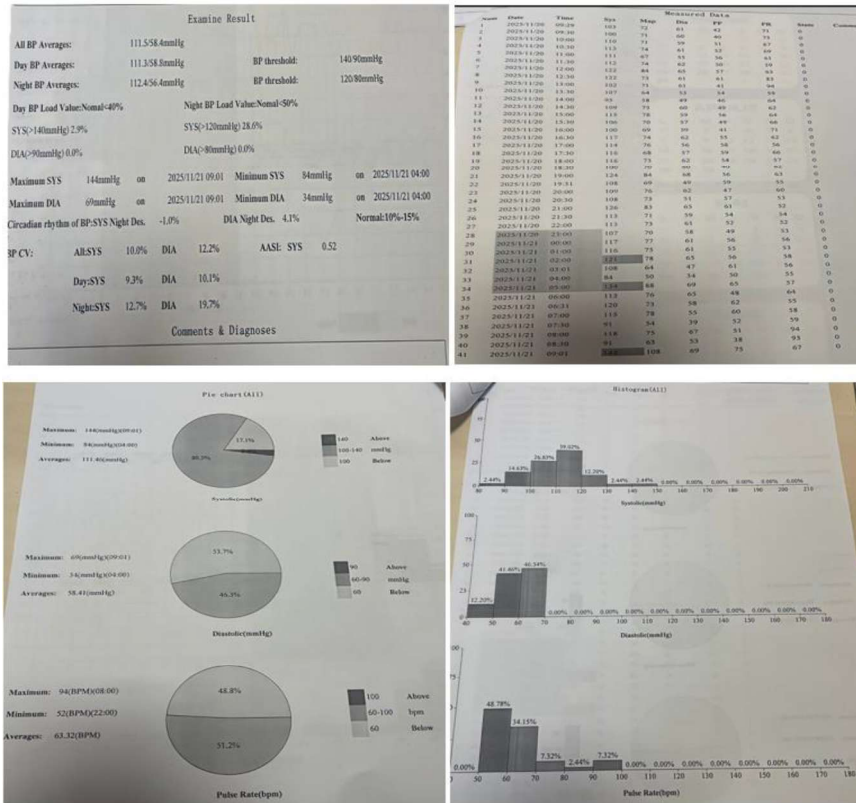


Figura 12. Buletine de analiză obținute cu ajutorul aparatului de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale

## Pulsoximetrul

Pulsoximetrul este un dispozitiv medical neinvaziv utilizat pentru a măsura gradul de oxigenare a sângelui (saturația de oxigen - SpO<sub>2</sub>) precum și frecvența cardiacă (pulsul). Prin măsurarea saturației oxigenului putem afla procentul de hemoglobină totală care transportă oxigenul la nivelul țesuturilor. Valorile normale ale saturației de oxigen sunt cuprinse între 95 – 100%.

Pulsoximetrul funcționează pe baza unui principiu optic simplu, utilizând lumina pentru a măsura cât de oxigenat este sângele periferic. Dispozitivul analizează diferența de absorbție a luminii de către hemoglobina oxigenată și cea neoxigenată din sângele arterial.

Pulsoximetrul are două diode emițătoare de lumină (LED-uri) care emit lumină la două lungimi de undă specifice: roșie și infraroșie care se absorb diferentiat. Astfel, lumina este transmisă prin țesut (deget) către un senzor (fotodetector). Hemoglobina oxigenată absoarbe mai multă lumină infraroșie și lasă să treacă mai multă lumină roșie, în timp ce hemoglobina neoxigenată absoarbe mai multă lumină roșie și lasă să treacă mai multă lumină infraroșie. Senzorul de pe partea opusă a degetului detectează cantitatea de lumină care a trecut prin țesut. Pe baza raportului dintre lumina roșie și cea infraroșie absorbită, un microprocesor calculează procentul de hemoglobină oxigenată.

Pulsoximetrul este util și pentru măsurarea frecvenței cardiace. Dispozitivul utilizează natura pulsatorie a fluxului sangvin arterial. Sângele arterial pulsează o dată cu bătăile cordului, iar această pulsație modifică ușor absorbția luminii. Pulsoximetrul detectează aceste variații ritmice pentru a calcula și afișa ritmul cardiac simultan cu saturația de oxigen.

Unele aparate pot indica date utile suplimentare care includ indicele de perfuzie și pletismograma (o reprezentare grafică a fluxului sanguin). Indicele de perfuzie ne aduce informații despre fluxul sangvin pulsatoriu la locul unde este aplicat senzorul. Indicele de perfuzie reprezintă raportul între fluxul sangvin pulsatoriu (din artere) și fluxul sangvin static (din țesuturile înconjurătoare, vene, oase, grăsime), fiind exprimat în procente. Un procent de peste 3% este considerat a fi în limite normale.

Pletismograma reprezintă o reprezentare grafică a variațiilor de volum sangvin în patul microvascular al țesutului pe care se află așezat pulsoximetrul. Este o undă care se mișcă pe ecranul pulsoximetrului și cuantifică cantitatea de lumină care este absorbită de nivelul țesutului.

Structura unui pulsoximetru digital este simplă, având următoarele elemente componente:

- senzorul (clema pentru deget) - reprezintă partea fizică unde utilizatorul introduce degetul și conține componentele optice esențiale
- sursa de lumină (LED-uri) - în interiorul clemei, de obicei deasupra degetului, se află două LED-uri care emit lumină la două lungimi de undă specifice: lumină roșie (aproximativ 660 nanometri), respectiv lumină infraroșie (aproximativ 940 nanometri).
- fotodetectorul - pe partea opusă sursei de lumină (sub deget) se află acest senzor fotosensibil care măsoară cantitatea de lumină care trece prin deget după ce a fost absorbită de sânge și țesuturi
- microprocesorul (unitatea de control) - reprezintă "creierul" dispozitivului care captează datele brute de la fotodetector și folosește un algoritm pentru a calcula: raportul dintre absorbția celor două lungimi de undă, saturația de oxigen, pulsul, indicele de perfuzie (IP) și pletismograma (în funcție de aparatul utilizat)
- ecranul de afișare (Display) - ecran LED sau OLED unde sunt afișate rezultatele numerice, precum și graficul pletismogramei
- sursa de alimentare: una sau două baterii

În figura 13 sunt prezentate cele 2 pulsoximetre aflate în gestiunea Clinicii Reumatologie I a Spitalului Clinic de Recuperare. Ambele aparate oferă date despre saturația oxigenului în sângele periferic, despre frecvența cardiacă (puls) și despre indicele de perfuzie (PI).



**Figura 13.** Pulsoximetre utilizate în practica clinică

Pentru a obține o citire precisă și fiabilă cu un pulsoximetru, pregătirea corectă a pacientului este esențială. Următorii pași trebuie luați în considerare:

- repausul pacientului – cel puțin 5 minute înainte de efectuarea investigației; pacientul trebuie să fie relaxat și liniștit; se va face aclimatizarea pacientului (se încălzesc ușor mâinile pacientului)
- poziția corectă a mâinii – mâna sprijinită la nivelul inimii sau a taliei
- evitarea mișcării pacientului - orice mișcare excesivă a degetului poate cauza citiri inexacte sau fluctuații constante ale valorilor afișate (artefacte de mișcare)
- pregătirea degetului – alegerea degetului potrivit (arătător sau mijlociu); îndepărtarea lacului de unghii și a unghiilor false; curățarea degetului (degetul trebuie să fie curat și uscat); evitarea degetelor cu răni deschise, vânătăi sau infecții
- introducerea corectă a degetului în dispozitiv - sursa de lumină și detectorul trebuie să fie perfect aliniate pe părțile opuse ale degetului (de obicei, unghia în sus spre senzorii de lumină)
- așteptarea stabilizării - după pornire și aplicare, este important să se aștepte cel puțin un minut până când datele de pe ecran se stabilizează la o valoare constantă timp de cel puțin 5 secunde

Factorii care pot influența precizia unui pulsoximetru sunt variați și pot duce la apariția unor rezultate eronate, chiar dacă dispozitivul funcționează corect. Acești factori pot fi asociați pacientului sau pot fi legați de mediu sau asociați dispozitivului, după cum urmează:

- factori asociați pacientului - reducerea fluxului sangvin periferic; mișcarea excesivă, tremurăturile sau frisoanele; prezența lacului de unghii; pielea hiperpigmentată; anemia severă; intoxicația cu monoxid de carbon
- factori de mediu și dispozitiv – lumina ambientală puternică; temperatura scăzută în camera de examinare; poziționarea incorectă a aparatului

Indicațiile de utilizare a pulsoximetrului sunt variate, plecând de la monitorizarea afecțiunilor medicale cronice la evaluarea stării generale de sănătate în timpul efortului fizic. Indicația principală este detectarea precoce a hipoxemiei în vederea stopării apariției efectelor adverse grave viscerale. Utilizarea unui pulsoximetru este indicată în:

- monitorizarea afecțiunilor respiratorii cronice – astm bronșic, bronhopneumopatie obstructivă cronică, fibroză pulmonară, fibroză chistică etc
- monitorizarea afecțiunilor cardiace cronice – insuficiență cardiacă congestivă, edem pulmonar acut etc

- evaluarea simptomelor respiratorii acute – infecții virale, bacteriene
- monitorizarea terapiei cu oxigen
- evaluarea somnului și monitorizarea persoanelor cu apnee în somn
- monitorizarea pacientului pre și postoperator
- monitorizarea persoanelor vârstnice
- monitorizarea eficienței oxigenării în timpul efortului fizic
- monitorizarea stării generale de sănătate

## **Monitorul pentru funcțiile vitale**

Un monitor pentru funcțiile vitale este un dispozitiv medical electronic care măsoară și afișează continuu parametri fiziologici cheie ai unui pacient, cum ar fi frecvența cardiacă, tensiunea arterială sau saturația oxigenului. În funcție de complexitatea cazului și de locul de utilizare (spital, clinică, secție de terapie intensivă), pot fi înregistrate următoarele elemente:

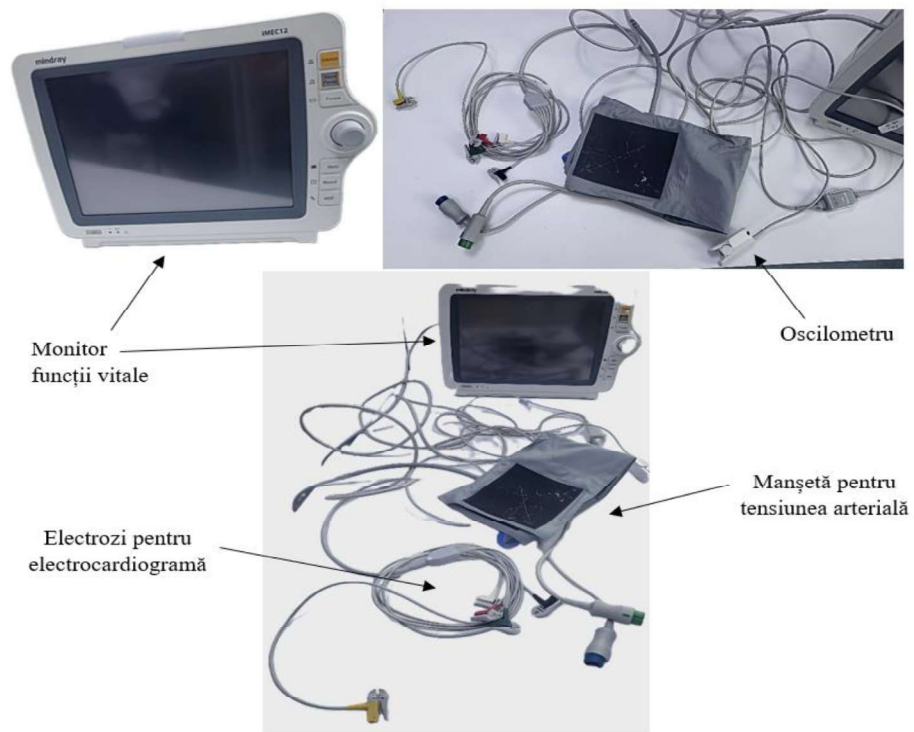
- electrocardiograma - măsoară activitatea electrică a inimii, afișând 3, 5 sau 12 derivații
- saturația oxigenului - pulsoximetria
- tensiunea arterială neinvazivă (NIBP) - măsoară tensiunea arterială prin intermediul unei manșete, folosind principiul oscilometric
- frecvența respirației - monitorizează numărul respirațiilor pe minut
- temperatura - măsoară temperatura corpului, uneori prin mai multe canale
- tensiunea arterială invazivă (IBP) și EtCO<sub>2</sub> (Dioxid de Carbon la Sfârșitul Expirului) - acești parametri sunt de obicei opționali sau prezenți pe monitoarele din secțiile de terapie intensivă

Un monitor pentru funcțiile vitale este utilizat pentru a detecta modificări în timp real în starea de sănătate a pacientului și a permite intervenția rapidă a personalului medical. Indicațiile principale de utilizare includ:

- unitățile de terapie intensivă - pacienții critici necesită monitorizare continuă a parametrilor vitali
- camerele de urgență / triajele spitalelor - evaluarea rapidă a stării de sănătate a pacienților
- sălile de operație - pe toată durata intervențiilor chirurgicale, funcțiile vitale ale pacientului sunt monitorizate
- secțiile post-operatorii / de reanimare – parametrii vitali ai pacienților sunt monitorizați atent și constant

- secțiile de cardiologie și reabilitare cardiovasculară – în cazul pacienților cu afecțiuni cardiace, monitorizarea este esențială pentru a identifica apariția aritmiilor cardiace maligne sau a degradării hemodinamice
- ambulanțele de transport medical - monitoare portabile sunt folosite pentru supravegherea funcțiilor vitale în timpul transportului pacienților

Figura 14 prezintă unul dintre monitoarele aflate în gestiunea clinicii Reumatologie I. Aparatul conține monitorul Mindray care are capacitatea de a înregistra următoarele date clinice: electrocardiograma cu 5 derivații (electrozi), tensiunea arterială neinvazivă (manșetă), saturația oxigenului și frecvența cardiacă (oscilometru) și temperatura pacientului.



**Figura 14.** Monitor pentru funcțiile vitale și principalii parametri fiziologici înregistrați

## Telemetria

Telemetria reprezintă procesul de transmitere la distanță a datelor măsurate de la un senzor către o locație separată pentru a fi înregistrate, colectate sau evaluate imediat. Această tehnologie permite măsurarea și raportarea automată a datelor, facilitând monitorizarea la distanță a semnelor vitale ale pacienților. Datele sunt colectate de la senzori sau instrumente aflate într-o anumită locație fizică. Ulterior sunt transmise către un sistem central de recepție și monitorizare. Metodele de transmisie includ legături radio, rețele celulare (GSM), satelit, sau conexiuni prin cablu/fibră optică.

Un sistem de telemetrie utilizat în medicină este alcătuit din următoarele componente principale:

- dispozitivul de monitorizare portabil (emițătorul) - este purtat de către pacient și reprezintă punctul de origine a datelor
- echipamentul de recepție și procesare locală (receptorul/gateway) - acționează ca un intermediar, de obicei fiind situat în aceeași unitate medicală (de exemplu la o stație a asistentelor)
- sistemul central de monitorizare și stocare a datelor – reprezintă componentul principal al sistemului de telemetrie; permite personalul medical să vizualizeze și să analizeze datele colectate
- rețeaua de comunicații – reprezintă legăturile care fac posibil transferul de date de la pacient la personalul medical

Emitătorul cuprinde mai multe elemente:

- senzori medicali - sunt conectați direct la pacient (de exemplu electrozii pentru electrocardiogramă, pulsoximetrul sau manșeta pentru tensiunea arterială) și colectează în permanență semnele vitale
- unitatea de achiziție a datelor (DAU): reprezintă un microprocesor integrat care colectează semnalele de la senzori, le digitalizează și le formatează pentru transmisie
- modulul de transmisie - o componentă radio de putere redusă (adesea folosind frecvențe medicale dedicate, Bluetooth sau Wi-Fi) trimite datele către o stație receptoare din apropiere

Echipamentul de recepție și procesare locală este alcătuit din:

- receptorul wireless - primește semnalul radio de la dispozitivul portabil
- gateway (punct de acces) - gestionează datele primite și le transmite printr-o rețea securizată (LAN, Wi-Fi spitalicesc sau internet) către sistemul central de monitorizare
- software de procesare inițială - efectuează verificări de bază sau stochează temporar datele înainte de a fi trimise mai departe

Sistemul central de monitorizare și stocare cuprinde:

- servere de date - sunt stocate, gestionate și arhivate datele pe termen lung
- stații de lucru/monitoare centrale - calculatoare sau ecrane unde personalul medical poate vedea în timp real semnele vitale ale mai multor pacienți simultan
- software de analiză și alertare - un software avansat care analizează datele în mod continuu; componenta critică este reprezentată de sistemul de alarmă care generează notificări sonore și vizuale imediate dacă valorile unui pacient depășesc pragurile considerate sigure (de exemplu ritm cardiac prea rapid sau saturație de oxigen prea scăzută)

Rețeaua de comunicații poate fi reprezentată de:

- rețeaua locală a spitalului (LAN) pentru comunicațiile interne
- rețea de internet securizat/VPN - pentru telemedicină sau monitorizare la domiciliu

Telemetria permite personalului medical să intervină rapid în situații de urgență, oferind în același timp pacientului libertatea de mișcare esențială pentru recuperarea fizică și psihică. Rolul telemetriei în medicină este important și multidimensional, extinzând capacitatea de supraveghere a personalului medical dincolo de prezența fizică imediată și permițând o îngrijire mai eficientă, mobilă și proactivă.

Rolurile telemetriei în medicină sunt:

- asigurarea mobilității pacientului
- monitorizarea permanentă și detectarea precoce ale urgențelor medicale, permițând o intervenție rapidă
- optimizarea resurselor medicale – un număr redus de personal medical poate supraveghea simultan mai mulți pacienți
- suport pentru telemedicină și monitorizarea la domiciliu (tele-sănătate)
- arhivarea și analiza datelor pe termen lung – permite urmărirea evoluției pacientului

Indicațiile telemetriei în medicină sunt variate și se aplică pacienților care necesită o monitorizare atentă a funcțiilor vitale precum:

- afecțiuni cardiovasculare – monitorizarea electrocardiografică prin telemetrie reprezintă standardul de îngrijire pentru pacienții cu risc de aritmii maligne; se recomandă la pacienții cu aritmii severe, post-infarct de miocard, insuficiență cardiacă sau pentru ajustarea medicației antiaritmice
- afecțiuni pulmonare – pulsoximetria prin telemetrie se realizează în cazuri de afecțiuni respiratorii cronice severe sau apnee în somn

- monitorizarea la domiciliu – a permis reducerea reinternărilor; recomandată în managementul bolilor cronice care necesită automonitorizare la domiciliu sau în recuperarea post-operatorie imediată
- în spital - pacienți stabili care prezintă un risc moderat / crescut de deteriorare a stării generale

Pe lângă echipamentele de monitorizare vitală continuă prezentate anterior, faza 1 a reabilitării cardiovasculare mai poate include diferite tehnologii medicale utilizate pentru managementul medical și intervențional, cât și pentru mobilizarea controlată a pacientului.

Tehnologiile folosite pentru managementul medical și intervențional includ:

- echipamente de imagistică medicală – aparate Rontgen portabile (tehnologii care folosesc razele X), ecocardiografe mobile sau staționare
- pompe de perfuzie și injectomate - pentru administrarea precisă și controlată a medicației intravenoase
- dispozitive de asistare ventriculară temporară (în cazuri selecționate) – folosite în unitățile de terapie intensivă, pentru pacienții critici, precum balonul de contrapulsatie intra-aortic

Tehnologiile utilizate pentru mobilizarea controlată a pacientului cuprind:

- paturi medicale reglabile electric - permit ridicarea și coborârea ușoară a pacientului, facilitând mobilizarea precoce și prevenind complicațiile asociate imobilizării prelungite
- ambulateoare și cadre de mers - aceste tehnologii de asistență sunt cruciale pentru a oferi sprijin și siguranță în timpul mobilizării pacienților

## **4.2. Faza 2 (outpatient) a reabilitării cardiovasculare**

Faza 2 (outpatient) a reabilitării cardiovasculare reprezintă etapa de recuperare care se inițiază imediat după externarea pacientului din spital și durează de la câteva săptămâni la câteva luni. Presupune efectuarea de exerciții fizice regulate, administrarea unei terapii medicamentoase specifice, o dietă personalizată și consiliere psihologică și se desfășoară într-un centru specializat (ambulatoriu) sau la domiciliul pacientului.

Componentele principale ale acestei etape sunt:

- exercițiile fizice supravegheate – pacienții vor efectua exerciții aerobice pe banda de alergat, bicicleta staționară și alte echipamente, sub supravegherea personalului medical; frecvența cardiacă și tensiunea arterială sunt monitorizate atent

- monitorizarea continuă a ritmului cardiac prin electrocardiografie în timpul efortului fizic
- consiliere psihologică
- educația pacientului – consiliere nutrițională (controlul greutateii), oprirea fumatului, gestionarea stresului, înțelegerea bolii și a medicației prescrise
- plan individualizat, personalizat în funcție de diagnostic și de capacitatea fizică a pacientului

Obiectivul fazei 2 de reabilitare cardiovasculară este de a optimiza recuperarea pacientului după un eveniment cardiac acut și de a preveni complicațiile ulterioare. Cele mai importante obiective sunt:

- restabilirea și îmbunătățirea capacității funcționale cardio-pulmonare
- optimizarea stării de sănătate – gestionarea factorilor de risc cardiovasculari
- educația privind un stil de viață sănătos – dietă, greutate, exerciții fizice regulate
- modificarea comportamentelor nocive – consumul de tutun sau etanol
- aderența la tratament
- consilierea psiho-emoțională – reducerea anxietății, a depresiei, creșterea încrederii pacientului, reintegrarea socială
- îmbunătățirea calității vieții pacientului

Tehnologiile medicale folosite în faza 2 (outpatient) de reabilitare cardiovasculară au ca scop crearea unui mediu controlat și informat care maximizează recuperarea pacientului, minimizând în același timp riscurile. Tehnologiile utilizate sunt esențiale pentru a asigura siguranța, eficiența și monitorizarea precisă a pacienților în timpul exercițiilor fizice supravegheate. Acestea cuprind:

- tehnologii de monitorizare clinică
- tehnologii pentru exercițiile fizice specializate
- software și sisteme de management a datelor
- tehnologii pentru reabilitarea la distanță (tele-reabilitare)

Tehnologiile (echipamentele) de monitorizare clinică includ:

- electrocardiograma Holter – reprezintă tehnologia centrală; permite ajustarea intensității exercițiului fizic și intervenția rapidă în situația apariției unor tulburări de ritm cardiac semnificative
- tensiometrul manual/automat - tensiunea arterială este măsurată regulat înainte, în timpul și după efectuarea exercițiilor fizice
- aparatul de monitorizare ambulatorie a tensiunii arteriale (ABPM)
- pulsoximetrul – măsoară saturația oxigenului și ritmul cardiac în timpul efortului, fiind un indicator al suprasolicitării și al apariției hipoxemiei

Tehnologiile (echipamentele) folosite pentru exercițiile fizice specializate sunt reprezentate de:

- aparatele de fitness standard, însă folosite în scop medical - benzi de alergat, biciclete staționare (cicloergometre, ergospirometre), aparate eliptice, stepper; acestea sunt ușor de reglat și permit personalului medical să controleze cu precizie capacitatea de efort a pacientului
- echipamente pentru exerciții fizice de rezistență - benzi elastice, gantere ușoare și aparate de forță special concepute pentru a fi sigure în cazul pacienților cu afecțiuni cardiovasculare

Tehnologiile care utilizează sisteme de software și de management a datelor includ:

- sisteme de management a reabilitării cardiovasculare - software specializat care integrează datele de la dispozitivele portabile de monitorizare; urmăresc progresul pacientului, generează rapoarte pentru personalul medical specializat și pot ajusta automat programul de exerciții fizice
- platforme de educație digitală – includ materiale educaționale despre dietă, medicamente sau managementul stresului; datele sunt prezentate pe ecrane digitale sau prin intermediul unor aplicații online la care pacienții au acces

Tehnologii emergente (la distanță - de tele-reabilitare) sunt mai puțin utilizate în faza 2 care este predominant supravegheată fizic, însă există o tendință în creștere de a le folosi încă din această etapă și includ:

- dispozitive portabile – ceasuri inteligente, plasturi sau brățări care colectează date despre ritmul cardiac, tensiunea arterială, activitatea fizică a pacientului și calitatea somnului, transmițând ulterior informațiile către echipa medicală
- platforme de telemedicină – includ sesiuni de consiliere nutrițională sau psihologică

Înainte de se a iniția planul de exerciții fizice în cadrul fazei 2 a reabilitării cardiovasculare, echipa medicală efectuează o serie de investigații și evaluări amănunțite pentru a se asigura că programul este sigur și adaptat nevoilor specifice ale pacientului. Aceste investigații sunt esențiale pentru a stabili nivelul adecvat de intensitate a exercițiilor fizice și pentru a identifica eventualele riscuri asociate. Evaluarea medicală include: istoricul medical detaliat, examenul clinic complet, analiza factorilor de risc, revizuirea schemei de tratament medicamentos.

Efectuarea unui test de efort este o investigație obligatorie înainte de inițierea planului de exerciții fizice și măsoară capacitatea cordului de a răspunde la un stres fizic controlat. Se realizează cu ajutorul unui

cicloergometru și aduce date importante cu privire la capacitatea funcțională cardiacă și pulmonară.

## Cicloergometrul

Un cicloergometru este o bicicletă staționară medicală, de precizie, utilizată în principal în scopuri clinice, de reabilitare și de testare a performanței fizice a pacientului. Este un instrument care transformă pedalarea într-o măsură obiectivă a performanței fizice și a capacității cardiovasculare. Prin utilizarea cicloergometrului se realizează testul de efort sau ergometria, investigație medicală care evaluează capacitatea cordului de a tolera efortul fizic. Testul de efort combină exercițiul fizic controlat cu monitorizarea continuă a activității electrice a inimii (evaluată prin electrocardiogramă), a tensiunii arteriale, cât și a ritmului cardiac. Atunci când se dorește investigarea simultană a aparatului respirator se efectuează ergospirometria, o investigație medicală avansată care oferă o evaluare completă și integrată a sistemelor cardiovascular și pulmonar.

Principiul de funcționare al unui cicloergometru se bazează pe capacitatea sa de a aplica o rezistență mecanică controlată (sarcină) în timpul pedalării și de a măsura cu precizie efortul depus de pacient, exprimat de obicei în wați (W). Dispozitivul utilizează o frână (de obicei electromagnetică sau cu curenți turbionari) pentru a crea o rezistență reglabilă împotriva roții volante (volantului). Trebuie avute în vedere următoarele:

- generarea efortului - pe măsură ce pacientul pedalează, roata volantă se rotește, iar frâna electromagnetică aplică o forță care se opune acestei rotații
- reglarea sarcinii - nivelul de rezistență (sarcina de lucru) este ajustat automat sau manual de către medic conform unui protocol standardizat de testare la efort; această sarcină crește progresiv pe durata testului
- măsurarea - prin combinarea vitezei de pedalare (rotații pe minut - RPM) și a forței de frânare aplicate, software-ul aparatului calculează cu exactitate puterea mecanică (efortul) pe care pacientul o generează în orice moment al testului

Un cicloergometru medical este integrat într-un sistem complex care monitorizează constant răspunsul fiziologic al organismului la efortul mecanic măsurabil. Pe toată perioada investigației vor fi înregistrate următoarele:

- electrocardiograma - înregistrează continuu activitatea electrică a inimii prin electrozi plasați pe pieptul pacientului

- tensiunea arterială - măsurată la intervale regulate de timp pe toată durata testului
- frecvența cardiacă
- consumul de oxigen (utilizând un spiroergometru) - măsoară și schimburile de gaze (oxigen și dioxid de carbon) pentru o evaluare cardiopulmonară completă

Structura unui cicloergometru este complexă, fiind compus din două seturi majore de elemente: o structură mecanică robustă, similară unei biciclete staționare și un ansamblu sofisticat de echipamente electronice de monitorizare.

Componentele mecanice, elementele care asigură funcționalitatea de "bicicletă" și permit generarea efortului fizic controlat, sunt:

- cadrul și șasiul - structură metalică rezistentă, proiectată pentru stabilitate maximă (uneori se efectuează eforturi fizice intense)
- sistemul de pedalare – include pedalele, brațele pedalierei și un sistem de transmisie (curea sau lanț)
- volantul (roata de inerție) - roată grea care menține mișcarea fluidă și constantă
- sistemul de rezistență (frâna) - este elementul cheie care diferențiază un cicloergometru de o bicicletă de fitness obișnuită; modelele medicale utilizează o frână electromagnetică sau un sistem cu curenți turbionari controlați de computer care poate aplica o sarcină de lucru precisă, măsurată în wați (W)
- elementele de ajustare - șa și ghidon reglabile pe înălțime și distanță pentru a asigura o poziție ergonomică corectă a pacientului

Componentele electronice și de monitorizare includ:

- senzori de viteză și cuplu - măsoară turația (RPM) și forța aplicată, permițând computerului să calculeze puterea mecanică exactă (în wați)
- consolă / unitate de control - panou de control sau un computer integrat de unde operatorul (medicul sau tehnicianul) setează protocolul testului și ajustează automat nivelul de rezistență
- electrocardiograf - cabluri și electrozi care se atașează pe pieptul pacientului și înregistrează continuu activitatea electrică a inimii, date ulterior transmise către software-ul de analiză
- tensiometru automat - manșetă pentru braț care măsoară tensiunea arterială a pacientului la intervale regulate în timpul efortului fizic
- software de analiză și raportare - program specializat pe computer care colectează toate datele (ritm cardiac, electrocardiogramă, tensiune

arterială, wați), le afișează grafic în timp real și generează un raport medical final detaliat

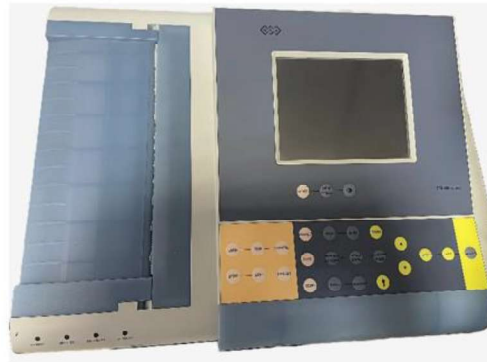
Efectuarea unui test de efort cu cicloergometrul (sau ergometrie) este o procedură medicală standardizată, non-invazivă, care se desfășoară sub supraveghere medicală strictă. Cuprinde următorii pași:

- pregătirea pacientului
- măsurători de repaus
- testul propriu-zis (faza de efort)
- încheierea testului
- faza de repaus (recuperare post-efort)
- analiza rezultatelor

Figura 15 ilustrează aparatul de cicloergometrie utilizat pentru efectuarea testului de efort în cazul pacienților cu diferite afecțiuni cardiovasculare. Acest ansamblu integrat permite personalului medical să observe în detaliu modul în care cordul și sistemul circulator al pacientului gestionează stresul fizic, oferind informații vitale pentru diagnostic.



A



B

**Figura 15.** Cicloergometrul – componentele principale din structura aparatului. A. Componenta mecanică: cadru, șasiu, pedale și brațe. B. Componenta electronică: electrocardiograf

Pregătirea pacientului presupune următoarele acțiuni:

- consimțământul și informarea - medicul sau tehnicianul explică procedura, riscurile și beneficiile, iar pacientul își dă acordul informat
- pregătirea fizică - pacientul este sfătuit să poarte haine lejere, potrivite pentru efectuarea exercițiului fizic
- atașarea senzorilor - se plasează 10 electrozi pe pieptul și umerii pacientului care sunt conectați la electrocardiograf
- montarea tensiometrului - o manșetă care măsoară tensiunea arterială este plasată pe brațul pacientului

Măsurătorile de repaus includ:

- pacientul este așezat pe cicloergometru, în repaus, stă liniștit și relaxat
- se înregistrează datele inițiale - ritmul cardiac, tensiunea arterială și se efectuează o electrocardiogramă de repaus

Faza de efort (testul propriu-zis – se folosește activ cicloergometrul) presupune:

- startul - pacientul începe să pedaleze la o viteză constantă și ușoară, fără rezistență inițială
- creșterea progresivă a efortului - la fiecare 2-3 minute (conform unui protocol standardizat, cum ar fi protocolul Bruce modificat sau protocolul Astrand) rezistența aplicată de cicloergometru crește automat; pacientul simte că trebuie să depună un efort mai mare pentru a menține constantă viteza de pedalare
- monitorizarea continuă - pe tot parcursul testului, sistemul înregistrează constant electrocardiograma, iar tensiunea arterială este măsurată automat la fiecare etapă nouă de efort; pacientul este întrebat regulat despre starea sa (durere în piept, amețală, dificultăți de respirație)

Încheierea testului se realizează dacă:

- apar simptome îngrijorătoare (durere severă, modificări suspecte pe electrocardiogramă, scăderea tensiunii arteriale)
- pacientul atinge frecvența cardiacă maximă teoretică prestabilită pentru vârsta sa

Faza de Recuperare (repaus) presupune:

- pacientul continuă să stea pe bicicletă sau se așează pe un pat
- monitorizarea electrocardiogramei și a tensiunii arteriale continuă timp de aproximativ 5-10 minute după oprirea efortului, până când parametrii revin aproape la normal

Analiza rezultatelor:

- medicul cardiolog analizează traseele ale electrocardiogramei înregistrate în timpul efortului și recuperării, le compară cu cele din repaus și interpretează răspunsul organismului la stresul fizic pentru a stabili un diagnostic și tratamentul ulterior

Raportul medical final emis după un test de efort cu cicloergometrul este un document complex, care sintetizează toate datele colectate în timpul procedurii și oferă medicului cardiolog informațiile necesare pentru a stabili un diagnostic precis. Raportul conține următorii parametri:

- detalii administrative – datele pacientului, indicația pentru efectuarea testului, medicația curentă a pacientului, protocolul utilizat
- datele înregistrate în repaus, în timpul efortului maxim și în timpul perioadei de recuperare – tensiunea arterială, frecvența cardiacă (+ procentul din frecvența cardiacă maximă), capacitatea de efort
- modificările înregistrate pe electrocardiogramă – electrocardiogramă inițială (în repaus), modificările electrocardiografice induse de efort, posibile aritmii cardiace apărute pe parcursul efortului
- interpretarea rezultatului și concluzia medicului - răspunsul la efort (normal sau anormal), tipul testului (maximal sau submaximal), rezultatul testului (negativ: fără semne de ischemie cardiacă induse de efort, pozitiv: semne clare de ischemie miocardică, echivoc/neconcludent: rezultatele sunt la limită sau testul a fost oprit prea devreme), recomandările finale ale medicului

Figura 16 exemplifică un rezultat obținut după efectuarea testului de efort utilizând cicloergometrul. S-a utilizat un cicloergometru Ergoline, ergoselect 100/200, protocol 25 W 3 minute. S-a măsurat stresul realizat, tensiunea arterială maximă/în recuperare, frecvența cardiacă maximă, analiza segmentului ST (supradenivelare/subdenivelare). Rezultatul descris este submaximal - 77% din frecvența cardiacă maximă teoretică, la 25-125 W și 8,1 Mets.



- embolie pulmonară acută sau infarct pulmonar recent
- miocardită sau pericardită acută
- disecție de aortă
- hipertensiune arterială severă necontrolată - TA sistolică > 200 mmHg sau diastolică > 110 mmHg în repaus

Contraindicații relative - medicul specialist evaluează dacă beneficiile diagnostice depășesc riscurile, iar testul poate fi efectuat cu prudență sporită și monitorizare suplimentară:

- boli infecțioase acute
- aritmii controlate
- stenoză moderată a valvelor cardiace
- anemie severă sau dezechilibre electrolitice majore netratate
- limitări fizice/ortopedice – afecțiuni articulare, musculare sau neurologice care împiedică pacientul să pedaleze eficient sau să depună efortul necesar pentru a realiza un test de efort concludent

## **Ergospirometrul**

Ergospirometria, cunoscută și sub denumirile de test de efort cardiopulmonar (CPET) sau spiro-ergometrie, este o investigație medicală avansată care oferă o evaluare completă și integrată a sistemelor cardiovascular și pulmonar. Testul implică purtarea unei măști faciale speciale care colectează aerul respirat, efectuarea de exerciții pe o bandă de alergat (treadmill) sau pe un cicloergometru (bicicletă staționară) și monitorizarea continuă a parametrilor electrocardiografei, a ritmului cardiac, a tensiunii arteriale și a schimbului de gaze. Principalul parametru pulmonar determinat este consumul de oxigen care reprezintă capacitatea maximă a organismului de a utiliza oxigenul.

Principiul de funcționare al unui ergospirometru se bazează pe măsurarea continuă și în timp real a volumului de aer respirat și a concentrației de oxigen și dioxid de carbon din aerul inhalat și cel expirat în timpul efortului fizic progresiv. Pe lângă aceste date, aparatul înregistrează continuu electrocardiograma, ritmul cardiac și tensiunea arterială a pacientului.

Parametrii funcționali respiratori se calculează folosind legea conservării masei și măsoară consumul de oxigen în timpul efortului fizic și cantitatea de dioxid de carbon care se produce. Consumul de oxigen se calculează făcând diferența dintre cantitatea de oxigen inhalată și cantitatea de oxigen expirată. Producția de dioxid de carbon reprezintă diferența dintre volumul de dioxid de carbon produs și cel expirat ca produs secundar al metabolismului energetic. Prin monitorizarea acestor valori pe măsură ce intensitatea exercițiului crește, medicii pot identifica pragul anaerob și

capacitatea maximă de efort a pacientului, oferind o evaluare obiectivă a stării de sănătate a sistemului cardio-pulmonar.

Un ergospirometru este alcătuit din următoarele elemente principale:

- bicicletă ergonomică (cicloergometru) sau bandă de alergat (treadmill)
- piesă bucală (sau mască facială)
- fluxmetru (senzor de flux) – măsoară volumul și viteza aerului inspirat și expirat
- analizoare de gaze - celule chimice sau senzori ultra-rapizi care determină concentrațiile exacte ale oxigenului și dioxidului de carbon în aerul colectat de către aparatul bucal
- electrocardiograf
- tensiometru (sfigmomanometru)
- pulsoximetru
- unitate de control și software – include un sistem computerizat (procesează, afișează în timp real și stochează volumele mari de date fiziologice, permițând medicului să analizeze ulterior parametri complecși, cum ar fi pragul anaerob și VO<sub>2</sub> max) și un software dedicat (oferă rapoarte detaliate și interpretări clinice bazate pe datele colectate)

În figura 17 este reprezentat aparatul de ergospirometrie alcătuit din bicicletă ergonomică / bandă de alergat, unitate de control și software, mască facială, senzori de flux (poză adaptată după [https://www.ganshorn-medical.com/wp-content/uploads/2024/08/ergo\\_only1-1-1011x1024.png](https://www.ganshorn-medical.com/wp-content/uploads/2024/08/ergo_only1-1-1011x1024.png) și <https://emeraldmed.ro/wp-content/uploads/2023/03/cetp-1.jpg>, site accesat pe data de 05/12/2025).



**Figura 17.** Componentele principale ale unui ergospirometru

Efectuarea unui test cu ergospirometru (testare cardiopulmonară la efort) este o procedură medicală standardizată, non-invazivă, care se desfășoară sub supravegherea unui medic cardiolog sau pneumolog și include următoarele etape:

- pregătirea pacientului – este sfătuit să poarte o ținută lejeră și să evite mesele copioase, cofeina, alcoolul și efortul fizic intens cu 24 de ore înainte de examinare
- se montează electrozii pentru electrocardiogramă pe pieptul pacientului și se conectează la aparat
- o manșetă pentru măsurarea tensiunii arteriale este fixată pe brațul pacientului
- un pulsoximetru este atașat la un deget al pacientului
- se realizează o spirometrie de repaus pentru a evalua capacitatea pulmonară de repaus
- o mască facială etanșă (sau o piesă bucală cu clemă pentru nas) este fixată pe față pentru a colecta aerul expirat
- perioadă de repaus de câteva minute (de obicei 2-3 minute) - se înregistrează parametri fiziologici de bază (ritm cardiac, tensiune arterială, respirație)
- faza de efort (testul propriu-zis) - pacientul începe să pedaleze pe bicicleta ergonomică sau să meargă pe banda de alergat la o intensitate foarte redusă; sarcina de lucru crește progresiv la intervale regulate (de obicei la fiecare minut), fie prin creșterea rezistenței la pedalare, fie prin creșterea vitezei/inclinației benzii; pacientul este încurajat să depună efort până la limita sa de toleranță sau până când apar modificări semnificative pe electrocardiogramă, durere în piept, amețeli; ergospirometrul măsoară cu precizie volumele de aer și concentrațiile oxigenului și dioxidului de carbon
- faza de recuperare - pacientul continuă să stea pe ergometru sau să meargă lent (faza de cooling down); monitorizarea continuă timp de câteva minute (de obicei 5-10 minute) până când ritmul cardiac și tensiunea arterială revin la valorile apropiate de cele inițiale de repaus
- analiza datelor - medicul analizează datele complexe generate de software-ul ergospirometrului și eliberează raportul de analiză

Un raport de analiză generat de un ergospirometru este un document care integrează datele înregistrate de toate sistemele de monitorizare (respirator, cardiac, circulator) pentru a oferi o imagine complexă a capacității funcționale cardio-pulmonare a pacientului. Raportul include:

- parametri cardiovasculari – frecvența cardiacă maximă, tensiunea arterială sistolică și diastolică, ritmul cardiac și modificările evidențiate pe electrocardiogramă în timpul efortului fizic

- parametri pulmonari – consumul de oxigen de vârf (VO<sub>2</sub> peak - cantitatea maximă de oxigen pe care organismul o consumă în timpul efortului maximal exprimat în ml/kg/min); pragul anaerob (punctul la care metabolismul aerob devine insuficient și începe acumularea de lactat); producția de dioxid de carbon (volumul de CO<sub>2</sub> expirat); ventilația pe minut (volumul total de aer respirat într-un minut); echivalenții ventilatori (VE/VO<sub>2</sub> și VE/VCO<sub>2</sub> - arată eficiența schimburilor gazoase)

Figura 18 ilustrează un raport de analiză generat după efectuarea ergospirometriei. Testarea de efort s-a realizat cu creșterea puterii de exercițiu cu 15 W/minut până la atingerea nivelului maximal. S-au monitorizat în permanență electrocardiograma, gazele respiratorii și valoarea tensiunii arteriale (la interval de 2 minute). Rezultatele au inclus următorii parametri: nivelul maxim de efort, consumul de oxigen, pragul anaerob, eficiența ventilatorie, răspunsul frecvenței cardiace la efort, răspunsul tensiunii arteriale la efort, modificările electrocardiogramei în timpul efortului.

**Rezultate**

- *Nivelul maxim de efort* - s-a atins o valoare maximă de 88 W a nivelului de efort; testul a fost oprit în condițiile oboselii musculare semnificative; în cursul efortului, pacientul nu a declarat simptomatologie sugestivă pentru ischemie miocardică;
- *Consumul de oxigen* – a înregistrat o valoare maximă de 1090 ml/minut. Valoarea consumului maxim de oxigen, normalizată pentru masa corporală a fost 15,14 ml/kg/min, sugestivă pentru o alterare usoara-moderata a capacitatii functionale (clasa B Weber).
- *Pragul anaerob* – Valoarea consumului de oxigen la pragul anaerob, normalizată pentru masa corporală a fost 11,81 ml/kg/min, sugestivă pentru o alterare usoara-moderata a capacitatii functionale (clasa B Weber).
- *Eficiența ventilatorie (panta VE/VCO<sub>2</sub> la pragul anaerob): 37,44 - scăzut;*
- *Răspunsul frecvenței cardiace la efort* - Frecvența cardiacă a avut o valoare de repaus de 88 bătăi/minut, ajungând la o valoare maximă de 151 bătăi/minut (103% din valoarea maximă prezisă).
- *Răspunsul tensiunii arteriale la efort* - Tensiunea arterială a avut valori bazale de 125/75 mmHg, crescând la valori maxime de 160/85 mmHg.
- *ECG:* pe parcursul testării au fost obiectivate rare extrasistole ventriculare monomorfe, monofocale, fara tendinta la sistematizare.

**Concluzii**

- Testarea cardiopulmonară de efort arată o alterare moderata a capacitatii functionale (clasa B Weber). Se recomanda o valoare tinta de 120 batai/minut a frecventei cardiace pentru exercitiul fizic aerobic.

**Figura 18.** Raport de analiză după efectuarea unei ergospirometriei

Testul cu ergospirometru (spiroergometria) este o procedură valoroasă de diagnostic care are indicații precise și contraindicații stricte pentru a asigura siguranța pacientului în situația unui stres fizic controlat.

Indicațiile ergospirometriei sunt:

- diagnosticarea afecțiunilor cardiopulmonare
- evaluarea capacității funcționale - măsurarea obiectivă a nivelului de fitness și a capacității aerobe (VO<sub>2</sub> max) a unui persoane
- stabilirea prognosticului și a riscului
- optimizarea programelor de recuperare - stabilirea unui plan de exerciții personalizat și sigur
- evaluarea pre-operatorie - determinarea riscului chirurgical înainte de intervenții majore
- monitorizarea răspunsului la tratament

Contraindicațiile absolute pentru efectuarea ergospirometriei sunt:

- infarct miocardic acut recent (în ultimele 1-7 zile)
- angină pectorală instabilă
- tulburări de ritm cardiac (aritmii) necontrolate
- insuficiență cardiacă decompensată
- stenoză aortică severă simptomatică
- inflamații cardiace acute - miocardită sau pericardită
- embolie pulmonară acută sau infarct pulmonar
- disecție de aortă sau anevrism aortic semnificativ

Contraindicațiile relative pentru efectuarea spirometriei sunt:

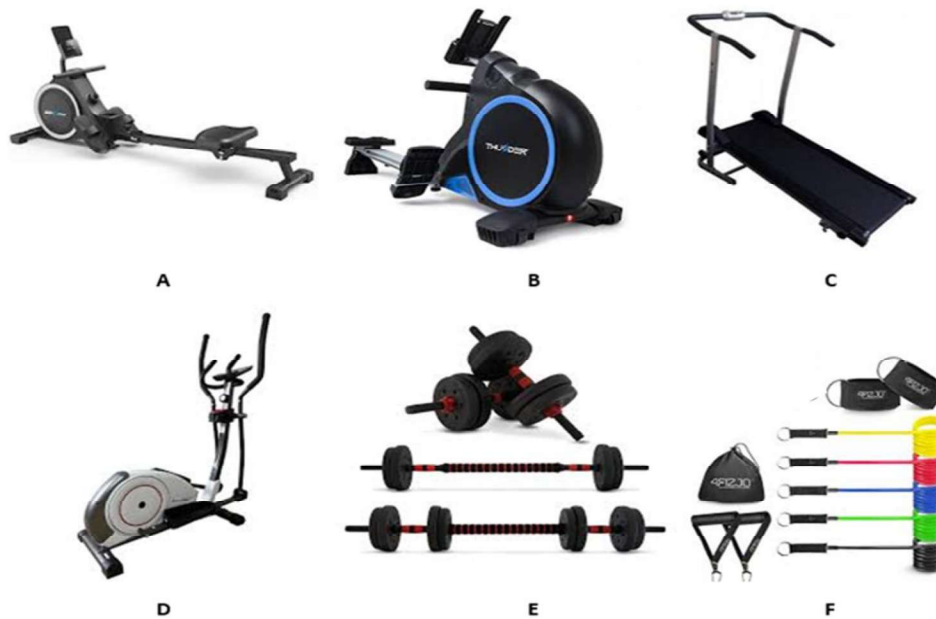
- hipertensiune arterială severă necontrolată în repaus (TA sistolică > 200 mmHg sau diastolică > 110 mmHg)
- stenoză coronariană stângă netratată
- tahicardii sau bradicardii semnificative controlate medicamentos
- tulburări psihice sau cognitive care împiedică cooperarea pacientului
- sarcina avansată sau cu risc crescut de naștere prematură
- diabet zaharat decompensat

Alte tehnologii utilizate în faza 2 a reabilitării cardiovasculare incluse în categoria echipamentelor pentru efectuarea exercițiilor fizice folosite în centrele de reabilitare sunt:

- benzile de alergare (treadmills) - folosite pentru mersul controlat și jogging-ul ușor, având funcții de ajustare a vitezei și înclinației și un buton de oprire de urgență
- aparatele eliptice și de vâslit (rowing machines) - oferă un antrenament complet al corpului, având un impact redus asupra articulațiilor
- echipamentele de antrenament de forță - greutăți libere (gantere), benzi de rezistență și aparate de forță folosite pentru a crește forța musculară și rezistența

Integrarea tehnologiei digitale (e-health) modernizează această fază 2, permițând o mai mare flexibilitate, în special prin modele hibride (clinic + acasă) sau reabilitare complet virtuală, îmbunătățind aderența pacienților la programul recuperator. Tehnologia digitală include utilizarea dispozitivelor portabile sau diferite platforme de software și aplicații mobile.

Figura 19 ilustrează câteva dintre echipamentele folosite în faza 2 de reabilitare cardiovasculară pentru efectuarea exercițiilor fizice controlate (figură adaptată după <https://www.emag.ro/search/benzi+rezistenta+fitness>, <https://sersimo.ro/product/songmics-set-gantere-si-haltera-reglabile-integral-din-otel-20kg/>, <https://www.decathlon.ro/toate-sporturile/fitness/biciclete-eliptice>, <https://hitmag.ro/magnetica-fittronic-m100>, site-uri accesate pe data de 05/12/2025).



**Figura 19.** Echipamente folosite pentru efectuarea exercițiilor fizice controlate. A, B. Aparat de vâslit. C. Bandă de alergare. D. Bicicletă eliptică. E. Gantere. F. Benzi de rezistență

**Dispozitivele mecanice** includ:

- ceasuri inteligente și brățări de fitness - colectează date biometrice, cum ar fi ritmul cardiac, numărul de pași, distanța parcursă și numărul de calorii pierdute, transmițând datele în timp real către serverele clinicii

- senzori și plasturi (patch technology) - tehnologii avansate care pot oferi o monitorizare continuă de la distanță a electrocardiografei sau a altor parametri fiziologici

**Ceasurile inteligente medicale** sunt dispozitive avansate care oferă o varietate de funcții de monitorizare a parametrilor cardiovasculari. Sunt echipate cu senzori sofisticati care oferă o imagine de ansamblu asupra funcționalității cordului, aducând informații despre:

- ritmul cardiac
- saturația oxigenului
- electrocardiograma
- tensiunea arterială
- calitatea somnului
- nivelul glicemiei – tehnologie în curs de dezvoltare

Ceasurile inteligente medicale combină un hardware (LED-uri, fotodetectori, electrozi, uneori pompe de aer) cu software avansat cu algoritmi de inteligență artificială pentru a traduce semnalele fizice și optice în date clinice ușor de înțeles. Acestea funcționează prin utilizarea unor senzori optici și electrice integrați în spatele carcasei care interacționează direct cu pielea pacientului. Măsurarea ritmului cardiac și a saturației de oxigen folosesc ca și tehnologie de bază fotoplethismografia.

Principalele mecanisme utilizate în măsurarea parametrilor cardiovasculari sunt:

- pentru monitorizarea ritmului cardiac – prin LED-uri mici, ceasul emite la suprafața tegumentului o lumină verde (sau alte culori, în funcție de producător); sângele absoarbe această lumină verde; când inima se contractă (sistolă), fluxul de sânge crește, absorbind mai multă lumină, iar în diastolă (relaxarea cordului) fluxul sangvin scade; un fotodetector măsoară lumina reflectată înapoi, iar variațiile acestui semnal sunt folosite pentru a calcula ritmul cardiac
- pentru măsurarea saturației de oxigen - ceasul folosește lumină roșie și infraroșie deoarece sângele oxigenat și cel neoxigenat absoarb diferit aceste lumini; algoritmi ceasului analizează raportul dintre lumina roșie și cea infraroșie reflectată pentru a determina procentul de oxigen din sânge
- pentru monitorizarea electrocardiografei - ceasul are doi electrozi, unul aflat pe spatele carcasei (în contact permanent cu încheietura), iar celălalt fiind integrat în coroana digitală (butonul lateral rotativ); când se inițiază o electrocardiogramă, trebuie atinsă coroana cu degetul celeilalte mâini pentru a se realiza un circuit electric închis; senzorii detectează

- impulsurile electrice și le înregistrează sub forma unei unde similară cu un traseu electrocardiografic tradițional
- pentru măsurarea tensiunii arteriale se folosesc 2 metode: metoda oscilometrică (cu manșetă) și metoda optică (fotopletismografică); metoda oscilometrică presupune existența unei manșete gonflabile în miniatură ascunsă în cureaua ceasului; aceasta funcționează ca un tensiometru medical tradițional - se umflă pentru a bloca temporar fluxul sanguin și apoi se dezumflă controlat, măsurând presiunea sistolică și diastolică prin oscilațiile arteriale; metoda optică folosește senzori optici și estimează tensiunea arterială pe baza formei unde de puls

**Brățările de fitness** folosite în scop medical sunt dispozitive care oferă funcții avansate de monitorizare cardiovasculară precum: ritmul cardiac, tensiunea arterială, saturația oxigenului sau pot integra senzorii pentru electrocardiogramă. Principiul de funcționare este similar celui folosit la ceasurile inteligente medicale, utilizând senzori optici și electrici integrați în spatele carcasei care interacționează direct cu pielea pacientului. Trebuie menționat că majoritatea brățărilor de fitness nu sunt dispozitive medicale certificate și sunt destinate doar pentru monitorizarea generală a stării de sănătate.

**Senzorii și plasturii medicali** sunt dispozitive portabile care aderă la piele și transmit fără fir datele către un receptor sau un telefon inteligent. Fac parte din categoria tehnologiilor avansate care monitorizează diferiți parametri fiziologici la distanță precum electrocardiograma, ritmul cardiac sau saturația oxigenului. Aceștia funcționează utilizând diverse principii fizice și chimice care detectează semnale fiziologice pe care le transformă în date digitale și care sunt transmise, de obicei, wireless, către un dispozitiv de afișare.

Figura 20 include câteva exemple de dispozitive mecanice inteligente folosite pentru monitorizarea la distanță diferiți parametri cardiovasculari (figură adaptată după <https://albena.ro>, <https://artromedicale.ro>, <https://teamdeals.ro>, <https://unizdrav.ro> site-uri accesate pe data de 06.12.2025).



**Figura 20.** Dispozitive mecanice inteligente folosite pentru monitorizarea la distanță diferiți parametri cardiovasculari. A-D - Ceas inteligent – măsurare electrocardiogramă, saturația oxigenului, tensiunea arterială sistolică și diastolică, cele 2 LED-uri care emit unde de lumină. E,F – brățară fitness medicală – măsurare tensiune arterială, frecvență cardiacă. G, H – plasturi și senzori de monitorizare a electrocardiografei

**Platformele software și aplicațiile mobile** (SaMD - Software as a Medical Device) sunt aplicații software și platforme digitale destinate a fi utilizate în scopuri medicale, funcționând independent de un dispozitiv medical fizic. Acestea includ:

- aplicații pe telefoanele inteligente și portaluri web - sunt folosite pentru a accesa planuri de exerciții personalizate, resurse educaționale (nutriție, gestionarea stresului), a înregistra datele colectate de către pacient (jurnale alimentare, tensiune arterială la domiciliu) și pentru a comunica cu echipa medicală
- sisteme de feedback în timp real - pot oferi feedback corecțional sau notificări atunci când obiectivele de activitate sunt atinse

Un SaMD funcționează ca un "creier digital" care preia datele, le analizează folosind inteligența artificială medicală avansată și oferă un rezultat clinic direct folosit pentru diagnosticare, monitorizare, prevenție sau tratament. Implică un flux de procesare a datelor în mai multe etape care

transformă informațiile brute în rezultate clinice. Modul de funcționare cuprinde următorii pași:

- colectarea datelor (input) – datele provin din mai multe surse: date introduse manual de către pacient sau de personalul medical, date de la senzori sau dispozitive medicale portabile, date din alte sisteme IT (dosarele electronice ale pacienților)
- procesarea și analiza datelor - software-ul utilizează algoritmi complecși, adesea bazați pe inteligență artificială și machine learning, pentru a evalua tipare și a procesa volume mari de date; datele brute sunt analizate pentru a identifica modificări specifice, transformând semnalul brut într-o informație medicală interpretativă; modul de procesare este validat clinic
- generarea rezultatelor și interfața cu utilizatorul (output) - oferă recomandări bazate pe dovezi științifice; afișează grafice și alerte în timp real pentru pacienți sau personalul medical, facilitând managementul afecțiunilor cronice; ajută la elaborarea planurilor de tratament individualizate pe baza analizei datelor procesate

SaMD (Software as a Medical Device) reprezintă o componentă cheie a transformării digitale a medicinei, oferind instrumente flexibile și validate pentru a îmbunătăți calitatea, eficiența și accesibilitatea serviciilor medicale. Oferă o serie de beneficii care transformă modul în care sunt furnizate serviciile de sănătate, adresându-se atât pacienților, cât și profesioniștilor în domeniul medical și sistemelor de sănătate.

Beneficiile pentru pacient includ:

- accesibilitatea la serviciile medicale – pacienți aflați în zone geografice izolate
- managementul bolilor cronice – urmărirea și monitorizarea manifestărilor clinice, gestionarea proactivă a stării de sănătate, gestionarea alertelor medicale personalizate
- diagnosticare precoce și inițierea rapidă a tratamentului
- responsabilizarea pacientului - aceștia devin parteneri activi în propriul management al sănătății, având acces direct și în timp real la datele medicale personale și la informații validate clinic

Beneficiile pentru personalul medical sunt:

- sprijin în luarea deciziilor clinice
- eficiență operațională – reducerea sarcinii administrative a personalului medical
- monitorizare continuă și avertizare precoce – personalul medical poate monitoriza de la distanță semnele vitale ale pacienților cu risc ridicat și poate primi alerte automate atunci când parametrii depășesc limitele sigure, permițând intervenții rapide

- inovație și precizie medicală

Beneficiile pentru sistemul de sănătate includ:

- reducerea costurilor - reducerea reinternărilor și optimizarea resurselor medicale
- personalizarea actului medical
- implementarea pe scară largă fără a necesita investiții majore în infrastructura hardware fizică

### **4.3. Faza 3 (de menținere) a reabilitării cardiovasculare**

Faza 3 (de menținere) reprezintă o etapă pe termen lung care începe după aproximativ 6-12 luni de la evenimentul cardiovascular acut. Are o durată nedefinită, integrându-se în stilul de viață al pacientului pe termen lung. Scopul principal este stabilizarea și ameliorarea capacității de efort dobândită pe parcursul fazelor 1 și 2, menținerea unui stil de viață sănătos și controlul factorilor de risc (dietă sănătoasă, oprirea fumatului, evitarea și gestionarea stresului), precum și desfășurarea unei activități fizice regulate acasă, sub supraveghere minimă, pentru a preveni recidivele și a îmbunătăți calitatea vieții pacienților. În această fază se pune accent pe independența pacientului care implică autodisciplină și controale medicale periodice.

Obiectivele fazei 3 de reabilitare cardiovasculară sunt:

- menținerea și îmbunătățirea capacității de efort obținute în faza 2
- independența crescută a pacientului – automonitorizare atentă și continuă
- continuarea programului de exerciții fizice - mers pe jos, jogging, ciclism, înot sau alte sporturi de agrement cu scopul de a atinge un nivel de activitate fizică adecvat, de intensitate moderată, zilnic
- controlul factorilor de risc cardiovasculari
- monitorizarea periodică – controale periodice la medic pentru a evalua boala și tratamentul recomandat
- educație medicală continuă - materiale informative sau sesiuni de consiliere pentru un stil de viață sănătos

Spre deosebire de fazele inițiale care implică echipamente spitalicești complexe, faza 3 a reabilitării cardiovasculare se bazează pe tehnologii medicale accesibile care permit pacienților să își gestioneze independent starea lor de sănătate, sub supraveghere medicală periodică. Utilizează o gamă variată de tehnologii medicale și digitale, orientate în primul rând către automonitorizare, telemedicină și menținerea unui stil de viață activ pe termen lung. Dispozitivele sunt concepute pentru a trece controlul din mediul clinic supravegheat în mâinile pacientului, oferind instrumentele necesare

pentru a menține un nivel optim de siguranță și eficacitate a programului de exerciții fizice.

Tehnologiile medicale includ următoarele elemente care cresc aderența pacienților la programul de menținere îndelungat.

**Dispozitivele medicale portabile** care permit monitorizarea continuă și non-invazivă a parametrilor fiziologici zilnici sunt:

- dispozitive de monitorizare a activității fizice - pedometre, brățări de fitness, ceasuri inteligente
- dispozitive de monitorizare a ritmului cardiac - integrate adesea în ceasuri inteligente sau sub formă de benzi toracice
- tensiometre digitale - aparate automate de măsurare a tensiunii arteriale
- cântare inteligente - dispozitive conectate la aplicații mobile care ajută la monitorizarea greutateii corporale
- dispozitive electrocardiografice portabile - permit înregistrarea unei electrocardiograme cu o singură derivație fiind conectate direct la încheietura sau fiind plasate pe pieptul pacientului

Figura 21 prezintă câteva dintre aceste dispozitive medicale portabile de monitorizare non-invazivă a parametrilor fiziologici (figură adaptată după <https://unizdrav.ro> , site accesat pe data de 06.12.2026).



**Figura 21.** Dispozitive medicale portabile de monitorizare non-invazivă a parametrilor fiziologici. A. Pedometru. B. Cântar inteligent cu posibilitate de conectare la telefon. C. Bandă toracică de înregistrare a electrocardiogramei cu o singură derivație

**Tehnologiile utilizate pentru antrenamentul fizic** al pacientului în această fază a reabilitării cardiovasculare sunt:

- bicicletele staționare (ergometre)
- bicicletele eliptice
- benzile de alergat
- echipamentele pentru exerciții de forță - aparate izotonice sau izokinetice computerizate care monitorizează forța dezvoltată și numărul de repetări ale exercițiilor recomandate

**Tehnologiile de telemedicină și platformele digitale** care facilitează comunicarea și transferul de date între pacient și echipa medicală, reducând necesitatea vizitelor fizice frecvente, sunt:

- aplicații mobile și portaluri web - pacienții introduc sau sincronizează datele colectate de la dispozitivele portabile; pot oferi un conținut educațional personalizat (nutriție, gestionarea stresului, medicație) și planuri de exerciții adaptate situației fizice a pacientului
- telemedicină - comunicarea audio-vizuală permite medicilor / personalului medical să ofere consiliere, să ajusteze schema de tratament și să supravegheze (virtual) sesiunile de exerciții fizice
- sisteme de feedback automatizat - aplicații care utilizează inteligența artificială pentru a analiza datele pacientului și a genera rapoarte periodice sau diferite alerte

Reabilitarea cardiovasculară este un program complex și individualizat, supervizat medical, destinat pacienților cu afecțiuni cardiovasculare pentru a se recupera după un eveniment acut, în vederea gestionării optime a simptomelor și pentru a reduce riscul de evenimente cardiovasculare ulterioare. Programul presupune efectuarea unor exerciții fizice atent supravegheate, precum și educație și consiliere pentru adoptarea unui stil de viață sănătos. Cele 3 etape descrise anterior sunt obligatorii de parcurs, crescând șansele pacientului de a se recupera complet și a avea o viață normală.

Reabilitarea cardiovasculară este o componentă esențială și extrem de eficientă în tratamentul modern al pacienților cu afecțiuni cardiovasculare. Are o eficiență dovedită medical prin studii clinice, îmbunătățește calitatea vieții pacienților prin creșterea capacității de efort și reducerea simptomelor clinice, este multifactorială și participă la prevenția secundară pe termen lung.

În concluzie, putem afirma faptul că reabilitarea cardiovasculară nu este doar o recomandare, ci o necesitate medicală care transformă prognosticul pacienților cu afecțiuni cardiovasculare.

## Bibliografie

1. Alian AA, Shelley KH. Photoplethysmography. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2014 Dec;28(4):395-406.
2. Araújo S, Rouxinol-Dias A, Mesquita-Bastos J, Silva J, Barbosa L, Polónia J. Ambulatory blood pressure monitoring profiles in a cross-sectional analysis of a large database of normotensive and true or suspected hypertensive patients. *Rev Port Cardiol (Engl Ed).* 2018:319-327.
3. Balady GJ, Ades PA, Bittner VA, Franklin BA, Gordon NF, Thomas RJ, Tomaselli GF, Yancy CW., American Heart Association Science Advisory and Coordinating Committee. Referral, enrollment, and delivery of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs at clinical centers and beyond: a presidential advisory from the American Heart Association. *Circulation.* 2011;124(25):2951-2960.
4. Boggiano VL, Alkhalidi R, Barzin AH. Cardiac Rehabilitation: Indications, Benefits, and New Approaches. *Am Fam Physician.* 2025;112(3):272-277.
5. Bouzid Z, Faramand Z, Martin-Gill C, et al. Incorporation of serial 12-lead electrocardiogram with machine learning to augment the out-of-hospital diagnosis of non-ST elevation acute coronary syndrome. *Ann Emerg Med.* 2023(1):57-69.
6. Bozkurt B, Fonarow GC, Goldberg LR, et al.: Cardiac rehabilitation for patients with heart failure: JACC expert panel. *J Am Coll Cardiol.* 2021, 77:1454-1469.
7. Brown TM, Pack QR, Aberegg E, Brewer LC, Ford YR, Forman DE, Gathright EC, Khadanga S, Ozemek C, Thomas RJ; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation and Secondary Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; and Council on Quality of Care and Outcomes Research. Core Components of Cardiac Rehabilitation Programs: 2024 Update: A Scientific Statement From the American Heart Association and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation.* 2024;150(18):e328-e347.
8. Chong MS, Sit JW, Karthikesu K, Chair SY: Effectiveness of technology-assisted cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud.* 2021, 124:104087.

9. Cordeiro ALL, Barbosa HCM, Vaz KP, Souza LSE, Souza LB, Matos TO, Guimarães ARF. Effects of Cycloergometer on Cardiopulmonary Function in Elderly Patients after Coronary Artery Bypass Grafting: Clinical Trial. *Cardiol Res Pract.* 2024;2024:3808437.
10. Damluji AA, Tomczak CR, Hiser S, O'Neill DE, Goyal P, Pack QR, Foulkes SJ, Brown TM, Haykowsky MJ, Needham DM, Forman DE. Benefits of Cardiac Rehabilitation: Mechanisms to Restore Function and Clinical Impact. *Circ Res.* 2025;137(2):255-272.
11. Dibben GO, Faulkner J, Oldridge N, Rees K, Thompson DR, Zwisler AD, Taylor RS: Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: a meta-analysis. *Eur Heart J.* 2023; 44:452-469.
12. Dogru S, Parent AA, Coppel J, Karaman T, Aydinli B, Demir ZA. Perfusion Index: Identifying the Optimal Finger for Accurate Measurement. *Iran Red Crescent Med J.* 2024;101.1-5.
13. Dores H, Mendes M, Abreu A, Durazzo A, Rodrigues C, Vilela E, Cunha G, Gomes Pereira J, Bento L, Moreno L, Dinis P, Amorim S, Clemente S, Santos M. Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice: Principles, applications, and basic interpretation. *Rev Port Cardiol.* 2024;43(9):525-536.
14. Economidou EC, Lianopoulou B, Soteriades S, Soteriades ES. Cardiac Rehabilitation Programs: Content, Effectiveness, Limitations, and Gaps in Knowledge. *Cardiol Rev.* 2024;32(2):157-161.
15. Ennis S, Lobley G, Worrall S, et al. Effectiveness and safety of early initiation of poststernotomy cardiac rehabilitation exercise training: the SCAR randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 2022; 7: 817-824.
16. Fernstad J, Svennberg E, Åberg P, Kemp Gudmundsdottir K, Jansson A, Engdahl J. Validation of a novel smartphone-based photoplethysmographic method for ambulatory heart rhythm diagnostics: the SMARTBEATS study. *Europace.* 2024; 26 (4).
17. Visseren, Frank LJ, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the Task Force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies with the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart J.* 2021, 42.34: 3227-3337.
18. Freund O, Caspi I, Alcalay I, Brezis MR, Frydman S, Bornstein G. An old diagnostic tool for new indications: inpatient Holter ECG for

- conditions other than syncope or stroke. *Sci Rep*. 2023 Aug 2;13(1):12510.
19. Golbus JR, Lopez-Jimenez F, Barac A, Cornwell WK 3rd, Dunn P, Forman DE, Martin SS, Schorr EN, Supervia M; Exercise, Cardiac Rehabilitation and Secondary Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Lifelong Congenital Heart Disease and Heart Health in the Young; Council on Quality of Care and Outcomes Research; and Council on Cardiovascular and Stroke Nursing. Digital Technologies in Cardiac Rehabilitation: A Science Advisory From the American Heart Association. *Circulation*. 2023;148(1):95-107.
  20. Hafen BB, Sharma S. Oxygen Saturation. [Updated 2022 Nov 23]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525974/>
  21. Heimer M, Schmitz S, Teschler M, Schäfer H, Douma ER, Habibovic M, Kop WJ, Meyer T, Mooren FC, Schmitz B. eHealth for maintenance cardiovascular rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2023;30(15):1634-1651.
  22. Iliou MC, Blanchard JC, Lamar-Tanguy A, Cristofini P, Ledru F: Cardiac rehabilitation in patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2016; 86:756.
  23. Izawa H, Yoshida T, Ikegame T, et al. Standard cardiac rehabilitation program for heart failure. *Circ J*. 2019;83:2394-2398.
  24. Izquierdo-García J, Arranz-Escudero A, Tello de Meneses R, De la Torre N, Amat-Macías IM, Castillo Martín JI, Sanz-Ayán MP, Moreno G. Efficacy of a cardiac rehabilitation program in a municipal sports center compared to the hospital program: randomized controlled trial eCARCEX. *An Sist Sanit Navar*. 2023;46(3):e1050.
  25. Josephson RA. Cardiac rehabilitation 2022. *Prog Cardiovasc Dis*. 2022;70:1.
  26. Kario K, Hoshida S, Chia YC, Buranakitjaroen P, Siddique S, Shin J, Turana Y, Park S, Tsoi K, Chen CH, Cheng HM, Fujiwara T, Li Y, Huynh VM, Nagai M, Naites J, Sison J, Soenarta AA, Sogunuru GP, Sukonthasarn A, Tay JC, Teo BW, Verma N, Wang TD, Zhang Y, Wang JG. Guidance on ambulatory blood pressure monitoring: A statement from the HOPE Asia Network. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2021 Mar;23(3):411-421.

27. Kashou AH, Noseworthy PA, Beckman TJ, et al. Impact of computer-interpreted ECGs on the accuracy of healthcare professionals. *Curr Probl Cardiol.* 2023 ;48 (11):101989.
28. Kędzierski K, Radziejewska J, Sławuta A, Wawrzyńska M, Arkowski J. Telemedicine in Cardiology: Modern Technologies to Improve Cardiovascular Patients' Outcomes-A Narrative Review. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(2):210.
29. Khadanga S, Savage P, Keteyian S, Yant B, Gaalema D, Ades P. Cardiac rehabilitation: the gateway for secondary prevention. *Heart.* 2024;110(24):1427-1436.
30. Kidholm K, Jensen LK, Johansson M, Montori VM. Telemedicine and the assessment of clinician time: a scoping review. *Int J Technol Assess Health Care.* 2023 Dec 15;40(1):e3.
31. Kourek C, Dimopoulos S, Alshamari M, Zouganeli V, Psarra K, Mitsiou G, Ntalianis A, Pittaras T, Nanas S, Karatzanos E. A Cardiac Rehabilitation Program Increases the Acute Response of Endothelial Progenitor Cells to Maximal Exercise in Heart Failure Patients. *Acta Cardiol Sin.* 2022;38(4):516-520.
32. Kumar, D, Hazra, P, Gharat, C. Long-Term Outcomes of Digital Cardiac Rehabilitation. *JACC: Asia.* 2025; 5 (10):1225–1238.
33. Mampuya WM. Cardiac rehabilitation past, present and future: an overview. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2012;2(1):38-49.
34. Maximidou T, Mons U. Benefits of wearable-based cardiac rehabilitation interventions in secondary prevention of coronary artery disease - a systematic review and meta-analysis. *Am J Prev Cardiol.* 2025;23:101015.
35. McDonagh ST, Dalal H, Moore S, Clark CE, Dean SG, Jolly K, Cowie A, Afzal J, Taylor RS. Home-based versus centre-based cardiac rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;10(10):CD007130.
36. McMahon SR, Ades PA, Thompson PD. The role of cardiac rehabilitation in patients with heart disease. *Trends Cardiovasc Med.* 2017;27(6):420-425.
37. Mubarik A, Iqbal AM. Holter Monitor. [Updated 2022 Jul 25]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK538203/>

38. Muñoz-Macho AA, Dominguez-Morales MJ, Sevillano-Ramos JL. An innovative 12-lead resting electrocardiogram dataset in professional football. *Data Brief*. 2024;54:110444.
39. Nagatomi Y, Ide T, Higuchi T, et al.: Home-based cardiac rehabilitation using information and communication technology for heart failure patients with frailty. *ESC Heart Fail*. 2022, 9:2407-2418.
40. Nemcsik J, Takács J, Kekk Z, Farsang C, Simon A, Páll D, Torzsa P, Dolgos S, Habony N, Koller Á, Pásztor D, Járαι Z. White-coat effect and masked hypertension in patients with high-normal office blood pressure: results of the Hungarian ABPM Registry. *J Hypertens*. 2024;42(11):1976-1984.
41. Passantino A., Dalla Vecchia L. A., Corrà U., Scalvini S., Pistono M., Bussotti M., et al. The Future of Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Patients With Heart Failure. *Front Cardiovasc. Med*. 2021; 8:709898.
42. Paudel B, Paudel K. The diagnostic significance of the holter monitoring in the evaluation of palpitation. *J Clin Diagn Res*. 2013 Mar;7(3):480-483.
43. Pérez-Gosalvez A, García-Muro San José F, Carrión-Otero O, Pérez-Fernández T, Fernández-Rosa L. Blood Pressure and Heart Rate Responses to an Isokinetic Testing Protocol in Professional Soccer Players. *J Clin Med*. 2022;11(6):1539.
44. Price KJ, Gordon BA, Bird SR, Benson AC: A review of guidelines for cardiac rehabilitation exercise programmes: is there an international consensus?. *Eur J Prev Cardiol*. 2016; 23:1715-1733.
45. Ragazzoni GL, Cavigli L, Cavarretta E, et al. How to evaluate resting ECG and imaging in children practising sport: a critical review and proposal of an algorithm for ECG interpretation. *Eur J Prev Cardiol*. 2023; 30 (5):375-383.
46. Risom SS, Zwisler AD, Johansen PP, et al.: Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with atrial fibrillation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017; 2:CD011197.
47. Ruano-Ravina A, Pena-Gil C, Abu-Assi E, et al.: Participation and adherence to cardiac rehabilitation programs. A systematic review. *Int J Cardiol*. 2016; 223:436-43.
48. Rubesch-Kütemeyer V, Reibis R, Völler H, Gielen S. Das EKG in der Rehabilitation [The ECG in cardiac rehabilitation]. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol*. 2023;34(1):3-9.

49. Sattar Y, Chhabra L. Electrocardiogram. [Updated 2023 Jun 5]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549803/>
50. Schneider D, Köhler K, Köhler F. Telemedizin in der Kardiologie – was ist neu? [Telemedicine in cardiology - what is new?]. *Dtsch Med Wochenschr.* 2023 Jun;148(12):767-773.
51. Squires RW, Bonikowske AR: Cardiac rehabilitation for heart transplant patients: considerations for exercise training. *Prog Cardiovasc Dis.* 2022; 70:40-48.
52. Stefanakis M, Batalik L, Antoniou V, Pepera G: Safety of home-based cardiac rehabilitation: a systematic review. *Heart Lung.* 2022; 55:117-126.
53. Sun X, He H, Xu M, Long Y. Peripheral perfusion index of pulse oximetry in adult patients: a narrative review. *Eur J Med Res.* 2024;29(1):457.
54. Taylor JL, Holland DJ, Keating SE, et al.: Short-term and long-term feasibility, safety, and efficacy of highintensity interval training in cardiac rehabilitation: the FITR heart study randomized clinical trial. *JAMA Cardiol.* 2020;5:1382-1389.
55. Taylor RS, Dalal HM, McDonagh STJ. The role of cardiac rehabilitation in improving cardiovascular outcomes. *Nat Rev Cardiol.* 2022;19(3):180-194.
56. Terada T, Hausen M, Way KL, O'Neill CD, Marçal IR, Dorian P, Reed JL. Wearable Devices for Exercise Prescription and Physical Activity Monitoring in Patients with Various Cardiovascular Conditions. *CJC Open.* 2025;7(5):695-706.
57. Thamman R, Janardhanan R. Cardiac rehabilitation using telemedicine: the need for tele cardiac rehabilitation. *Rev Cardiovasc Med.* 2020;21(4):497-500.
58. Thomas RJ, Beatty AL, Beckie TM, et al.: Home-based cardiac rehabilitation: a scientific statement from the american association of cardiovascular and pulmonary rehabilitation, the American Heart Association, and the American College of Cardiology. *Circulation.* 2019; 140:e69-89.
59. Thomas RJ. Cardiac Rehabilitation - Challenges, Advances, and the Road Ahead. *N Engl J Med.* 2024;390(9):830-841.

60. Vavrinsky E, Subjak J, Donoval M, Wagner A, Zavodnik T, Svobodova H. Application of Modern Multi-Sensor Holter in Diagnosis and Treatment. *Sensors (Basel)*. 2020;20(9):2663.
61. WHO Expert Committee on Rehabilitation After Cardiovascular Diseases With Special Emphasis on Developing Countries; World Health Organization. Rehabilitation after cardiovascular diseases, with special emphasis on developing countries: report of a WHO expert committee [meeting held in Geneva from 21 to 18 October 1991]. Accessed november 2025. <https://iris.who.int/handle/10665/38455>
62. Yeo TJ, Wang M, Grignani R, McKinney J, Koh LP, Tan FHY, et al. Electrocardiographic and echocardiographic insights from a prospective registry of Asian elite athletes. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:799129.
63. <https://artromedicale.ro/produse-ortopedice/aparate-monitorizare-glicemie/ceas-monitorizare-tensiune-arteriala-oxigenare-spo2-glicemie-ritm-cardiac-2025f>
64. <https://cleio.com/insights/blog/software-as-a-medical-device-samd/>
65. <https://emeraldmed.ro/wp-content/uploads/2023/03/cetp-1.jpg>
66. <https://meddevsoft.com/samd-software-as-a-medical-device/>
67. <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/16330-24-hour-ambulatory-blood-pressure-monitoring>
68. <https://teamdeals.ro/ceas-bratară-fitness-inteligentă-funcții-smartwatch-monitorizare-sanatate-eleganta-unisex/p?srsId=AfmBOoqLxrzZtj1NUTwlhC7In1cfBb13rVfvoxIlpLYl8kCh0lIEhiCv>
69. <https://ufhealth.org/conditions-and-treatments/ambulatory-blood-pressure-monitoring-abpm>
70. <https://unizdrav.ro/produse/1599/pedometru-omron-walking-style-iv>
71. [https://unizdrav.ro/produse/3443/cantar-smart-cu-diagnosticare-a-15-parametri-corporali-display-led-bluetooth-si-aplicatie-mobila?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=20160020147&utm\\_content=CjwKCAiAxc\\_JBhA2EiwAFVs7XL4i0xR0a68oezZHbyIoLtnjtAqFGXF6hELhL5BFGt33bwosGmZZLRoCRMgQAvD\\_BwE&gclid=CjwKCAiAxc\\_JBhA2EiwAFVs7XL4i0xR0a68oezZHbyIoLtnjtAqFGXF6hELhL5BFGt33bwosGmZZLRoCRMgQAvD\\_BwE&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20155400286&gbraid=0AAAAAppQQk95tRHYr3LA9TJKsqkfUD9pa](https://unizdrav.ro/produse/3443/cantar-smart-cu-diagnosticare-a-15-parametri-corporali-display-led-bluetooth-si-aplicatie-mobila?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20160020147&utm_content=CjwKCAiAxc_JBhA2EiwAFVs7XL4i0xR0a68oezZHbyIoLtnjtAqFGXF6hELhL5BFGt33bwosGmZZLRoCRMgQAvD_BwE&gclid=CjwKCAiAxc_JBhA2EiwAFVs7XL4i0xR0a68oezZHbyIoLtnjtAqFGXF6hELhL5BFGt33bwosGmZZLRoCRMgQAvD_BwE&gad_source=1&gad_campaignid=20155400286&gbraid=0AAAAAppQQk95tRHYr3LA9TJKsqkfUD9pa)
72. [https://unizdrav.ro/produse/3448/monitor-de-ritm-cardiac-holter-ekg-ecg-24h-cu-analiza-online-a-datelor?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=20160](https://unizdrav.ro/produse/3448/monitor-de-ritm-cardiac-holter-ekg-ecg-24h-cu-analiza-online-a-datelor?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20160)

020147&utm\_content=CjwKCAiAxc\_JBhA2EiwAFVs7XG-lacW0cKjeu-LT3b9ygboSvrZcjFpL8-BiPmNR8YfSa4XlCC386BoCiokQAvD\_BwE&gclid=CjwKCAiAxc\_JBhA2EiwAFVs7XG-lacW0cKjeu-LT3b9ygboSvrZcjFpL8-BiPmNR8YfSa4XlCC386BoCiokQAvD\_BwE&gad\_source=1&gad\_campaignid=20155400286&gbraid=0AAAAAppQOk95tRHYr3LA9TJKsqkfUD9pa

73. [https://www.alhena.ro/ceas-inteligent-pentru-masurarea-glicemiei-fara-intepare-alhena-monitorizare-ritm-cardiac-temperatura-ekg-pulsul-precizie-glicemie-spo2-bp-24h-monitorizare-sanatate-smartwatch?srsltid=AfmBOooWHx958a0WCMxa8qSynYJEK-srWhhlF\\_cL9df6SJOvWiOM6HTu](https://www.alhena.ro/ceas-inteligent-pentru-masurarea-glicemiei-fara-intepare-alhena-monitorizare-ritm-cardiac-temperatura-ekg-pulsul-precizie-glicemie-spo2-bp-24h-monitorizare-sanatate-smartwatch?srsltid=AfmBOooWHx958a0WCMxa8qSynYJEK-srWhhlF_cL9df6SJOvWiOM6HTu)
74. <https://www.emag.ro/search/benzi+rezistenta+fitness>
75. [https://www.facebook.com/CardiocenterIasi/photos/monitorizare-holter-ekgmonitorizarea-holter-ekg-permite-%25C3%25AEnregistrarea-electrocar/796748877087923/?locale=ro\\_RO](https://www.facebook.com/CardiocenterIasi/photos/monitorizare-holter-ekgmonitorizarea-holter-ekg-permite-%25C3%25AEnregistrarea-electrocar/796748877087923/?locale=ro_RO)
76. [https://www.ganshorn-medical.com/wp-content/uploads/2024/08/ergo\\_only1-1-1011x1024.png](https://www.ganshorn-medical.com/wp-content/uploads/2024/08/ergo_only1-1-1011x1024.png)
77. [https://www.gimaitaly.com/prodotti.asp?sku=35112&dept\\_selected=54&dept\\_id=558](https://www.gimaitaly.com/prodotti.asp?sku=35112&dept_selected=54&dept_id=558)     <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electrocardiogram>
78. <https://www.medicalcorp.ro/info/ekg-ce-trebuie-sa-stii>

## 5. INTEGRAREA TEHNOLOGIEI ÎN REABILITAREA NEUROLOGICĂ

Tehnologia în recuperarea neurologică continuă să evolueze rapid, cu posibilitatea de a îmbunătăți semnificativ rezultatele clinice prin terapii individualizate și produse avansate. Această transformare este susținută și de noi dezvoltări în neurotehnologie și inteligență artificială (AI), care conduc la o dezvoltare recentă a termenului „minte hibridă” – mintea creată din fuziunea cogniției umane și a modelelor computerizate. Convergența are loc prin intermediul interfețelor creier-computer bazate pe AI, stimulare profundă a creierului și sisteme de neurofeedback adaptiv, pentru a susține acuratețea și neuromodularea în timp real.

Integrarea cu tehnologiile în recuperarea neurologică implică sisteme și dispozitive avansate, cum ar fi AI, neurotehnologia, robotica, realitatea virtuală și ingineria neuromorfă. Acest lucru are rolul de a restabili recuperarea funcțională și a permite îmbunătățirea independenței sau a bunăstării și calității vieții pentru pacienții care au tulburări neurologice.

Pentru a integra aceste sisteme, următoarele obiective sunt evidențiate:

- Restaurarea funcțională: restaurarea circuitelor neurologice afectate și compensarea funcțiilor pierdute în cazul accidentului vascular cerebral, leziunilor traumatiche ale creierului, leziunilor măduvei spinării și altor boli neurodegenerative.
- Augmentarea capacităților umane: dezvoltarea de neuroproteze inteligente și dispozitive asistate de AI care abordează condiții medicale grave și îmbunătățesc facultățile umane printr-un sistem cognitiv biologic/artificial integrat.
- Personalizarea și optimizarea terapiei: optimizarea planului de tratament prin utilizarea algoritmilor avansați care decodează activitatea cerebrală pentru a personaliza abordarea și interfața creier-computer. Aceste mecanisme permit monitorizarea rezultatelor, modificarea tratamentului și decizii bazate pe dovezi.
- Optimizarea neuroplasticității: valorificarea modulației în buclă închisă și a algoritmilor neuroadaptivi pentru a promova neuroplasticitatea și recuperarea funcțională prin repetiții de mare intensitate și sarcini specifice.
- Îmbunătățirea calității vieții și implicarea pacientului: prin oferirea de soluții de reabilitare și asistență care îmbunătățesc dramatic calitatea vieții, motivația și implicarea pacientului prin medii de joc și *feedback* cantitativ.

- Extinderea accesibilității terapiei: telereabilitarea (TR) și crearea de dispozitive portabile fac recuperarea mai ușoară și reduc dependența de resursele umane în centrele specializate.

Progresele recente în domeniu au dus la dezvoltarea și aplicarea mai multor tipuri de tehnologii, contribuind la o abordare multidisciplinară:

- A. Interfețele creier-computer (BCI)** folosesc algoritmi avansați pentru a decodifica în timp real semnalele cerebrale, permițând persoanelor cu paralizie să controleze membre robotice, scaune cu roțile sau să introducă text prin gând. Dezvoltarea BCI-urilor, susținută de progresele în tehnologia computerizată, bioinginerie și neuroștiință, promite progrese semnificative în neurorecuperare, inclusiv controlul dispozitivelor robotice și interacțiunea cu medii de realitate virtuală prin semnale cerebrale.
- B. Realitatea Virtuală (VR) și Realitatea Augmentată (AR)** au atras atenția datorită capacității de a oferi sesiuni de antrenament personalizate și de a crește angajamentul pacienților. Aceste tehnologii permit programe terapeutice adaptate în medii simulate pe computer, oferind o validitate ecologică ridicată și experiențe similare celor naturale. VR este utilizată în reabilitarea motorie și cognitivă, demonstrând îmbunătățiri ale capacității funcționale la pacienții post-accident vascular cerebral (AVC) și în reabilitarea membrelor superioare pentru diverse tulburări neurologice. VR și AR sunt considerate instrumente esențiale în procesul de recuperare.
- C. Robotica și dispozitivele asistate robotic** sunt utilizate pe scară largă, respectând principiile reînvățării motorii și neuroplasticității. Roboții oferă asistență și *feedback* în timp real, facilitând intervenții de reabilitare precise și direcționate. Aceste tehnologii sunt esențiale pentru antrenamentul precoce al verticalizării și mersului și includ dispozitive portabile care completează procesul de neuroreabilitare.
- D. Neuroprotezarea inteligentă și dispozitivele asistate de AI** integrează AI pentru a restaura funcții senzoriale, motorii și cognitive pierdute, oferind un control mai precis și rapid. Dispozitivele bioelectronice care interacționează cu sistemul nervos pot trata simptomele motorii ale bolii Parkinson sau pot restabili funcția motorie după leziuni ale măduvei spinării.
- E. Sisteme AI-Enhanced** folosesc algoritmi de învățare automată și profundă pentru a interpreta modele complexe de activitate neurală, permițând control precis al membrelor protetice și noi metode de comunicare. Aceste sisteme se adaptează nevoilor fiecărui utilizator, oferind asistență personalizată și contextuală.
- F. Telemedicina și telereabilitarea** reprezintă un model modern de furnizare a serviciilor de reabilitare, utilizat mai ales după pandemie.

Acestea folosesc tehnologii digitale precum dispozitive portabile, robotică și realitate virtuală pentru a îmbunătăți calitatea vieții pacienților.

**G. Dispozitivele portabile și senzorii** permit monitorizarea continuă, accesul facil la terapie și implicarea activă a pacientului. Senzorii de mișcare și cei fiziologici colectează date obiective pentru adaptarea programelor terapeutice și urmărirea progresului recuperării.

**H. Ingineria neuromorfică** imită arhitectura creierului și contribuie la dezvoltarea unor sisteme AI eficiente energetic, capabile să proceseze informații complexe similar sistemelor neuronale biologice.

### Clasificările tehnologiilor

Clasificările generale ale acestor tehnologii pot fi realizate după funcționalitatea lor principală sau de modul de interacțiune.

**Tabel 1. Clasificări ale tehnologiilor utilizate în recuperarea neurologică**

Criteria de clasificare	Tip de tehnologie	Descriere
Funcționalitate	Tehnologii asistive	Compensarea dizabilităților existente pentru îmbunătățirea autonomiei
	Tehnologii de reabilitare	Restaurarea funcțională prin promovarea neuroplasticității și antrenamentul circuitelor neurologice
	Tehnologii de augmentare	Extinderea capacităților umane dincolo de funcțiile normale sau restabilite
Interacțiune VR	Imersivă individuală	Experiențe VR complete pentru un singur utilizator, ideale pentru concentrație ridicată
	Semi-imersivă individuală	Experiențe VR parțiale pentru un singur utilizator, cu încă o conștientizare a mediului real
	Non-imersivă individuală	Utilizarea ecranelor tradiționale pentru experiențe VR, cu sarcină cognitivă minimă
	Imersivă <i>multi-player</i>	Experiențe VR complete cu mai mulți utilizatori, utile pentru abilități sociale
	Semi-imersivă <i>multi-player</i>	Experiențe VR parțiale cu mai mulți utilizatori
	Non-imersivă <i>multi-player</i>	Utilizarea ecranelor tradiționale cu mai mulți utilizatori

## **Considerații etice**

Crearea și utilizarea unor astfel de tehnologii sofisticate ridică provocări etice semnificative, inclusiv protecția vieții private, securitatea datelor și autonomia. Conexiunea AI cu neurotehnologiile introduce preocupări suplimentare în ceea ce privește identitatea și acuratețea algoritmilor. De asemenea, va fi nevoie de un cadru legislativ și de o legislație contextualizată, pentru a asigura păstrarea drepturilor indivizilor și a facilita bunăstarea socială. Între timp, trebuie să existe un accent pe conștientizarea publicului și pe alfabetizarea digitală, dacă neurotehnologiile urmează să fie utilizate eficient și echitabil.

## **5.1. Interfețe creier-computer**

Interfețele creier-computer (BCI) reprezintă o tehnologie avansată care permite comunicarea directă între creierul uman și diverse dispozitive externe, evitând căile nervoase periferice și musculatura. Aceste sisteme traduc activitatea neurală în comenzi interpretate de un calculator, deschizând noi perspective pentru recuperarea și asistența persoanelor cu afecțiuni neurologice severe. BCI-urile convertesc semnalele din sistemul nervos central (SNC) în comenzi pentru dispozitive externe, oferind beneficii semnificative pacienților cu deficiențe severe de comunicare și motorii cauzate de afecțiuni precum AVC, leziunile măduvei spinării sau tulburările neurodegenerative. Aceste sisteme permit interacțiunea cu dispozitive precum brațe robotice, scaune cu roțile sau calculatoare, utilizând exclusiv activitatea neurală. Intențiile utilizatorului sunt decodificate din semnale electrice, magnetice, termice sau chimice generate de creier și transformate în comenzi. Astfel, tehnologia BCI stabilește un canal de comunicare și control direct între creier și dispozitivele externe.

*Efectele terapeutice* includ:

- Recuperarea motorie, prin îmbunătățirea abilităților motorii după AVC și promovarea învățării motorii facilitate de neuroplasticitate. BCI-urile contribuie la reabilitarea „de sus în jos” și pot sprijini restabilirea funcției cerebrale prin influențarea neurofiziologiei creierului.
- Restaurarea funcțională: BCI-urile pot contribui la restabilirea conștiinței și funcționalității la pacienții cu sechele ale bolilor cerebrale majore. Acestea pot compensa sau reînvăța funcțiile pierdute, îmbunătățind funcția senzitivo-motorie și vizând restabilirea funcțiilor neurologice în contextul neuroreabilitării.
- Creșterea capacității: în bolile neurodegenerative precum Alzheimer, Parkinson și scleroza laterală amiotrofică (SLA), BCI-urile pot înlocui

sau augmenta funcționalitățile compromise ale sistemului nervos central.

- Îmbunătățirea somatosenzorială: studiile au evidențiat îmbunătățiri în multiple arii somatosenzoriale, inclusiv cele legate de localizarea durerii, atingerea fină sau grosieră, propriocepția și controlul motor autonom sub nivelul leziunii măduvei spinării.
- Comunicare și control: pacienții cu paralizie pot utiliza BCI-urile pentru a controla membre robotice, scaune cu roțile sau pentru a scrie text prin activitate mentală. Aceste sisteme oferă un mijloc de comunicare și control pentru persoanele cu dizabilități severe, contribuind la îmbunătățirea calității vieții prin restabilirea capacității de a interacționa cu mediul înconjurător.

*Indicații:*

BCI sunt recomandate pentru o gamă largă de afecțiuni neurologice care determină pierderea funcției motorii sau de comunicare:

- Paralizie severă: sindromul "locked-in" cauzat de AVC, SLA sau alte condiții. BCI-urile sunt concepute pentru a îmbunătăți calitatea vieții și eficiența muncii pacienților, persoanelor cu dizabilități și chiar a persoanelor sănătoase.
- AVC: reabilitarea motorie a membrelor superioare și recuperarea mersului. Sunt un instrument important pentru disfuncțiile motorii la pacienții cu leziuni ale SNC.
- Boli neurodegenerative: Alzheimer, Parkinson și SLA, pentru restaurarea sau augmentarea funcțiilor.
- Leziuni ale măduvei spinării: utilizate pentru neuroreabilitarea mersului și restaurarea funcției motorii.
- Dizabilități și deficiențe funcționale: recomandate pacienților care necesită reabilitare neurologică și restabilirea conștienței sau a funcționalității.
- Tulburări psihice: BCI-urile sunt utilizate și la pacienți cu tulburări psihice, inclusiv tulburarea de deficit de atenție și hiperactivitate, schizofrenie și depresie.
- Neglijarea spațială unilaterală: cercetările actuale investighează utilizarea BCI-urilor în reabilitarea cognitivă, în special pentru tulburările de atenție vizuală, cum ar fi neglijarea spațială unilaterală.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

Utilizarea BCI-urilor, în special a celor invazive, implică o serie de riscuri și necesită măsuri de precauție.

Contraindicații absolute (în special pentru BCI-urile invazive):

- Riscuri chirurgicale: infecții, hemoragii intracraniene, leziuni ale structurilor cerebrale adiacente.

- Reacții inflamatorii: răspuns inflamator al țesutului cerebral la implantarea electrozilor. În cazul implanturilor pe termen lung, țesutul neural afectat poate dezvolta cicatrizare glială în jurul implantului, ceea ce poate împiedica funcționarea BCI.
- Incompatibilitate biologică: probleme de biocompatibilitate pe termen lung a implanturilor, necesitând utilizarea de materiale stabile și sigure în organismele vii.
- Coroziunea implantului: expunerea prelungită la lichidul cefalorahidian poate cauza coroziunea electrozilor invazivi.
- Micromișcări: funcțiile respiratorii și cardiovasculare pot cauza micromișcări ale dispozitivului, afectând performanța pe termen lung. De asemenea, scurtcircuitările pot apărea în timp, crescând interferența între electrozi și reducând durata de viață a bateriei.

Reacțiile adverse ușoare pot fi reprezentate de greață, oboseală, cefalee, creșterea tensiunii arteriale, dermatită, iritații, durere la contactul cu pielea și alergii la electrozi.

*Aspecte etice și psihologice:*

- „Povara normalității”: pacienții pot experimenta tulburări psihologice și sociale semnificative legate de restabilirea funcțiilor pierdute. Așteptările nerealiste privind beneficiile BCI pot duce la dezamăgire.
- Impactul asupra identității și autonomiei: interacțiunea cu procesele neurobiochimice poate influența funcțiile cognitive și comportamentul, ridicând îngrijorări cu privire la integritatea corporală și conceptul de sine.
- Așteptări nerealiste: informațiile complete sunt esențiale pentru a preveni așteptările nerealiste privind capacitățile BCI.
- Vulnerabilități: dependența de baterie, compania producătoare sau echipa de cercetare.
- Confidențialitatea datelor neuronale: necesitatea protocoalelor de gestionare a datelor și a consimțământului informat este de o importanță capitală.

*Aspecte legate de utilizare:*

- Necesitatea sprijinului familial: instruire, întreținere, monitorizare. Majoritatea dispozitivelor BCI necesită asistență specializată pentru configurare și utilizare.
- Costuri ridicate și acces limitat: BCI-urile sunt scumpe și accesul este adesea limitat la centrele academice din zonele urbane, excluzând populațiile marginalizate. Costurile ridicate pot limita accesibilitatea pentru persoanele cu dizabilități severe.
- „Analfabetism BCI”: până la 20% dintre indivizi nu reușesc să moduleze suficient activitatea cerebrală pentru a controla eficient un

BCI. Totuși, abordările de învățare automată pot reduce semnificativ acest număr.

- Lipsa de independență: pentru BCI-urile asistive utilizate acasă, necesitatea unui supraveghetor contrazice ideea de a restabili independența.

*Metoda de aplicare:*

BCI pot fi clasificate ca invazive, non-invazive sau semi-invazive, fiecare categorie prezentând caracteristici distincte privind procesarea și achiziția semnalelor, precum și nivelul de implicare al utilizatorului.

BCI-urile non-invazive utilizează electrozi plasați pe scalp pentru a capta semnalele electrice cerebrale, cum ar fi electroencefalograma (EEG). Aceste semnale sunt procesate prin modele de învățare automată și învățare profundă pentru a identifica tipare specifice de activitate cerebrală și a le transforma în comenzi pentru dispozitive externe. Această metodă este utilizată pe scară largă în reabilitarea motorie, în special pentru mișcările încheieturii mâinii sau alte funcții motorii. Avantajele includ caracterul non-invaziv, ușurința în utilizare și costurile reduse, ceea ce le face opțiuni atractive pentru neuroreabilitare. În prezent, EEG este combinat cu spectroscopie în infraroșu apropiat (fNIRS) pentru o monitorizare cerebrală mai complexă a creierului.

BCI-urile invazive implică integrarea chirurgicală a electrozilor direct în creier (intracortical) pentru a obține semnale de înaltă rezoluție și un raport semnal-zgomot optim. Stimularea electrică funcțională, realizată prin semnale intracorticale, permite controlul articulațiilor robotice și al brațelor robotice. Progresele recente în tehnologie și algoritmi de decodare neurală profundă au îmbunătățit semnificativ eficacitatea acestor BCI-uri, oferind un mijloc direct de decodare și modulare a semnalelor neuronale.

BCI-urile semi-invazive (endovasculare) reprezintă o alternativă fezabilă la BCI-urile invazive, fiind considerabil mai puțin invazive și menținând un nivel similar de acuratețe a înregistrării, cu o siguranță sporită. Studiile inițiale au demonstrat succesul acestei metode, în special la pacienții cu paralizie severă. Riscul de infecții și deteriorare a țesuturilor este redus comparativ cu metodele tradiționale.

*Instruirea utilizatorului* - reprezintă o componentă esențială în procesul BCI, implicând atât introducerea, cât și interacțiunea cu sistemul. Acest proces urmărește creșterea nivelului de cunoștințe și de încredere al utilizatorului, precum și motivarea pentru o performanță mai bună. Potențialele corticale legate de mișcare pot fi măsurate prin plasarea optimă a electrozilor EEG, iar sistemele BCI oferă *feedback* multimodal (vizual, auditiv, tactil) pentru a facilita antrenamentul motor. Instruirea permite ajustarea reciprocă a utilizatorului și a sistemului.

*Resurse – spațiul alocat, aparatura necesară, personalul implicat*

Implementarea eficientă a BCI necesită alocarea de resurse dedicate și o infrastructură clar definită.

Spațiul alocat:

Spațiul necesar poate include centre clinice sau laboratoare de cercetare pentru sistemele BCI complexe, precum și mediul de acasă pentru BCI-urile asistive, care au ca scop îmbunătățirea calității vieții. Totuși, aceste sisteme necesită frecvent supraveghere atentă, ceea ce poate limita independența utilizatorului.

Aparatura necesară:

Dispozitivele pentru achiziția semnalului includ căști EEG (non-invazive), electrozi implantați chirurgical (invazivi) și electrozi endovasculari (semi-invazivi).

Dispozitivele externe de control pot fi: computere, membre robotice, scaune cu roțile sau orteze robotice.

Costurile asociate achiziției echipamentelor și desfășurării cercetării sunt semnificative.

Dezvoltarea unui prototip medical poate dura până la șapte ani și necesită investiții substanțiale pentru tranziția de la laborator la clinică.

Personalul medical specializat include medici de reabilitare, neurochirurghi, neurologi, anesteziologi, psihologi, asistenți sociali, specialiști în etică medicală și ingineri. Kinetoterapeuții, ergoterapeuții și logopezii au, de asemenea, un rol esențial.

Personalul de studiu și dezvoltare este format din cercetători, ingineri și clinicieni, responsabili de evaluarea obiectivă a eficacității și de dezvoltarea tehnologiei. Personalul de suport constă în specialiști dedicați configurării și calibrării sistemelor BCI. Îngrijitorii sunt esențiali pentru asistarea pacienților în antrenament, întreținere, depanare și monitorizarea BCI-ului la domiciliu. Limitarea expertizei tehnice și clinice la centrele medicale universitare poate restricționa accesul pacienților la tehnologia BCI.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocolul de intervenție cu BCI este esențial pentru succesul terapeutic și presupune stabilirea unor parametri clari. Standardizarea protocolului este necesară pentru instruirea utilizatorului, incluzând o perioadă introductivă și una de interacțiune cu BCI. Se recomandă o abordare ghidată pentru gestionarea provocărilor din reabilitarea post-AVC.

Parametri tehnici:

- Optimizarea plasării electrozilor EEG implică selectarea unui număr adecvat de electrozi (între 8 și 36) și poziționarea acestora peste cortexul motor primar, cortexul somatosenzorial primar, zona motorie

suplimentară și zonele premotorii. Această strategie crește acuratețea clasificării și accelerează procesele de învățare automată..

- Algoritmi avansați, precum Support Vector Machines, rețelele neuronale și modelele de *deep learning*, sunt esențiali pentru interpretarea precisă a semnalelor cerebrale.
- *Feedback*-ul multimodal este personalizat în funcție de starea emoțională, anomaliile senzoriale și funcția cognitivă a fiecărui pacient. *Feedback*-ul vizual, auditiv și electro-tactil este utilizat pentru a ghida pacientul.

Durata curei și ritmicitatea:

- Durata sesiunilor de antrenament este, de obicei, scurtă, cu o medie de aproximativ 40 de minute, stabilită individual în funcție de abilitățile și toleranța pacientului.
- Reabilitarea bazată pe BCI, în combinație cu terapia convențională, este recomandată pentru o perioadă de cel puțin patru săptămâni.
- Durata optimă de tratament variază între studii, multe protocoale incluzând între 11 și 22 de sesiuni.
- Se recomandă un antrenament de intensitate ridicată, cu o frecvență de cinci ori pe săptămână.
- Anumite protocoale complexe, precum neuroreabilitarea mersului pentru pacienții cu leziuni medulare, pot avea o durată de până la un an.

Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a analiza parametri precum vârsta pacienților, localizarea leziunii, capacitatea de imagistică motorie, emisfera afectată și tipul leziunii, în vederea dezvoltării unei perspective complete asupra factorilor clinici care influențează eficacitatea BCI.

*Efectele adverse* ale BCI-urilor variază în funcție de gradul de invazivitate al metodei, însă aspectele etice și psihologice sunt relevante pentru toate tipurile de BCI.

BCI-uri invazive:

- Complicațiile chirurgicale includ infecții, hemoragii intracraniene și leziuni ale structurilor cerebrale adiacente.
- Răspunsul inflamator la locul implantării electrozilor poate compromite funcționalitatea acestora pe termen lung, din cauza cicatrizării gliale.
- Coroziunea implanturilor, micromișcările dispozitivului generate de funcțiile respiratorii și cardiovasculare, precum și scurtcircuitul pot afecta performanța pe termen lung.
- De asemenea, pot apărea efecte psihologice, precum influențarea funcțiilor cognitive și a comportamentului, poveri psihologice legate de restaurarea funcțiilor, sentimentul de pierdere a controlului sau alterarea identității pacientului.

BCI-urile non-invazive pot cauza disconfort local, precum dermatită, iritație sau durere la contactul dispozitivului (căștii EEG) cu pielea, simptome sistemice ușoare (greață tranzitorie, oboseală, cefalee, creșterea tensiunii arteriale) sau reacții alergice. Starea mentală a utilizatorului, inclusiv oboseala cerebrală, poate influența performanța sistemului BCI.

*Monitorizare:*

Monitorizarea constituie un element esențial pentru asigurarea siguranței, eficacității și adaptării pe termen lung a terapiei BCI.

În timpul tratamentului, monitorizarea protocolului implică verificarea respectării protocoalelor de antrenament și înregistrarea eventualelor abateri, precum și obținerea unui *feedback* în timp real. Sistemele BCI sunt proiectate să ofere *feedback* senzorial în timp real pentru a ghida mișcările pacientului și a facilita neuroplasticitatea. Progresul pacientului poate fi evaluat utilizând instrumente medicale obiective, cum ar fi forța musculară sau electromiografia (EMG) și scale subiective, precum nivelul de control și satisfacția.

După tratament, urmărirea pe termen lung are ca scop evaluarea efectelor durabile ale terapiei BCI. Monitorizarea la domiciliu implică verificarea intervențiilor de reabilitare, a statusului clinic și a eventualelor internări de urgență prin interviuri telefonice periodice. Evaluările pot include parametri neuropsihologici, capacitatea de imagistică motorie și funcțiile motorii, precum și monitorizarea continuă pentru identificarea efectelor adverse întârziate.

*Recomandările post-tratament* urmăresc menținerea beneficiilor, integrarea BCI-ului în activitățile cotidiene și asigurarea suportului continuu. Continuarea terapiei la domiciliu este esențială, în special pentru pacienții cu paraliză severă a membrilor superioare, iar BCI-urile asistive pot contribui semnificativ la îmbunătățirea calității vieții. Este necesară dezvoltarea de sisteme modulare de BCI sigure pentru utilizarea la domiciliu, precum și de programe de reabilitare continuă și personalizată, adaptate nevoilor individuale și evoluției pacientului, pentru a susține angajamentul și motivația.

Reevaluarea periodică a progresului funcțional, a stării neurologice și a adaptării la BCI este esențială. Instruirea pacienților și a îngrijitorilor pentru recunoașterea și gestionarea efectelor adverse, educația continuă privind utilizarea și întreținerea BCI-ului, precum și suportul psihologic pentru adaptarea la noua modalitate de interacțiune reprezintă priorități suplimentare.

## 5.2. Realitatea virtuală și realitatea augmentată

În reabilitarea neurologică, tehnologiile de realitate virtuală (VR) și realitate augmentată (AR) sunt integrate în tratament pentru a crea medii imersive destinate persoanelor cu afecțiuni neurologice. Aceste soluții oferă experiențe de antrenament controlate, motivate și personalizate, care pot depăși eficiența terapiilor standard. Realitatea extinsă (XR), ce include VR, AR și realitatea mixtă, prezintă un potențial semnificativ pentru reabilitarea persoanelor cu leziuni cerebrale dobândite, oferind medii terapeutice imersive, atractive și adaptabile.

### Definiții

VR utilizează simulări interactive generate de computer, care pot fi non-imersive (pe tabletă sau monitor), semi-imersive sau complet imersive (cu căști HMD - *Head-Mounted Display*). Cu cât utilizatorul este mai implicat în mediul virtual, cu atât nivelul de imersiune crește.



**Figura 1.** Dispozitiv VR – Meta Quest 3S

AR introduce obiecte virtuale în lumea reală, de obicei prin *smartphone* sau ochelari inteligenți. Aceste tehnologii pot fi combinate, adăugând elemente virtuale realității.

XR folosește atât elemente reale, cât și virtuale, permițând interacțiuni în timp real pe întregul spectru VR, AR și realitate mixtă. Aceste metode permit setări terapeutice flexibile, imersive și personalizate, care imită activități reale în medii variate.

Principalele *efecte terapeutice* sunt:

- Îmbunătățirea funcției motorii și a echilibrului: VR s-a dovedit eficientă în reabilitarea funcției membrilor superioare, echilibrului și mobilității la pacienți cu AVC, vârstnici, copii cu paralizie cerebrală, boala Parkinson sau scleroză multiplă (SM). De asemenea, VR sprijină îmbunătățirea mersului și a mobilității funcționale. Aplicațiile AR sunt folosite în principal pentru reabilitarea motorie a membrilor superioare.

- Creșterea neuroplasticității: VR intensivă și specifică pentru sarcină activează plasticitatea sinaptică prin activități dedicate. Tehnologiile avansate au demonstrat efecte neurologice pozitive, precum creșterea volumului de materie cenușie corticală și îmbunătățirea funcției cognitive. Aceste tehnologii pot oferi *feedback* augmentat și senzorial (sometezic, vizual, auditiv), consolidând neuroplasticitatea, procesarea senzorio-motorie, echilibrul și implicarea pacientului.
- Implicare și motivație crescute: mediile virtuale interactive și atractive vizual cresc participarea pacienților la reabilitare și le stimulează motivația, esențială pentru succesul terapiei. Jocurile VR fac exercițiile terapeutice mai plăcute, competitive și captivante, ceea ce poate duce la o participare mai mare și la rezultate îmbunătățite.
- *Feedback* în timp real: aceste tehnologii pot oferi *feedback* imediat pacienților, permițându-le să își evalueze și să își verifice progresul pe măsură ce acesta se întâmplă.
- Ameliorarea durerii: aplicațiile VR s-au dovedit eficiente în gestionarea durerii acute și cronice, prin inducerea unei stări de imersiune care distrage atenția pacienților de la stimuli dureroși.
- Îmbunătățirea funcției cognitive: anumite studii au evidențiat efecte semnificative ale terapiilor VR asupra funcției executive, memoriei și funcțiilor vizuale și spațiale la pacienții cu AVC, precum și la persoanele cu demență sau SM.

*Indicații:*

VR și AR sunt recomandate în tratamentul afecțiunilor neurologice, având ca scop îmbunătățirea funcției motorii, cognitive și a echilibrului. Exemple relevante includ:

- AVC: reabilitarea membrelor superioare și inferioare, echilibrului și funcției cognitive. VR poate îmbunătăți funcția motorie a membrului superior și echilibrul.
- Boală Parkinson: îmbunătățirea mobilității, echilibrului, reabilitarea vizuală și cognitivă. VR imersivă poate facilita recuperarea funcției motorii.
- Paralizie cerebrală: îmbunătățirea mobilității funcționale la copii.
- SM: îmbunătățirea mobilității, echilibrului și funcției cognitive.
- Leziuni cerebrale dobândite: reabilitarea motorie și cognitivă.
- Dizabilități care afectează funcția fizică și cognitivă: VR reprezintă un instrument valoros de evaluare și tratament.
- Ataxie cerebeloasă: neuroreabilitare personalizată.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

Deși VR este, în general, considerată sigură, există contraindicații și măsuri de precauție care trebuie respectate pentru a preveni efectele adverse.

- *Cybersickness* (rău de mișcare virtuală): efectele secundare frecvente includ dezorientare, greață, vertij, amețeală, cefalee și tulburări oculomotorii, în special la utilizarea căștilor HMD. Simptomele pot crește odată cu durata expunerii și pot afecta negativ procesul de reabilitare, reducând motivația și concentrarea. Sincronizarea precisă a intrărilor senzoriale și un design ergonomic al dispozitivului sunt esențiale pentru minimizarea acestor efecte. Pacienții cu deficite de vedere sau alte deficite senzoriale necesită o evaluare atentă pentru a asigura o utilizare sigură și confortabilă a VR/AR, deoarece pot fi mai susceptibili la efecte adverse.
- Epilepsie sau migrene fotosensibile: pacienții cu antecedente de afecțiuni declanșate de lumini intermitente sau stroboscopice, precum cele generate de anumite sisteme VR, trebuie excluși de la aceste terapii.
- Anxietate: unii pacienți pot manifesta simptome de anxietate în medii virtuale, în special în cele imersive. Evaluarea și gestionarea adecvată a stării emoționale sunt esențiale.
- Disconfort fizic: au fost raportate cazuri rare de durere musculară sau oboseală, în special după sesiuni prelungite sau utilizarea incorectă a echipamentului.
- Disfuncționalități ale echipamentului: înghețarea ecranului, inexactitatea urmării mișcărilor sau problemele de comunicare pot genera frustrare și scăderea motivației, afectând eficacitatea terapiei.
- Adaptare individuală: terapia VR trebuie personalizată în funcție de nevoile și caracteristicile fiecărui pacient, pentru a maximiza beneficiile și a reduce riscurile. Factori precum vârsta, comorbiditățile și sensibilitatea individuală, pot influența experiența utilizatorului.
- Alte efecte adverse: oboseală vizuală, suprasolicitare cognitivă, dependență, deteriorare simptomatică sau risc crescut de căderi.

*Metoda de aplicare:*

Atât terapia VR, cât și cea AR, sunt personalizate pentru a se potrivi pacientului și obiectivelor terapeutice pentru fiecare caz. Aceste noi tehnologii duc reabilitarea la următoarea generație prin experiențe active, interactive și captivante.

*Tipuri de sisteme VR:*

- Imersive: utilizează căști HMD pentru a crea o experiență 3D realistă, vizuală și auditivă. Pacienții interacționează cu obiecte și medii virtuale ca și cum ar fi reale. Aceste sisteme sunt destinate antrenamentului motor avansat și simulării activităților de zi cu zi.
- Non-imersive: spațiul VR este vizualizat pe un ecran, iar utilizatorii interacționează prin controlere sau senzori, menținând în același timp

conștientizarea lumii reale. Acest tip de VR este mai accesibil și ușor de integrat în propria locuință.

- Semi-imersive: permit o experiență parțială, astfel încât utilizatorul rămâne conștient de mediul real, de obicei prin proiecții sau ecrane mari. Sunt utile când este necesară menținerea conștientizării mediului.

*Interacțiunea utilizatorului:*

Interacțiunea utilizatorilor se face prin controlere de mișcare, senzori de gesturi sau mișcări naturale ale corpului. Acestea permit flexibilitate pentru diferite grade de dizabilitate și favorizează un control intuitiv al mediului virtual.

Pe de altă parte, terapia VR oferă sesiuni de antrenament personalizate în care efortul este ajustat automat, iar monitorizarea performanței pacienților este realizată permanent. Această abordare optimizează eficiența și menține interesul pacientului. Pacienții vor avea posibilitatea de a practica activități din viața lor de zi cu zi (mersul pe jos, atingerea obiectelor, interacțiunea cu alți pacienți) într-un mediu virtual sigur și controlat. Acest lucru permite o repetiție riguroasă a mișcărilor și sarcinilor repetate, esențiale pentru recuperarea neurologică, dar fără pericolele din mediul real.

Consolele de jocuri sau sistemele care sunt create special pentru utilizări non-recreative („jocuri serioase”) transformă exercițiile terapeutice în unele distractive și competitive. Gamificarea contribuie la creșterea motivației, implicării și complianței pacientului, elemente esențiale pentru rezultate terapeutice maxime.

*Resurse – spațiul alocat, echipamentele și personalul necesare*

Implementarea tehnologiilor VR/AR în neuroreabilitare necesită planificare atentă a spațiului, echipamentelor și resurselor umane.

Spațiul alocat este reprezentat de mediul clinic (centrele de reabilitare pot utiliza VR, acestea fiind integrate în protocoalele de terapie existente și unde se oferă acces la echipamente complexe, supraveghere medicală și suport tehnic specializat) și de domiciliu, în special pentru dispozitivele semi-imersive și non-imersive, cu costuri reduse. Această opțiune îmbunătățește accesibilitatea serviciilor de reabilitare și permite continuitatea terapiei.

Aparatura necesară este reprezentată de căștile HMD, computerele sau consolele de jocuri, monitoare, senzori de mișcare și controlere. Tipul de VR și perioada de reabilitare determină echipamentul ales.

Sistemele accesibile bazate pe telefoane mobile sau console și cele mai sofisticate au costuri diferite. Scenariile virtuale complexe pot necesita un timp îndelungat și resurse financiare importante.

Personalul asociat este alcătuit din terapeuți, specialiști în VR, dezvoltatori de jocuri, operatori tehnici pentru echipamente complexe,

pacienți și îngrijitori care au nevoie de instrucțiuni și asistență, în special în ceea ce privește TR.

*Parametrii tehnici, timpul pe sesiune, durata curei și ritmicitatea* protocoalelor de reabilitare cu VR sunt variate și necesită ajustare individuală, cu scopul de a maximiza rezultatele terapeutice.

Structura scenariilor virtuale este personalizabilă, permițând provocări progresive. Se preferă sistemele care oferă *feedback* în timp real, multimodal (vizual, auditiv). În același timp, calitatea *software*-ului VR, evaluată prin chestionare precum VRNQ, este un aspect foarte important.

Durata sesiunilor de VR variază de la 30 la 70 de minute, în funcție de familiarizarea cu tehnologia și calitatea *software*-ului. Durata corespunzătoare fiecărei etape se stabilește individual, în funcție de toleranța pacientului, obiectivele terapeutice și tipul de exerciții.

În ceea ce privește durata curei și ritmicitatea, protocoalele prezintă variații (ex. 6 săptămâni cu două sesiuni pe săptămână sau 4 săptămâni cu 5 sesiuni pe săptămână). În ceea ce privește intensitatea și specificitatea, trebuie menționat faptul că reabilitarea optimizată prin VR se bazează pe antrenament intensiv și specific sarcinii, elemente cheie pentru stimularea neuroplasticității și îmbunătățirea funcțională. Adaptarea la nevoile pacientului este esențială.

*Efecte adverse:*

Deși VR este considerat o terapie sigură, este important să știm și să gestionăm orice efect advers apărut, în special cele legate de *cybersickness* și de disfuncționalitățile tehnice.

- *Cybersickness*: este mai frecvent atunci când se folosesc căști HMD imersive și poate crește pe măsură ce este folosită. Abordarea acestui fenomen presupune ajustarea duratei sesiunilor, acordarea de pauze și utilizarea sistemelor cu latență redusă.
- Disconfort fizic: pacienții pot raporta dureri la nivelul gâtului sau umerilor asociate cu utilizarea HMD-urilor; pentru a gestiona acest fenomen, este necesar să se modifice durata sesiunilor, să se acorde pauze și să se utilizeze sisteme cu latență redusă.
- Frustrare: pacienții pot fi frustrați și descurajați în a continua demersul lor de recuperare, în cazul în care dispozitivul funcționează necorespunzător (de exemplu, înghețarea ecranului, inexactitatea urmării mișcărilor, problemele de comunicare).

Este important de menționat că, în ciuda mai multor VR imersive, majoritatea pacienților nu au avut evenimente adverse semnificative pe parcursul tratamentului. Acestea sunt, de obicei, temporare și se pot gestiona ușor. În aceste circumstanțe, determinarea și raportarea sistematică a efectelor adverse este esențială pentru a crea profilul de siguranță al programelor de VR.

### *Monitorizare*

Pentru a evalua progresul, eficacitatea și siguranța tratamentelor bazate pe terapie VR/AR, este necesară o urmărire continuă pentru a adapta zilnic programul de terapie.

Monitorizarea în timp real a eficienței tratamentului este esențială. Sistemele VR pot înregistra și urmări automat performanța utilizatorului, astfel încât să poată fi generate rapoarte funcționale detaliate, în care medicii pot vedea progresul pacienților. Ritmul cardiac, ritmul respirator, tensiunea arterială și nivelurile de efort raportate de pacient sunt parametri clinici care pot fi monitorizați în mod similar. Supravegherea simptomelor care indică prezența *cybersickness* (greață, dezorientare etc.) este necesară, iar prezența și ghidarea terapeutului sunt esențiale.

Evaluările funcționale în etapa post-tratament prin scale clinice standardizate, cum ar fi Fugl-Meyer Assessment pentru AVC, sunt indicate pentru a determina efectele terapiei VR. Sunt necesare studii de *follow-up* pe termen lung pentru a determina dacă impactul diferitelor tipuri de antrenament asociate cu această tehnologie este diferit în recuperarea motorie și în cea cognitivă, precum și pentru a evalua persistența beneficiilor obținute. Monitorizarea capacității de a transfera în viața reală abilitățile complexe antrenate în medii virtuale este relevantă.

### *Recomandări post-tratament*

Sunt destinate să consolideze beneficiile pe care pacienții le pot obține cu VR/AR în viața lor și cum aceste tehnologii ar putea fi integrate în recuperarea acestora pe termen lung. Continuarea terapiei la domiciliu este un aspect obligatoriu pentru a păstra rezultatele deja obținute în recuperarea pacienților cu afecțiuni neurologice. Identificarea de programe de reabilitare continue și personalizate, adaptate nevoilor individuale ale pacientului, cu flexibilitate în ajustare, este importantă. Evaluarea îmbunătățirii funcționale și a stării generale de sănătate a pacienților este utilă pentru a adapta și a ajusta programul de reabilitare, iar instruirea pacientului și a îngrijitorilor cu privire la utilizarea sigură și eficientă a sistemelor VR la domiciliu este fundamentală.

Sunt, însă, necesare studii complexe și multicentrice pentru a evalua și dovedi efectele favorabile, a determina dacă intervențiile bazate pe VR și AR sunt rentabile pe termen lung și a optimiza protocoalele de tratament.

## **5.3. Robotica și dispozitivele asistate robotic**

În neuroreabilitarea modernă, roboții sunt esențiali. Aceștia oferă o metodă structurată, repetitivă și intensivă de recuperare a funcției motorii pentru persoanele care au suferit leziuni neurologice. Aceste dispozitive, care

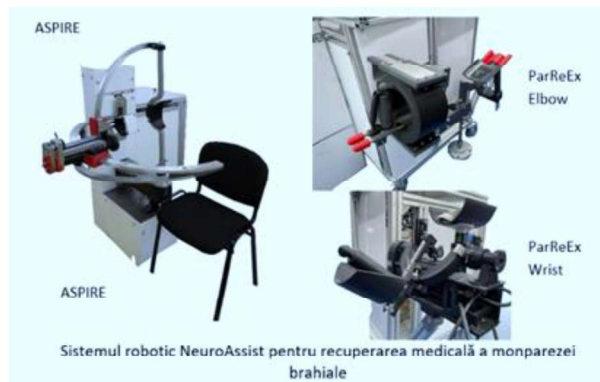
îmbunătățesc coordonarea, echilibrul și mobilitatea, includ roboți de tip *end-effector* și exoschelete, sunt utilizate în programele terapeutice.

#### Definiție

În recuperarea neurologică, robotica se referă la utilizarea sistemelor robotice și a dispozitivelor mecanice pentru a facilita reabilitarea motorie la pacienții cu afecțiuni neurologice. Aceste sisteme ajută, susțin, oferă *feedback*, repetă exercițiile și susțin recuperarea funcțională prin mecanisme de neuroplasticitate.

#### Efecte terapeutice:

- Îmbunătățirea funcției motorii: la pacienții cu AVC, leziuni cerebrale, leziuni ale măduvei spinării, SM și boală Parkinson, terapiile asistate de roboți s-au dovedit a fi eficiente în îmbunătățirea funcției motorii la nivelul membrelor superioare și inferioare. S-a demonstrat faptul că sisteme precum NeuroAssist îmbunătățesc atât scorurile funcționale generale, cât și mișcările încheieturii mâinii și ale umărului.



**Figura 2.** Sistemul robotic NeuroAssist

- Stimularea neuroplasticității: roboții pot dezvolta mecanismele de neuroplasticitate prin antrenament intensiv și specific. Aceste mecanisme ajută la reînvățarea abilităților motorii pierdute. Modificările eficiente la nivel cerebral pot fi determinate prin repetare direcționată și frecventă.
- Precizie, repetabilitate și adaptabilitate: în comparație cu terapia manuală tradițională, roboții fac mișcări mai precise și, foarte important, repetabile. Aceștia sunt capabili să adapteze nivelul de asistență la nevoile pacientului, să ofere *feedback* rapid și să ajusteze automat nivelul de suport și rezistență.
- Motivație și implicare: pacienții sunt mai motivați și mai implicați în terapie atunci când se combină elemente de *gamification* cu *feedback*-ul vizual sau auditiv. Acest lucru este esențial pentru a menține aderența la terapie pe termen lung și pentru a avea succes în reabilitare.

- Reducerea efortului terapeutului: roboții preiau o parte din sarcinile fizice ale terapeutului, ceea ce îi permite acestuia să se concentreze pe evaluare, planificare și supraveghere. În plus, tehnologia robotică optimizează utilizarea resurselor umane și permite supravegherea simultană a mai multor pacienți.

*Indicații:*

Pacienții cu afecțiuni neurologice care au deficite motorii pot beneficia de terapie robotică pentru a-și îmbunătăți sau restabili funcționalitatea. Aceste afecțiuni includ:

- AVC: una dintre cele mai studiate indicații, cu beneficii semnificative în recuperarea motorie a membrilor superioare și inferioare, inclusiv a mersului
- Leziuni ale măduvei spinării: roboții oferă suport și antrenament repetitiv pentru a ajuta la reabilitarea mersului și a funcției motorii.
- Leziuni cerebrale traumatice: pentru a îmbunătăți coordonarea și funcția motorie.
- SM: gestionarea spasticității, a echilibrului și mobilității.
- Boala Parkinson: ajută la deficitele motorii, rigiditatea și problemele de echilibru.

*Contraindicații:*

- Tulburări non-motorii grave: tulburări comportamentale, deficite vizuale, cognitive, de comunicare sau perceptivă severe care împiedică pacientul să înțeleagă, să urmeze instrucțiunile sau să interacționeze în siguranță cu dispozitivul robotic
- Leziuni fizice acute: fracturi care au avut loc recent, plăgi deschise, infecții sau probleme de integritate a pielii în zona de contact cu robotul
- Lipsa funcționalității reziduale: unii terapeuți cred că roboții de reabilitare a mersului sunt utili doar pentru persoanele care au deja o anumită capacitate de inițiere a mișcării sau de susținere a unei părți a greutății corporale. Cu toate acestea, există și sisteme dezvoltate pentru pacienții cu deficite motorii complete.

*Măsuri de precauție:* durerea, epuizarea, crizele epileptice (pot fi cauzate de inputul auditiv și vizual de la un aparat automatizat) și disponibilitatea asistenței la domiciliu. Există pericole asociate cu utilizarea excesivă sau necorespunzătoare și alte accidente și leziuni ale pacientului; de aceea este obligatorie instruirea adecvată a pacientului, a personalului medical și a îngrijitorilor, pentru utilizarea corectă și sigură a echipamentului. Selecția atentă a pacientului este, de asemenea, esențială pentru a evita efectele secundare, cum ar fi leziunile cauzate de căderi.

#### *Metoda de aplicare:*

Forma și obiectivele speciale ale aplicațiilor terapeutice specifice ale terapiei robotice sunt determinate de tipul de dispozitiv și de obiectivele terapeutice individuale. Flexibilitatea acestor sisteme facilitează adaptarea la diferite deficite motorii și etape de recuperare, facilitând un proces terapeutic personalizat și eficient.

#### *Tipuri de dispozitive:*

Roboții *end-effector* acționează asupra segmentului distal al membrului, permițând mișcarea liberă a regiunii proximale. Sunt potriviți pentru recuperarea fineței mișcărilor, preciziei și coordonării, esențiale în sarcinile manuale sau cele legate de mers.

Exoscheletele sunt dispozitive portabile utilizate pentru reglarea mișcărilor specifice în timpul mersului prin asistență mecanică și ghidare articulară directă. Ele sunt destinate în principal pentru antrenamentul mersului, creând un cadru structurat și repetitiv pentru exerciții care ajută la restabilirea unui mers normal.

Roboții asistivi sunt instrumente autonome sau semi-autonome destinate sprijinirii pacienților în activitățile zilnice sau în timpul terapiei. De exemplu, aceștia pot manipula obiecte sau pot asista la deplasare, sporind independența funcțională a utilizatorului.

#### *Metode de operare:*

Activ: pacientul inițiază mișcarea, după care robotul se ocupă cu asistența adaptată nevoilor acestuia, ajustând suportul în funcție de efortul depus. Acest aspect are drept consecință creșterea participării active, a efortului voluntar și stimulează neuroplasticitatea.

Pasiv: robotul ține membrul pe o traiectorie prestabilită, efectuând astfel mișcarea completă. Acest lucru ajută persoanele cu deficite motorii severe să mențină un interval de mișcare și să evite contracturile.

Rezistiv: robotul aplică forță împotriva mișcării pacientului pentru a intensifica antrenamentul. Această metodă este recomandată pentru creșterea forței musculare, a rezistenței și pentru stimularea sistemului neuromuscular.

#### *Gamification și feedback:*

Exercițiile terapeutice se bazează pe jocuri interactive care oferă *feedback* multimodal (vizual, acustic și de forță). Astfel, exercițiile repetitive devin mai distractive și mai interesante, stimulând implicarea pacientului, motivația și aderența la terapie.

Intervențiile robotice sunt adaptate pentru a optimiza dezvoltarea abordărilor personalizate bazate pe performanța clinică - intervențiile robotice sunt menite să îmbunătățească intervențiile clinice pentru fiecare deficiență motorie. Sistemele robotice permit ajustarea parametrilor de antrenament (intensitate, asistență și dificultate), pentru a corespunde nivelului de funcționalitate și progresului fiecărui pacient.

*Resurse – spațiul alocat, aparatura necesară, personalul implicat*

Implementarea eficientă a terapiei robotice necesită o planificare riguroasă a resurselor materiale și umane pentru a asigura eficacitatea, siguranța și sustenabilitatea programelor de reabilitare.

Terapia robotică se desfășoară în principal în centre de reabilitare și spitale, deoarece majoritatea roboților sunt de mari dimensiuni și costisitori. Utilizarea lor în centre specializate permite maximizarea beneficiilor sub supraveghere multidisciplinară. Totuși, există o tendință de dezvoltare a roboților mai mici și accesibili pentru utilizarea la domiciliu, facilitând TR, îmbunătățind accesul la terapie continuă și reducând barierele logistice.

Aparatura necesară cuprinde roboți de reabilitare (exoschelete pentru membrele inferioare și superioare, roboți *end-effector*, platforme robotice pentru antrenamentul echilibrului și posturii) și sisteme avansate de achiziție de date. Roboții presupun costuri semnificative de achiziție, operare și instruire a personalului, ceea ce limitează extinderea accesibilității.

Personalul necesar include kinetoterapeuți, responsabili de evaluarea inițială, stabilirea obiectivelor, selectarea protocoalelor, supravegherea sesiunilor și monitorizarea progresului. Personalul tehnic asigură instalarea, mentenanța și depanarea echipamentului, garantând funcționarea optimă și sigură. Colaborarea între medici, ingineri și terapeuți este esențială pentru dezvoltarea, validarea și optimizarea tehnologiilor robotice. Asistenții de terapie sau membrii familiei pot sprijini sesiunile la domiciliu, doar după instruire și sub supraveghere medicală.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocoalele de reabilitare robotică urmăresc maximizarea recuperării funcționale, stimularea neuroplasticității și menținerea implicării pacientului, adaptându-se constant la nevoile individuale.

Parametrii tehnici:

- Asistența adaptativă: roboții ajustează nivelul de asistență în funcție de performanța și capacitatea pacientului, oferind suport dinamic, cunoscut sub denumirea de "assistance-as-needed".
- *Feedback* în timp real: *feedback*-ul vizual, acustic și de forță este integrat în exercițiile interactive, permițând pacienților să corecteze mișcărilor, să înțeleagă performanța și să învețe eficient.
- Evaluarea performanței: parametrii cinematici (precizie, fluiditate, viteză, coordonare), statisticile de joc și activitatea musculară sunt înregistrați și analizați pentru personalizarea protocoalelor și monitorizarea obiectivă a recuperării motorii.

Sesiunile de terapie robotică durează, de obicei, între 45 și 60 de minute, iar durata optimă se ajustează în funcție de toleranța pacientului, tipul exercițiilor și obiectivele terapeutice. Durata totală a curei de reabilitare robotică variază între 2 și 8 săptămâni, în funcție de complexitatea afecțiunii

și progresul pacientului: 2 săptămâni pentru recuperarea post-AVC, 4 săptămâni pentru echilibru și mers sau 8 săptămâni pentru reabilitarea intensivă a mersului. Se recomandă, de obicei, 3-5 sesiuni pe săptămână. Studiile arată că antrenamentul cu intensitate și frecvență ridicată este asociat cu rezultate clinice mai bune în recuperarea funcțională.

*Efecte adverse:*

Terapia robotică este considerată sigură, însă monitorizarea atentă a posibilelor reacții adverse rămâne esențială.

Pot apărea evenimentele adverse ușoare precum: durere sau disconfort (la nivelul umărului sau în alte zone), oboseală ușoară musculară sau iritații ale pielii la punctele de contact cu robotul, manifestări tegumentare (roșeață, iritații sau leziuni minore ale pielii)

Mai rar putem întâlni evenimente adverse precum căderi, creșterea spasticității și reacții de disconfort general (greață, vertij, tahicardie, palpitații sau crampe), care pot necesita întreruperea temporară sau ajustarea sesiunii.

Rata evenimentelor adverse grave este foarte scăzută. Pentru a menține siguranța și a îmbunătăți dispozitivele, este importantă documentarea și raportarea regulată a acestor evenimente.

Supravegherea strictă pe tot parcursul tratamentului, de la evaluarea inițială la cea finală, este necesară pentru monitorizarea progresului și a eficacității pe termen lung. Înregistrarea parametrilor de mișcare, precum precizia, fluiditatea, viteza, coordonarea, amplitudinea și activitatea musculară, oferă un *feedback* imediat. Participarea și interesul pacientului sunt urmărite prin interacțiunea sa cu jocurile robotice și observația terapeutului, care poate adapta activitățile pentru a menține implicarea. Evaluarea clinică continuă permite adaptarea protocoalelor, gestionarea efectelor adverse și personalizarea tratamentului.

După tratament, se recomandă evaluări clinice și instrumentale atât la finalul terapiei, cât și la intervale specifice, cum ar fi o lună, trei luni și șase luni. Se monitorizează îmbunătățirile pe termen lung în ceea ce privește echilibrul, oboseala, calitatea vieții și performanța motorie și cea cognitivă. Neuroimagingistica funcțională poate evalua schimbările de plasticitate neuronală, oferind informații despre mecanismele de recuperare și rezultatele pe termen lung.

Pacienții și profesioniștii completează chestionare privind experiența, utilitatea și eficacitatea tehnologiei robotice, sprijinind evaluarea continuă și adaptarea planului clinic, inclusiv în TR.

*Recomandările post-tratament*

Aceste recomandări sunt esențiale pentru menținerea rezultatelor pozitive și facilitarea recuperării pe termen lung, prin integrarea acestor obiceiuri în viața de zi cu zi. Pentru a-și menține și îmbunătăți abilitățile

motorii, pacienții sunt încurajați să continue exercițiile acasă cu dispozitive robotice de bază sau prin programe de telereabilitare. Reevaluarea periodică este necesară pentru monitorizarea progresului și ajustarea protocolului de reabilitare în funcție de nevoile pacientului. Tranziția de la terapie intensivă la îngrijire pe termen lung este susținută de colaborarea dintre pacienți, familii, terapeuți și medici.

Sunt necesare studii pe eșantioane mai mari și grupuri de control riguroase, pentru a demonstra eficacitatea pe termen lung a terapiei robotice, iar optimizarea protocoalelor și parametrilor va crește beneficiile clinice.

#### **5.4. Neuroprotezele inteligente și dispozitivele asistate de AI**

Aceste tehnologii vor constitui piatra de temelie a aplicațiilor de neuroreabilitare ale viitorului care vor restaura, extinde sau îmbunătăți funcțiile senzoriale, motorii și cognitive pierdute. Ele sunt o combinație de abilități biologice și algoritmi sofisticăți, care oferă dovada unei „minți hibride”, unde oamenii și AI se reunesc pentru a optimiza recuperarea funcțională.

*Definiție:*

Neuroprotezele inteligente sunt dispozitive care au o conexiune directă cu sistemul nervos. Aceste proteze folosesc algoritmi de AI pentru a procesa semnalele neuronale sau musculare și, în consecință, dictează funcționarea componentelor protezei sau controlul activității neuronale pentru a remedia deficiențele. Aceste dispozitive fie restaurează, fie înlocuiesc funcția neurologică afectată și îmbunătățesc interacțiunea pacientului cu mediul și bunăstarea acestuia. Dispozitivele asistate de AI pot oferi capacități adaptive și receptive fără o legătură invazivă cu sistemul nervos.

*Efecte terapeutice:*

- Restaurarea funcției motorii și senzoriale: neuroprotezele inteligente pot reda funcțiile motorii în cazuri de paralizie, permițând persoanelor cu această afecțiune să controleze membrele robotice sau să interacționeze cu mediul. Ele oferă, de asemenea, *feedback* senzorial, reconstituind senzațiile tactile și proprioceptive. Acest lucru este necesar pentru controlul intuitiv și precis al protezelor.
- Optimizarea neuroplasticității: prin aplicarea modulației în buclă închisă și a algoritmilor neuroadaptivi, aceste abordări facilitează ajustarea neuroplasticității și recuperarea funcțională. Ele favorizează reorganizarea circuitelor neuronale rămase pentru a ajuta la reînvățarea sarcinilor motorii și cognitive. Sistemele AI și de învățare automată oferă

o soluție personalizată, dificil de realizat prin abordările convenționale de reabilitare.

- Control adaptativ și personalizat: algoritmi de control AI sunt capabili să se adapteze automat în funcție de intenția utilizatorului și a schimbărilor din timpul procesului de reabilitare. Acest lucru permite gestionarea datelor complexe și în continuă evoluție cu o precizie și acuratețe ridicată, chiar și atunci când se iau în considerare informațiile obținute prin EEG sau EMG, pentru control și pentru o experiență mai rafinată. Tehnicile de tip *deep learning* au capacitatea de a descifra intenția motorie din semnalele nervoase, facilitând o dexteritate motorie, intuiție și control protetic în timp real.
- Augmentarea cognitivă: chiar și în stadiile incipiente, neuroprotezele inteligente se pot concentra și pe funcțiile cognitive superioare, inclusiv memoria. În acest fel apar noi abordări pentru tratamentul tulburărilor cognitive, folosind inclusiv implanturi cerebrale care pot stimula sau modula activitatea neuronală specifică.
- Crearea unei "minți hibride": aceste sisteme îmbunătățesc atât abilitățile mentale, cât și cele fizice, prin asocierea dintre procesele cognitive biologice și cele artificiale. Astfel, posibilitatea recuperării neurologice poate fi complet redefinită și limita interacțiunii om-mașină extinsă.

*Indicații:*

Neuroprotezele inteligente și dispozitivele asistate de AI sunt utile în tratarea diverselor afecțiuni neurologice caracterizate prin pierderi funcționale semnificative și urmăresc restabilirea sau compensarea deficitelor prin utilizarea tehnologiilor avansate de AI.

- Amputații: aceste dispozitive înlocuiesc membrele lipsă cu proteze avansate, controlate intuitiv prin semnale neuronale și capabile să ofere *feedback* senzorial, apropiindu-se de funcționalitatea membrelor naturale.
- Paralizie severă: autonomia pacienților poate fi îmbunătățită prin controlul direct al echipamentelor asistive, precum brațe robotice, scaune cu roțile avansate sau exoschelete, utilizând interfețe neuronale.
- AVC și leziuni ale măduvei spinării: tehnologiile menționate mai sus sunt utilizate pentru restabilirea funcției motorii pierdute sau pentru îmbunătățirea mobilității și controlului, facilitând antrenamentul intensiv și specific și stimulând recuperarea neurologică.
- Tulburări neurodegenerative: aceste dispozitive sunt utilizate pentru modularea activității cerebrale în afecțiuni precum boala Parkinson sau Alzheimer.
- Deficiențe senzoriale: deficitul vizual sau auditiv pot fi compensate prin implanturi cohleare sau vizuale bazate pe inteligență artificială, care procesează și transmit informații senzoriale direct către creier.

*Contraindicații și precauții:*

Utilizarea neuroprotezelor inteligente implică riscuri semnificative și necesită o evaluare riguroasă, precum și implementarea unor măsuri pentru a oferi siguranța și respectarea normelor etice.

Riscurile chirurgicale includ infecții, hemoragii intracraniene și deteriorarea țesutului cerebral la locul implantării.

Reacțiile inflamatorii ale țesutului la implanturi pot compromite funcționalitatea pe termen lung.

Coroziunea implantului constituie un risc suplimentar, ceea ce impune dezvoltarea continuă a materialelor și tehnicilor de încapsulare.

Deoarece aceste dispozitive înregistrează și procesează date neuronale extrem de sensibile, există riscul apariției vulnerabilităților de securitate cibernetică, accesului neautorizat și manipulării datelor. În scopul protejării confidențialității și a integrității informațiilor, este necesară implementarea unor protocoale avansate de criptare și autentificare a datelor.

*Preocupări etice și psihologice:*

Cadrul etic și legal solid oferă garanții și o metodă sigură de a gestiona datele personale obținute direct din creier, astfel încât utilizarea lor greșită să fie redusă la minimum. Interfața directă cu procesele neurobiochimice determină apariția unor întrebări legate de posibilele implicații ale acestor procese pentru funcția cognitivă, comportamentul, percepția de sine și autonomia individuală. De asemenea pot fi descrise preocupări legate de libertatea cognitivă, integritatea și intimitatea mentală. Pericolul erorilor algoritmice și de bias poate agrava inegalitățile sociale, promovând probleme de echitate în sănătatea mentală.

Efectele secundare nedorite, inclusiv dependența, speranțele false sau erorile algoritmice, pot produce rezultate incerte, inechitabile sau dăunătoare. Consumul redus și pe termen lung de energie în general și capacitatea componentelor electronice și biologice de a se susține pe termen lung reprezintă provocarea pentru dezvoltarea viitoare.

*Provocări și direcții de cercetare:*

Este obligatorie formularea de cadre de AI explicabile (*explainable AI*) pentru crearea de algoritmi fiabili și transparentți. Cercetarea se concentrează, de asemenea, pe dezvoltarea alternativelor neuromodulatorii neinvazive, care să minimizeze riscurile asociate intervențiilor chirurgicale. Având în vedere efectele potențial grave ale acestor tehnologii, standardele etice și reglementările globale trebuie armonizate.

*Metoda de aplicare:*

Implementarea neuroprotezicelor inteligente ar trebui să fie un proces complex, care necesită implicare multidisciplinară pentru a asigura interacțiunea dintre componentele biologice și cele artificiale.

Implanturile invazive pot fi plasate la nivelul creierului sau al nervilor periferici și oferă o precizie ridicată, cu o rezoluție spațială și temporală excelentă și un raport semnal-zgomot optim, care sunt critice pentru o gestionare mai sofisticată a protezelor.

Receptorii neinvazivi, cum ar fi EMG de suprafață sau EEG, măsoară semnalele care sunt captate de la suprafața pielii. Acestea oferă o rezoluție mai mică și niciun risc chirurgical și pot controla aparatele asistive sau neuromodulatorii. Prin tehnici precum TMR, interfețele periferice, folosind semnale neuromusculare de la nervii reinnervați chirurgical, fac ca o proteză mioelectrică să fie controlată mai natural și intuitiv, traducând intenția motorie din activitatea musculară restantă.

AI, în special modelele hibride și *deep learning*, joacă un rol semnificativ în procesarea semnalelor neuronale sau musculare. Algoritmii fac clasificări în timp real și interpretează intențiile utilizatorului, transformând semnalele electrice în comenzi pentru proteze. Funcționarea în timp real este importantă pentru un răspuns rapid și natural al dispozitivului.

Învățarea continuă și adaptabilitatea AI sunt aspecte esențiale. Algoritmii de control se adaptează la *feedback*-ul utilizatorului și la performanța dispozitivului. În acest fel, ei cresc acuratețea și îmbunătățesc personalizarea experienței utilizatorului. Co-adaptarea optimizează performanța și eficiența pe termen lung a reabilitării.

O serie de neuroproteze avansate oferă *feedback* senzorial prin stimulare electrică. Este un aspect important pentru recrearea senzațiilor pierdute, aducând mai mult realism în control și, astfel, permițând utilizatorului să perceapă cum interacționează proteza cu mediul, la fel ca un membru sănătos.

Pentru utilizarea corectă a protezei sunt necesare sesiuni de antrenament personalizate și intensive pentru pacienți. În aceste sesiuni se realizează învățarea controlului fizic și calibrarea algoritmilor de AI, cu scopul de a se adapta fiecărui utilizator.

*Resurse: spațiu alocat, echipamente necesare, personal implicat*

Utilizarea neuroprotezelor inteligente necesită o infrastructură avansată și o echipă de profesioniști cu o gamă largă de competențe.

Spațiul necesar este reprezentat de laboratoare de neuroștiințe avansate, săli de operație sterile pentru implantare și centre de reabilitare specializate dotate pentru antrenamentul cu neuroproteze.

Antrenamentul și calibrarea inițială necesită un mediu clinic controlat, care să permită monitorizarea semnalelor neurale, a performanței dispozitivului și a reacției pacientului.

Accesorii necesare:

- Dispozitive de interfațare/implanturi neurale: electrozi invazivi (intracorticali, intraneurali) cu biocompatibilitate ridicată și senzori de înaltă rezoluție pentru captarea semnalelor bioelectrice.
- Unități de procesare: microprocesoare și circuite electronice integrate (fie în proteză, fie extern) sunt esențiale pentru procesarea rapidă a semnalelor, executarea algoritmilor AI și transformarea acestora în comenzi de control.
- Componente protetice: componente robotice avansate, dispozitive de stimulare neurală și alte module bionice personalizate care integrează actuatori precisi și senzori de *feedback*.
- Pentru a crea algoritmi de procesare a semnalelor, învățare automată și control adaptativ, este necesară utilizarea platformelor software avansate.
- Costurile ridicate pentru achiziție, implantare, întreținere și actualizare constituie o barieră semnificativă pentru accesibilitate.
- Sunt implicate echipe multidisciplinare, inclusiv neurochirurghi, neurologi, bioingineri, specialiști în AI, kinetoterapeuți, terapeuți ocupaționali, psihologi, personal de cercetare și suport tehnic.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocoalele pentru neuroproteze inteligente sunt adaptate și iterative pentru a aborda complexitatea interacțiunii om-mașină. Aceste protocoale specifică parametrii tehnici, durata sesiunii, perioada de încercare și frecvența.

Sistemele de *feedback* integrate, *Targeted Muscle Reinnervation* (TMR) și algoritmi avansați de AI sunt considerate componente esențiale.

Durata sesiunilor de antrenament este influențată de calibrările inițiale, adaptarea pacientului, oboseala și ajustările permanente ale algoritmilor. Atât utilizatorul, cât și echipa medicală, au nevoie de timp pentru a implementa intervențiile. Etapele inițiale includ instruirea pacientului, vindecarea leziunilor post-chirurgicale, reactivarea corticală senzitivo-motorie, antrenamentul activării musculare selective și manipularea propriu-zisă a protezei. Reabilitarea este un proces prelungit, care se extinde frecvent pe luni sau ani, cu o frecvență individualizată în funcție de nevoile și progresul pacientului.

Utilizatorul și sistemul se adaptează reciproc, proces denumit co-adaptare. Algoritmii de control sunt concepuți pentru a fi co-adaptivi și multimodali, adaptându-se la schimbările în intenția utilizatorului și la semnalele neuronale pe măsură ce pacientul îmbunătățește controlul.

*Efectele adverse* sunt datorate naturii invazive a acestor sisteme și complexității algoritmilor de inteligență artificială.

Complicațiile chirurgicale și biologice pot include infecții, hemoragii intracraniene sau leziuni ale țesutului cerebral. Răspunsurile inflamatorii la electrozi, formarea de țesut cicatricial în jurul implantului și problemele de biocompatibilitate pe termen lung pot avea un impact negativ asupra calității semnalului.

Riscul de coroziune sau dislocare a electrozilor face ca stabilitatea mecanică și chimică a implanturilor să rămână o problemă.

Au fost identificate și probleme funcționale (micromișcările implanturilor, degradarea semnalului). Neuroprotezele inteligente colectează și procesează informațiile neurale sensibile, ceea ce face esențială securitatea datelor și prevenirea atacurilor cibernetice.

De asemenea, o preocupare etică și juridică majoră este reprezentată de protecția informațiilor sensibile, deoarece astfel de date pot dezvălui intențiile și gândurile unei persoane.

Există provocări morale și psihologice semnificative. Schimbările funcțiilor cerebrale sau controlul asistat de mașină pot afecta identitatea pacientului, liberul arbitru și autonomia. Dependența de tehnologie este posibilă, iar frustrarea sau rezultatele psihologice negative pot apărea din așteptările nerealiste. Efectele neintenționate pot influența funcțiile cognitive, emoțiile și comportamentul, necesitând o monitorizare psihologică aprofundată. Costurile ridicate limitează accesul la aceste tehnologii, limitând beneficiile pentru un subset mic de persoane.

Pe termen lung, funcționarea optimă a neuroprotezelor inteligente necesită o *monitorizare* continuă și multidimensională. Aceasta implică următoarele aspecte:

- Monitorizarea tehnică - vizează securitatea cibernetică, calitatea semnalului și funcționalitatea dispozitivului.
- Monitorizarea fiziologică – se referă la evaluarea răspunsurilor musculare și neurale, a adaptării la neuroproteză, a modificărilor activității musculare sau cerebrale, a neuroplasticității induse și a efectelor stimulării. De asemenea, este esențială identificarea semnelor de infecție, inflamație sau a altor complicații biologice asociate implantului.
- Evaluarea performanței urmărește progresul funcțional în îndeplinirea sarcinilor, precizia controlului, viteza de reacție și dexteritatea cu proteza. De asemenea, se obține *feedback*-ul pacientului cu privire la modul în care proteza este utilizată, cât de confortabilă este, cât de mult simte că are control și cât de bine se integrează în viața de zi cu zi.
- Monitorizarea psihologică și etică implică evaluarea efectelor asupra pacientului, precum acceptarea, dependența, satisfacția, anxietatea sau depresia, precum și asigurarea respectării principiilor etice pe durata utilizării dispozitivului, inclusiv confidențialitatea și autonomia.

Algoritmii de AI sunt ajustați continuu pe baza datelor și a *feedback*-ului, pentru a optimiza performanța, a se adapta la schimbările fiziologice ale pacientului și a îmbunătăți experiența de utilizare.

*Recomandări post-tratament:*

Pentru integrarea cu succes, utilizarea susținută și maximizarea beneficiilor neuroprotezării inteligente, intervențiile ar trebui să se bazeze inclusiv pe recomandările post-tratament.

Instruirea regulată și ajustările sistemelor AI sunt necesare pentru a menține și maximiza beneficiile pe termen lung, datorită naturii lor adaptive și a neuroplasticității continue a creierului. Un program continuu de reabilitare este obligatoriu, iar pacienții necesită sprijin din partea diverselor părți (ingineri, terapeuți ocupaționali, fizioterapeuți, neurologi, neurochirurghi și psihologi). Acest sprijin este necesar pentru întreținerea dispozitivului, depanare, optimizare, gestionarea complicațiilor medicale sau psihologice și adaptarea planului de îngrijire.

Sunt necesare planuri clare și accesibile pentru situații de urgență legate de defecțiuni ale dispozitivului, complicații medicale sau probleme de securitate cibernetică. De asemenea, este necesară pregătirea constantă a pacienților și îngrijitorilor. Utilizarea pe termen lung a acestor tehnologii necesită cadre de reglementare clare și etice pentru a asigura securitatea și confidențialitatea datelor neuronale, drepturile utilizatorilor și responsabilitatea dezvoltatorilor, care trebuie definite și implementate.

Promovarea cercetării fundamentale și aplicate este esențială pentru a îmbunătăți durabilitatea, fiabilitatea, acuratețea controlului, eficiența energetică și *feedback*-ul senzorial al neuroprotezării, precum și pentru a reduce cheltuielile și a crește accesibilitatea.

## **5.5. Sistemele AI-Enhanced**

Algoritmii de AI, cum ar fi învățarea automată și prin consolidare, sunt principalele instrumente ale cercetării neurofuncționale pentru a optimiza procesele de diagnostic, terapie și reabilitare în domeniul neurologiei. Roboții și neuroprotezele au capacitatea de a restabili funcția și de a răspunde adaptativ pacienților. O abordare personalizată este dificil de implementat cu tehnicile convenționale de reabilitare.

*Definiție:*

Sistemele AI - *Enhanced* sunt sisteme care utilizează AI pentru a analiza cantități masive de date și a detecta tipare, precum și pentru a lua măsuri corective în timp real. Ele modifică abordarea convențională a neuroreabilitării, permițând diagnosticarea timpurie, prognosticul, terapia

personalizată și monitorizarea continuă, acestea având o relevanță substanțială în reabilitare.

*Efecte terapeutice principale:*

- Intervențiile pot fi personalizate: tehnologia este folosită pentru a personaliza programele de reabilitare pentru fiecare pacient, pe baza datelor medicale, a răspunsului terapeutic și a progresului. O astfel de personalizare accelerează recuperarea funcțională și îmbunătățește neuroplasticitatea. Acest lucru se reflectă în cazul NeuroAIreh@b, unde un model AI este aplicat pentru a optimiza prescripțiile clinice de neuroreabilitare și a oferi sesiuni personalizate pentru fiecare pacient în parte.
- Optimizarea terapiei: algoritmi AI monitorizează continuu performanța pacientului și adaptează dinamic parametrii exercițiilor (intensitate, dificultate, tip de feedback) în timp real, crescând eficacitatea terapiei.
- Diagnostic și prognostic: AI analizează seturile mari de date colectate în cercetarea clinică — inclusiv cele de neuroimagică — pentru a îmbunătăți diagnosticarea timpurie și prognosticul rezultatelor recuperării la pacienții cu afecțiuni neurologice, cum ar fi AVC, leziuni ale măduvei spinării și boala Parkinson. AI ajută, de asemenea, la luarea deciziilor clinice și ușurează munca de rutină a medicului.
- *Feedback* și motivație: pacienții pot participa la antrenament datorită tehnologiei.
- Performanță operațională: instrumentele inteligente, conectate, adoptate de modelele de reabilitare descentralizate, susțin luarea deciziilor clinice, accesul la îngrijire, alocarea resurselor, precum și monitorizarea rezultatelor; toate acestea sunt asistate de AI.

*Indicații:*

Sistemele *AI-enhanced* pot fi utilizate pentru o gamă largă de afecțiuni neurologice și pot îmbunătăți semnificativ rezultatele reabilitării.

- În caz de AVC, crește potențialul funcțional al membrilor superioare și inferioare, performanța coordonării, precum și sarcinile zilnice în general. În plus, poate anticipa rezultatele recuperării limbajului și cogniției la un supraviețuitor al unui AVC. Tehnologii precum VR și AR, îmbogățite de AI, ajută la revenirea funcției motorii și cognitive.
- Leziuni traumatiche ale creierului și măduvei spinării: AI sprijină recuperarea motorie și cognitivă, adaptând antrenamentul și monitorizând progresul.
- Boli neurodegenerative (boala Parkinson, SM, demența): AI facilitează reabilitarea cognitivă, menținerea funcției motorii și personalizarea tratamentului. Modelele de învățare profundă și AI monitorizează schimbările structurale și fiziologice legate de boală în creier,

simptomele motorii și cognitive și răspunsurile la tratamente pe măsură ce pacientul progresează folosind algoritmi.

- Tulburări de dezvoltare: AI ajută la rezultatele tratamentului recuperator la acești pacienți.
- Tulburări de conștiență: AI ajută persoanele cu leziuni cerebrale severe să se recupereze într-un mod adaptativ și să îmbunătățească calitatea vieții.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

Sistemele avansate de AI au beneficii, dar prezintă și complicații care trebuie gestionate cu precauție strictă și etică.

- Opacitatea algoritmică („Black Box”) - este un obstacol important al încrederii clinicienilor și pacienților, deoarece algoritmiile nu explică exact cum se ajunge la o concluzie. Acest lucru poate afecta responsabilitatea clinică și siguranța pacienților, sporind riscul de erori medicale. Este esențial să se valorifice cunoștințele AI, dar și să se asigure că terapeutul este implicat activ în procesul de luare a deciziilor.
- Problemele etice acoperă, de asemenea, preocupări precum autonomia, responsabilitatea, confidențialitatea și justiția. Este necesară luarea în considerare a problemelor etice și sociale, cum ar fi siguranța, acceptarea publică și respectul pentru autonomia pacientului. Discuții clare în jurul acestor probleme sunt necesare în ceea ce privește modul în care confidențialitatea va echilibra acele valori și preocupări. Comunicarea deschisă, o nouă abordare, consimțământul informat adaptat și negocierea etică între confidențialitate și alte valori sunt esențiale.
- Validarea clinică și reglementarea sunt necesare. Ar trebui dezvoltate ghiduri etice și protocoale de validare robuste pentru algoritmiile AI utilizați în medicină. Reglementarea legală trebuie să abordeze problemele etice și infrastructurale și să reducă opacitatea algoritmilor.
- *Tehnologii specifice și aplicații inovatoare:*

Tehnologiile care schimbă modul în care realizăm neuroreabilitarea sunt datorate progresului AI. VR și AR generează medii imersive și interactive pentru recuperare. VR determină îmbunătățirea funcției executive, a mobilității, precum și procesarea cognitivă, construind medii propice pentru activitățile zilnice și antrenamentul motor. De asemenea, AR permite pacienților să interacționeze cu obiecte virtuale în mediul lor real, maximizând antrenamentul funcțional.

Roboții de reabilitare care rulează cu algoritmi AI oferă o terapie repetitivă, intensivă și personalizată, în funcție de performanța individuală a pacientului. Ei ajută la recuperarea motorie a membrilor și pot efectua diverse mișcări.

AI în BCI împreună cu VR poate accelera procesul de recuperare motorie, stimulând activarea corticală după un AVC. În același timp, AI

este necesară pentru decodarea semnalelor neurale, prelucrarea lor și transformarea lor în comenzi pentru dispozitive externe.

AI poate contribui la luarea deciziilor prin examinarea datelor clinice și recomandarea metodelor de diagnostic și tratament. Astfel de sisteme ajută la luarea unor decizii clinice mai bune și mai eficiente pentru pacienți.

Platformele digitale activate de AI care se pot conecta la senzori portabili și aplicații mobile permit monitorizarea continuă de la distanță a pacienților (telereabilitare). Acest aspect îmbunătățește accesibilitatea la aceste forme de îngrijiri, consolidează implicarea pacienților și oferă evaluări rapide ale planului de tratament.

*Mod de aplicare:*

Implementarea sistemelor *AI-Enhanced* este dificilă și necesită o abordare multidisciplinară.

AI procesează date medicale complexe pentru a anticipa progresul recuperării și a identifica riscurile, facilitând intervențiile proactive și personalizarea tratamentului, astfel încât analiza predictivă este importantă. AI permite sesiuni de neuroreabilitare extrem de adaptabile și personalizate, iar platformele specializate ajustează antrenamentul pentru fiecare pacient. Roboții de reabilitare cu AI pot oferi asistență personalizată, chiar și în afara spațiilor spitalicești.

AI este folosită în BCI și neuroproteze pentru a decodifica direct intenția de mișcare din semnalele musculare sau neurale, oferind un control mai ușor de înțeles și mai precis al dispozitivelor asistive. AI este folosită în VR și AR pentru a crea medii de reabilitare adaptabile și personalizate, îmbunătățind valoarea ecologică și eficiența terapiei, în special prin simularea activităților zilnice în condiții controlate și sigure. În plus, AI este esențială în crearea și menținerea unui model de reabilitare descentralizat, prin monitorizarea și asistența la distanță, oferind pacienților izolați sau cu mobilitate redusă acces la terapie.

*Resurse – spațiul alocat, aparatura necesară, personal implicat:*

Implementarea eficientă a sistemelor *AI-Enhanced* necesită o infrastructură dezvoltată și personal specializat.

Spațiul alocat include centre de reabilitare cu infrastructură IT robustă, zone pentru echipamente specializate și spații dedicate colectării și analizei datelor medicale și de performanță. În vederea posibilității reabilitării la domiciliu, se utilizează tehnologii de senzori și comunicații, adesea cu algoritmi AI, cu scopul monitorizării și asistenței la distanță. Platformele inteligente de acasă pot integra senzori portabili și monitorizare ambientală, pentru a susține procesul de recuperare continuu, adaptată mediului pacientului.

Aparatura necesară este reprezentată de senzori și dispozitive de captare a datelor, platforme *hardware* și *software* cu AI, la care se asociază tehnologii avansate de învățare automată și prin consolidare pentru personalizarea intervențiilor. Robot Operating System 2 (ROS2) oferă un cadru *middleware* performant pentru gestionarea constrângerilor în timp real și creșterea modularității în sistemele robotice.

Personalul implicat este alcătuit din echipe multidisciplinare (terapeuți, neurologi, ingineri biomedicali, specialiști în AI, experți în etică) și personal instruit. Însă este nevoie de formare suplimentară și de îmbunătățire a pregătirii organizaționale.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocolele pentru sistemele *AI-Enhanced* sunt dinamice și individualizate. Se utilizează parametri tehnici specifici, algoritmi de învățare adaptivă și *feedback* personalizat (vizual, acustic și de forță). Mecanismele folosesc informații primite de la senzorii portabili și simulările de VR pentru a îmbunătăți continuu rezultatele pacientului și a facilita ajustări în timp real ale terapiei.

Timpul pe sesiune, durata curei și ritmicitatea sunt adaptate nevoilor individuale ale pacienților. Algoritmii ajustează dinamic acești parametri în funcție de progresul și răspunsul pacientului, spre deosebire de protocolele standardizate.

*Efectele adverse* sunt echivalente cu cele ale altor tehnologii medicale, dar AI aduce provocări suplimentare: erori algoritmice ("black box", bias-uri), riscuri pentru confidențialitatea și protecția datelor neurale și medicale, precum și reducerea interacțiunii umane, care poate afecta motivația și bunăstarea psihologică a pacientului.

*Monitorizarea* este esențială pentru eficacitatea și siguranța sistemelor *AI-Enhanced*.

Monitorizarea continuă a performanței, evaluarea obiectivă și utilizarea senzorilor portabili, simulărilor VR și asistenței robotice cu AI permit cuantificarea precisă a funcționalității cognitive și a tiparelor de mers (până la 94%).

Aspectele de ordin etic sunt, de asemenea, fundamentale, având în vedere că procesarea în timp real a datelor neurale ridică provocări privind confidențialitatea și dreptul pacienților de a fi informați despre modul de colectare și utilizare a informațiilor.

*Recomandări post-tratament*

Recomandările post-tratament pentru sistemele *AI - Enhanced* au drept scop creșterea beneficiilor și facilitarea integrării pe termen lung. Continuarea tratamentului de recuperare la domiciliul pacientului, reevaluările frecvente și educația continuă sunt indicate.

Componenta etică în neurotehnologie și crearea de ghiduri specifice pentru dezvoltatori și utilizatori sunt esențiale. Regulamentele ar trebui să stabilească standarde pentru utilizarea clară, sigură și non-discriminatorie a instrumentelor AI.

Îngrijitorii, pacienții, clinicienii și furnizorii de servicii medicale și de asigurări trebuie să colaboreze pentru a face progrese tehnologice. Pentru a reduce erorile de date și a îmbunătăți performanța modelelor AI, este necesară integrarea periodică a noilor date de antrenament.

## **5.6. Telereabilitarea sau telemedicina**

Telereabilitarea (TR) reprezintă un model inovator de furnizare a serviciilor de recuperare reprezentată de posibilitatea îngrijirii la distanță folosind tehnologii digitale și de telecomunicații. Această metodă permite pacienților să se recupereze în siguranță în propriile locuințe, devenind deosebit de importantă post-pandemie.

*Definiție:*

În domeniul de tele-medicină, TR implică furnizarea de servicii de reabilitare la distanță prin utilizarea tehnologiilor informaționale și de comunicații. Acest aspect permite interacțiunea pacienților și medicilor atunci când nu sunt în aceeași locație și include utilizarea dispozitivelor conectate, monitorizarea la distanță și consultații video.

*Efecte terapeutice:*

- Creșterea disponibilității: TR poate fi o soluție realistă pentru a depăși obstacolele legate de accesul la asistență medicală, în special în zonele rurale. De asemenea, poate crește accesul persoanelor care nu mai primesc tratament de recuperare intensivă la programe de reabilitare și monitorizare.
- Continuitatea îngrijirii: TR ajută pacienții cu AVC să continue tratamentul după externare
- Reducerea costurilor medicale
- Îmbunătățirea calității vieții pacienților cu afecțiuni neurologice, personalizarea programelor și stimularea aderenței la tratament

*Indicații:*

TR este recomandată pentru un număr crescut de pacienți cu diverse afecțiuni, deoarece poate îmbunătăți calitatea vieții pacienților, satisfacția acestora și acceptarea tehnologiei.

- AVC: TR îmbunătățește motivația și satisfacția, precum și recuperarea funcției. Deși este o modalitate excelentă de a face exerciții fizice, trebuie efectuată cu atenție pentru a evita orice probleme.

- SM și boală Parkinson: în scopul recuperării motorii și a creșterii calității vieții
- Leziuni ale măduvei spinării și ale SNC: TR permite adaptabilitatea și continuitatea îngrijirii.
- Tulburări de mișcare: TR este implicată în facilitarea metodelor de fizioterapie.

*Contraindicații și precauții:*

Deși TR oferă numeroase beneficii, aplicarea în practică a acesteia este dificilă și necesită o abordare precaută. Problemele care pot apărea sunt: lipsa de alfabetizare digitală, accesibilitatea slabă la tehnologie, confidențialitatea și securitatea datelor, bias-ul algoritmic, siguranța fizică, interesul și dorința pacienților.

*Mod de aplicare:*

TR utilizează tehnologii și metode variate pentru furnizarea serviciilor la distanță, inclusiv consultații video pentru comunicare directă, platforme online și aplicații mobile pentru intervenții la domiciliu și susținerea schimbărilor stilului de viață, dispozitive portabile și senzori pentru monitorizarea permanentă a stării de sănătate, VR și AR pentru exerciții terapeutice imersive, de asemenea roboți.

*Resurse – spațiul alocat, aparatura necesară, personal implicat*

Implementarea TR necesită infrastructură complexă și personal specializat.

TR transferă furnizarea îngrijirii în mediul de acasă al pacientului. Sunt necesare o structură IT fiabilă, echipamente adecvate și un spațiu sigur și suficient la domiciliu pentru desfășurarea ședințelor de tratament recuperator.

De asemenea, sunt obligatorii tehnologii digitale (precum senzori portabili, dispozitive robotice, soluții de *gamificare*, sisteme de VR și AR, aplicații digitale și mobile, echipamente audio-vizuale specializate, internet stabil și de mare viteză), precum și platforme de videoconferință, inclusiv aplicații comerciale sau de social media, cum ar fi Facebook, Messenger, WhatsApp și Viber.

O echipă multidisciplinară (medic de reabilitare, asistent medical de reabilitare, fizioterapeut, terapeut ocupațional, asistent social) este indispensabilă, dar estela fel de important sprijinul din partea conducerii instituțiilor medicale, pentru adoptarea și integrarea serviciilor de TR.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocolele TR permit o mare flexibilitate în ceea ce privește durata și ritmul intervenției, adaptate nevoilor fiecărui pacient și bolii de care suferă.

Elementele tehnice se bazează pe ghiduri clinice recent modificate pentru a îmbunătăți practica în TR. Totuși, sunt necesare date suplimentare și validare clinică pentru ca aceste aplicații să fie utilizate la scară mai mare.

Exercițiile sunt adaptate nevoilor pacienților, dar depind și de toleranța și obiectivele terapeutice, fiind diferite în ceea ce privește durata.

TR durează, de obicei, 12 săptămâni, cu un interval cuprins între 6 și 48 de săptămâni. Programele de lungă durată la domiciliu, în care se crește treptat greutatea și intensitatea antrenamentului fizic, ar putea constitui baza unor modificări susținute ale stilului de viață și rezultate clinice pe termen lung. Pacientul și boala acestuia impun frecvența sesiunilor.

*Efecte adverse:*

TR este în mare parte sigură, dar poate prezenta unele riscuri și potențial probleme. Acestea includ evenimente legate de siguranță, consecințe negative asupra sănătății și probleme tehnice (de exemplu, probleme de conexiune la internet sau defecțiuni ale echipamentului). Terapia poate să nu funcționeze eficient din cauza frustrării pacientului și a terapeutului.

*Monitorizarea* cu succes guvernează eficacitatea TR.

Monitorizarea cerințelor și progresului pacienților în timp real permite ajustarea eficientă și la timp a planului de tratament. TR este eficientă în oferirea de *feedback* eficient în timp real, ghidând pacientul spre urmărirea progresului sau recuperator. Utilizarea *feedback*-ului ambiant sau comparațiile sociale pot crește motivația și conformitatea cu auto-monitorizarea.

*Recomandări post-tratament:*

Acestea vizează creșterea beneficiilor și posibilitatea utilizării serviciilor un timp mai îndelungat. Pe termen lung, se recomandă abordări hibride de îngrijire care combină TR cu proceduri clinice cunoscute. Extinderea programelor de urmărire la 6-12 luni sau mai mult este, de asemenea, recomandată. Platformele de TR și produsele digitale utilizate în sistemul de sănătate trebuie să fie în permanență optimizate și actualizate, pentru a satisface cerințele mereu în schimbare ale furnizorilor și pacienților.

Pentru a preveni efectele negative și pentru a asigura protecția datelor pacienților, este esențială stabilirea unor standarde etice clare pentru utilizarea TR și integrarea acestora în legile în vigoare. Un obstacol semnificativ este absența reglementărilor legale adecvate și a standardelor internaționale de etică.

Pentru a evalua raportul cost-eficiență a TR în diverse afecțiuni neurologice și calitatea vieții pacienților, sunt necesare mai multe studii. Deși cercetarea TR este încă în curs, se înregistrează progrese semnificative în studiile efectuate sau în curs.

## 5.7. Dispozitive portabile (*wearables*) și senzori

Dispozitivele portabile, cunoscute și sub numele de *wearables*, precum și senzorii, sunt vitali în neuroreabilitarea contemporană, deoarece permit supravegherea continuă a pacienților, colectarea de date specifice și furnizarea de intervenții terapeutice în timp real, inclusiv înafara clinicilor. Aceste tehnologii îmbunătățesc învățarea motorie și implicarea pacienților, permițând o reabilitare mult mai personalizată și mai eficientă.

*Definiție:*

Dispozitivele portabile și senzorii includ sisteme complexe de monitorizare a mediului, senzori de mișcare integrați în haine sau corp și brățări și ceasuri inteligente. Acești senzori colectează informații atât din punct de vedere fiziologic (de exemplu, ritmul cardiac și transpirația), cât și din punct de vedere biomecanic (de exemplu, mișcare, postură și mers). Pentru a urmări rezultatele funcționale sau biomarkerii clinici digitali, EEG și fNIRS pot furniza date multimodale de înaltă rezoluție.

*Efecte terapeutice:*

- Monitorizare constantă și obiectivă: senzorii oferă informații cantitative independente legate de activitatea fizică, calitatea mișcării, somnul și alți parametri importanți, care nu pot fi obținute prin evaluări clinice periodice. Acestea permit evaluarea amănunțită a deficiențelor și ajustarea precisă a planului de reabilitare, facilitând individualizarea terapiei.
- *Feedback* în timp real: unele dispozitive portabile oferă acest tip de informații, ajutând pacienții să-și ajusteze mișcările și să-și urmeze corect programul de exerciții.
- Facilitarea TR: aceste echipamente oferă terapeuților posibilitatea de a urmări progresul pacienților și de a interveni de la distanță, sporind accesul la îngrijire și la sesiuni intensive de reabilitare.
- Motivație și angajament: aparatura portabilă poate spori motivația pacienților și aderența lor la procesul de recuperare prin gamificarea și urmărirea progresului.
- Detectarea precoce a deteriorării stării de sănătate: modificările subtile ale mișcării sau ale altor caracteristici pot indica o alterare a stării de sănătate sau un risc crescut de evenimente periculoase, ceea ce permite intervenții rapide.

*Indicații:*

*Wearables* și senzorii sunt folosiți în diverse afecțiuni neurologice în scopul monitorizării progresului, ajustării tratamentului și luării unor decizii informate în reabilitarea motorie:

- AVC: monitorizarea activității fizice, recuperarea mersului, echilibrului și a funcției membrelor superioare și inferioare. Studiile în acest domeniu

au în vedere pacienți cu AVC în antecedente, folosind predominant accelerometre sau unități de măsură inerțială pentru a colecta date cinematice.

- Boala Parkinson: detectarea și monitorizarea tremorului, bradikineziei, instabilității posturale, precum și a tulburărilor de mers și *freezing of gait*.
- SM: TR cu senzori portabili este utilă pentru recuperarea motorie și creșterea calității vieții. Aceste dispozitive monitorizează funcția motorie, semnele vitale și activitatea fizică.
- Leziuni ale măduvei spinării și leziuni cerebrale: monitorizarea activității fizice și a progresului în reabilitarea mersului.
- Prevenirea căderilor: monitorizarea echilibrului și evaluarea riscului de cădere la persoanele vârstnice.

#### *Contraindicații și precauții:*

Există multe beneficii în urma utilizării dispozitivelor portabile, dar și o serie de dezavantaje, inclusiv acuratețea și fiabilitatea, confidențialitatea și siguranța datelor, acceptarea și aderența pacienților, costurile și supraîncărcarea cu informații. Fără algoritmi de procesare AI, poate fi dificil de interpretat volumul mare de date disponibile.

#### *Metode de aplicare:*

Dispozitivele portabile pot fi integrate în recuperarea afecțiunilor neurologice în mai multe moduri specifice:

- Monitorizare pasivă: senzorii colectează constant date în timpul activităților zilnice normale ale pacientului, contribuind la evaluarea și monitorizarea obiectivă a evoluției pacientului înafara mediului clinic.
- Ghidare activă: anumite dispozitive oferă instrucțiuni sau vibrații pentru a ghida pacientul în timpul exercițiilor sau pentru corectarea posturii.
- Integrarea AI și procesarea algoritmică: senzorii colectează date, iar algoritmi AI le utilizează pentru a găsi informații relevante, a identifica tipare, a prezice rezultate și a genera rapoarte personalizate.
- Jocuri și aplicații de reabilitare: dispozitivele portabile pot fi integrate în jocuri terapeutice și medii VR sau AR, special concepute pentru a sprijini mișcarea și implicarea, facilitând îmbunătățirea abilităților motorii.

#### *Resurse - spațiul alocat, aparatura necesară și personalul implicat*

Majoritatea dispozitivelor sunt proiectate pentru a fi utilizate acasă, reducând nevoia prezenței într-o clinică specializată. Totuși, este nevoie de un loc sigur pentru exerciții, în timp ce dispozitivele inteligente oferă asistență și supraveghere de la distanță.

Materiale precum accelerometre, giroscopae, magnetometre, senzori de presiune, senzori optici pentru ritmul cardiac, dispozitive GPS și sisteme avansate precum EEG și fNIRS sunt printre aparatele necesare.

Tehnologiile portabile, fără fir și rentabile, precum și echipamentele și platformele *software* de procesare a datelor, cum ar fi aplicațiile mobile și platformele *cloud*, sunt esențiale.

Pentru a controla aspectele clinice și tehnice ale acestor dispozitive, este necesară o echipă alcătuită din terapeuți, medici, ingineri de date, dezvoltatori de *software* și personal de suport tehnic. Tehnologia senzorilor portabili îi ajută pe clinicieni și pacienți să măsoare mai bine activitatea în afara mediului clinic.



**Figura 3.** Dispozitive portabile utilizate în neuroreabilitare

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Protocolele pentru utilizarea dispozitivelor portabile în reabilitare sunt ample și variate, inclusiv parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei și ritmicitate.

Frecvența de eșantionare a senzorilor, tipul de algoritm de procesare a datelor, pragurile de detectare a evenimentelor (cum ar fi căderile sau tremorul) și modul de prezentare a *feedback*-ului constituie parametri tehnici urmăriți. Standardizarea acțiunilor, protocolelor și metodelor de analiză a datelor este esențială.

Timpul de utilizare poate include utilizare intermitentă sau monitorizare continuă pe o perioadă lungă de timp. Durata și frecvența curei depind de obiectivele terapeutice și de modul în care este integrată cu alte terapii, contribuind la desfășurarea programelor de recuperare pe termen lung.

Eroarea de măsurare, reacțiile excesive la alerte false, frustrarea tehnologică, dificultățile de utilizare, disconfortul sau lipsa de familiaritate a pacientului cu dispozitivele sunt câteva dintre *efectele adverse* care pot apărea.

### *Monitorizare:*

Identificarea rapidă a deteriorării sănătății și intervenția proactivă sunt posibile printr-o monitorizare continuă. Tehnologii precum senzorii portabili, aplicațiile mobile și platformele integrate permit urmărirea imparțială și cantitativă a performanței pacientului, oferind date utile pentru evaluare. Un avantaj important al TR este reprezentat de *feedback*-ul imediat, ceea ce îi ajută să urmărească progresul și să rămână motivați. Metodele de stimulare, cum ar fi *feedback*-ul ambiental sau comparațiile sociale, pot spori angajamentul și aderența la auto-monitorizare.

### *Recomandări post-tratament:*

Pentru a păstra beneficiile și a gestiona provocările, se recomandă următoarele acțiuni:

- Dispozitivele portabile ar trebui să facă parte dintr-un plan de îngrijire personalizat și cuprinzător. Acestea sunt ideale pentru completarea fizioterapiei convenționale sau, pe termen lung, ca tratamente alternative pentru reabilitarea auto-ghidată în bolile non-cronice.
- Standardele pentru date și dispozitive trebuie atent stabilite pentru integrarea și partajarea informațiilor între sisteme și furnizori
- Pentru a fi cât mai eficienți în utilizarea acestor noi tehnologii, personalul medical și pacienții trebuie să fie informați despre beneficiile și dezavantajele lor.

## **5.8. Ingineria neuromorfică**

Ingineria neuromorfică este o ramură interdisciplinară care se axează pe crearea de *software* și *hardware* bazate pe arhitectura și funcționarea creierului biologic. Obiectivul său principal este dezvoltarea de sisteme de calcul care sunt eficiente energetic și pot procesa informații complexe, cum ar fi sistemele neuronale. Neuroreabilitarea și AI sunt domenii în care aceste sisteme pot fi utile.

### *Definiție:*

În ingineria neuromorfică, circuitele electronice sunt construite pe baza structurii și funcțiilor neuronilor și sinapselor. Memoria și procesarea sunt integrate în sistemele neuromorfice, ceea ce permite procesare simultană vastă cu un consum scăzut de energie. Acest lucru este în opoziție cu planul lui von Neumann, în care procesarea și memoria sunt distincte. Aceste sisteme folosesc rețele neuronale de tip *spiking*, care au capacitatea de a procesa informația prin impulsuri, asemănătoare neuronilor biologici, ceea ce îmbunătățește eficiența și adaptabilitatea. Această abordare susține integrarea evoluată creier-mașină pentru neuroproteze eficiente.

*Efecte potențiale în neuroreabilitare (viitoare):*

- AI rentabilă energetic: optimizarea algoritmilor AI pentru utilizare în procesul de neuroreabilitare folosind semnificativ mai puțină energie. Acest aspect este esențial pentru dispozitivele medicale implantate care necesită surse de energie stabile, sigure și de lungă durată, permițând dispozitivelor portabile sau implantabile să aibă o autonomie crescută și un timp de funcționare crescut.
- Procesarea în timp real a informațiilor neuronale: procesarea unor volume mari de date de la BCI sau neuroproteze în timp real, cu o latență foarte scăzută, este indispensabilă pentru a permite un control subtil și rapid al dispozitivelor asistive.
- BCI avansate: decodarea îmbunătățită a intențiilor motorii și cognitive din semnalele cerebrale pentru un control mai intuitiv și precis al protezelor sau exoscheletelor. Noile BCI gestionează diverse probleme, cum ar fi îmbunătățirea proceselor de luare a deciziilor și modularea tulburărilor de dispoziție.
- Neuroproteze mai inteligente: integrarea capacităților de învățare și adaptare neuromorfică în neuroproteze, permițând ajustarea continuă la nevoile și progresul utilizatorului pentru o performanță optimă pe termen îndelungat.
- O înțelegere mai profundă a principiilor majore ale funcționării creierului, pentru a identifica noi abordări terapeutice și strategii de reabilitare.

*Indicații (potențiale):*

Ingenieria neuromorfică are potențialul de a revoluționa domeniile importante ale neuroreabilitării, deși utilizarea sa clinică directă este încă la început:

- Monitorizarea neuroprotezelor
- Creșterea semnificativă a vitezei și acurateții decodificării semnalelor cerebrale, importantă pentru pacienții cu paralizie care utilizează aceste sisteme BCI pentru comunicare și control.
- Elaborarea de dispozitive care pot asista sau reface funcții cognitive deteriorate prin procesare neuronală eficientă, favorizând recuperarea memoriei, atenției și funcțiilor executive.
- Revizuirea rapidă și eficientă a datelor cerebrale pentru evidențierea biomarkerilor specifici bolilor neurologice, permițând intervenții diagnostice și terapeutice precoce.
- Recuperare motorie: interfețele neurale inteligente și miniaturizate permit o stimulare responsabilă și monitorizare în buclă închisă, participând la recuperarea mișcării după paralizie. Interfețele hibride creier-mușchi-mașină au un potențial major pentru reabilitarea pacienților cu AVC.

- Neurostimulare individualizată: ingineria neuromorfică poate transforma sistemele implantabile creier-mașină astfel încât tratamentele să fie personalizate, dezvoltând astfel conceptul de ”neuromodulație neuromorfică”.

*Contraindicații și măsuri de precauție:*

Valorificarea ingineriei neuromorfice în recuperarea neurologică se însoțește de o serie de provocări, necesitând precauție. De asemenea, este necesar timp suplimentar și cercetare aprofundată pentru a trece la aplicații clinice pe scară largă ale tehnologiei, deoarece aceasta este încă în faza de cercetare fundamentală. Aceste sisteme presupun noi programe de calcul și paradigme și instrumente dedicate. Se impun, în același timp, studii extinse ale aplicațiilor medicale, pentru a determina siguranța, eficacitatea și fiabilitatea lor pe termen lung.

Situațiile de ordin etic includ prejudecăți, identitate și confidențialitate. Aplicarea neuroprotezării la oameni aduce cu sine probleme de moralitate, având în vedere faptul că natura informativă a datelor neuronale, ceea ce atrage provocări unice pentru proiectanții de procesoare BCI în ceea ce privește problemele de proiectare și etică, lege, politică și reglementări. Acest lucru este deosebit de serios în cazul datelor neuronale, care conțin date sensibile, ce pot influența indivizii, identitatea și abilitățile lor cognitive, autonomia și confidențialitatea mentală.

În același timp, trebuie luată în considerație și posibila utilizarea controversată în afara tratamentului medical, inclusiv perfecționarea umană. În plus, interfețele neuronale implantabile colectează și comunică date neuronale, acest lucru crescând posibilitatea atacurilor cibernetice și a însușirii lor neautorizate. Răspunderea pentru intervențiile bazate pe AI, modificările algoritmice, consimțământul informat, autonomia pacientului, siguranța pe termen lung și confidențialitatea și protecția datelor sunt printre principalele îngrijorări.

*Mod de aplicare (potențial):*

Ingineria neuromorfică poate fi aplicată în diverse moduri în reabilitare:

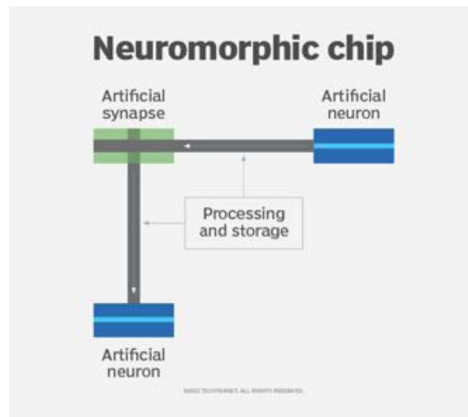
- *Hardware* implantabil - folosirea de microcipuri neuromorfice integrate în neuroproteze sau BCI pentru prelucrarea locală a semnalelor neuronale cu latență scăzută, diminuând întârzierile și crescând responsivitatea.
- Sisteme de calcul la marginea rețelei (*edge computing*): echipamente portabile cu procesare neuromorfică, care au capacitatea de o analiză rapidă a datelor senzoriale și o furnizare de *feedback* inteligent în timp real, fără a implica o conexiune constantă la *cloud*.
- Robotică autonomă: realizarea de roboți de recuperare care pot învăța și se pot adapta la contexte complexe și la interacțiunea cu pacienții, având

o performanță energetică crescută, conferind un suport personalizat și dinamic.

*Resurse – spațiul alocat, aparatura necesară, personalul implicat*

Resursele specializate sunt necesare pentru dezvoltarea și aplicarea ingineriei neuromorfice:

- Laboratoarele de cercetare avansate, atât la nivel universitar, cât și industrial, dotate cu infrastructură pentru simulări complexe, microfabricare și analiză de circuite integrate.
- Aparatură principală: cipuri neuromorfice dedicate (cum ar fi Intel Loihi și IBM TrueNorth), platforme de dezvoltare *software* specializate pentru rețele neuronale și instrumente de neurofiziologie complicate, care monitorizează și interacționează cu sistemele biologice. Neuromodulația neuromorfică este luată în calcul pentru sistemele implantabile, care prezintă resurse limitate. Algoritmii neuromorfici aplicați în implanturile cerebrale sunt, de asemenea, în curs de investigare. Dispozitivele medicale bazate pe neuromorfică pot oferi funcționalități sinaptice detaliate și pot gestiona probleme de consum de energie și biocompatibilitate.
- Personalul este format din echipe de cercetători în neuroștiințe, ingineri, fizicieni și specialiști în *machine learning* și AI, care sunt experți în toate domeniile tehnologiei.



**Figura 4.** Sistemele de calcul neuromorfice sunt modelate după structurile nervoase (neuroni și sinapse) similare cu cele din creierul uman.

*Protocol - parametri tehnici, timp pe sesiune, durata curei, ritmicitate*

Pentru că este un proiect revoluționar, protocoalele specifice sunt încă în curs de dezvoltare.

Parametri tehnici pot fi reprezentați de: numărul de „neuroni” și „sinapse” simulate, tiparul rețelei neuronale, algoritmi de învățare, consumul de energie al sistemului

O perioadă de antrenament și acomodare a rețelelor neuronale, care variază în funcție de afecțiune și evoluția utilizatorului, este utilă pentru funcționarea continuă a rețelelor neuronale, având în vedere faptul că acestea sunt *hardware* și sisteme integrate.

*Efecte adverse (care pot apărea):*

În paralel cu beneficiile, există și riscuri care trebuie corect abordate. Dacă arhitectura sau algoritmi nu sunt suficient de puternici, pot apărea greșeli în procesarea datelor sau funcționarea sistemului, care pot avea repercusiuni în aplicațiile medicale. În acest context, sunt obligatorii protocoale stricte de securitate cibernetică, existând un risc semnificativ de compromitere a datelor neuronale. Situațiile legate de responsabilitatea, controlul și impactul asupra identității umane, survin pe măsură ce sistemele devin mai autonome. Acestea includ potențialele conflicte între intenția utilizatorului și datele înregistrate de interfețele neurale, care pot duce la obligații morale și juridice.

*Monitorizare (în timpul tratamentului și post-tratament):*

Este de importanță majoră pentru a asigura siguranța și beneficiul. Aceasta presupune:

- Monitorizarea performanței: verificarea constantă a capacității de procesare a informațiilor și a performanței energetice, cu scopul de a asigura funcționarea optimă a sistemului.
- Monitorizarea neurofiziologică: asigurarea unei interacțiuni performante și sigure cu țesuturile biologice, în special cu dispozitive implantabile, pentru a evita apariția efectelor adverse și pentru a asigura compatibilitatea. Este imperativă validarea sistemelor BCI în buclă închisă, capabile să se adapteze continuu la starea mentală a utilizatorului. Evaluarea neuroprotezelor implică examinarea standardelor de răspundere legală și a securității informațiilor.

*Recomandări post-tratament:*

Investițiile permanente în cercetare, cu scopul de trecere de la tehnologia în stadiul de laborator la aplicații clinice scalabile și viabile sunt vitale pentru a beneficia la maxim de potențialul ingineriei neuromorfice. Pentru un progres util și responsabil, este esențială colaborarea între științe sociale, inginerie, medicină și etică.

De asemenea este necesară o abordare etică proactivă, pentru a garanta că progresele tehnologice noi merg împreună cu un cadru moral sigur. Problemele legate de etică, reglementări și politici apar în proiectele BCI. Evaluarea capacității mecanismelor de supraveghere este esențială

pentru a garanta utilizarea lor adecvată atât din punct de vedere clinic, cât și din punct de vedere etic.

Pentru a asigura confidențialitatea neurodatelor, trebuie create standarde etice și de drepturi ale omului, precum și opțiuni tehnice precum criptarea datelor și confidențialitatea. Astfel, adoptarea de practici responsabile de cercetare și inovare, cadre comune de responsabilitate, protocoale de siguranță solide și ghiduri de reglementare cuprinzătoare reprezintă câteva dintre soluțiile sugerate.

## **5.9. Importanța ghidurilor internaționale în reabilitarea neurologică**

Ghidurile internaționale se adaptează pentru a reflecta cele mai noi descoperiri în medicină, deoarece utilizarea tehnologiei în neuroreabilitare se dezvoltă în mod constant. Există un consens tot mai amplu privind potențialul tehnologiei. Cu toate acestea, este nevoie de dovezi solide și de metodologii standardizate pentru o apreciere corectă și o implementare ulterioară în reabilitare.

### *Recomandări generale și tendințe:*

Pentru a justifica utilizarea tehnologiilor de reabilitare în practică, este necesară o bază robustă de dovezi. Numeroase ghiduri naționale și internaționale specifică încă existența dovezilor limitate, iar o lipsă de review-uri sistematice și meta-analize de calitate persistă. Pentru a avansa în acest domeniu, este necesar un consens la nivel mondial cu privire la măsurile care trebuie folosite și metodele de evaluare a eficienței.

Situațiile legate de testarea, validarea, adoptarea de către clinicieni și acceptarea de către pacienți constituie o parte importantă a implementării noilor tehnologii de reabilitare în practica clinică. Educația anterioară îi face pe clinicieni mai familiarizați cu tehnologia, dar, cu toate acestea, complexitatea tehnologiei și timpul scăzut necesar pentru instalarea, înțelegerea și utilizarea acesteia, pot avea un impact negativ.

Terapia convențională poate fi sprijinită prin utilizarea setărilor augmentate sau virtuale pentru evaluarea comportamentală, investigația experimentală și validitatea ecologică în reabilitare.

### *Recomandări specifice pentru tehnologii:*

#### Robotică:

Terapia robotică asistată (inclusiv dispozitivele robotice și electromecanice) este considerată o opțiune validă pentru recuperarea deficiențelor membrului superior după AVC. Rezultatele investigațiilor experimentale au fost materializate în indicații clinice, iar în ultimul deceniu această metodă a fost inclusă în ghidurile internaționale. Cu toate acestea, fiind abordări noi de reabilitare, indicațiile se schimbă rapid. Intervențiile

robotice au demonstrat în mod real creșteri ale scorurilor motorii și ale forței membrului superior, însă aceste beneficii nu corespund întotdeauna cu rezultatele din activitățile zilnice.

Ghidurile din 2010 ale Administrației Veteranilor/Departamentului Apărării (VA/DoD) au susținut utilizarea roboților de reabilitare pentru membrul superior, dar nu și pentru membrul inferior.

În ciuda progreselor, nu există încă un consens absolut privind cea mai eficientă abordare robotică pentru fiecare categorie de pacienți.

VR:

VR este o tehnică importantă, oferind rezultate promițătoare în îmbunătățirea funcției senzoriale și motorii la persoanele cu deficiențe neurologice, astfel încât se justifică utilizarea sigură și eficientă a acesteia în practica clinică.

Pentru recuperarea leziunilor cerebrale, se recomandă menținerea principiilor terapeutice în sarcinile de VR, asigurarea unui grad progresiv de dificultate și personalizare, dar și transmiterea de *feedback* multimodal (vizual, auditiv, haptic) în timp real. Este importantă colaborarea cu experți în VR, dezvoltatori de jocuri și ingineri.

BCI:

BCI-urile permit recuperarea neurologică la pacienții cu AVC, însă varietatea parametrilor de intervenție și provocările tehnice din mediul clinic au limitat colectarea de dovezi solide privind eficacitatea lor. Există un ghid practic pentru intervențiile BCI în neuroreabilitarea AVC, care subliniază importanța informării pacienților despre scopul terapiei, modul de operare, rezultatele obținute și problemele care pot apărea.

Terapia bazată pe BCI poate fi integrată în toate etapele reabilitării neurologice, de la faza timpurie până la tratamentul pe termen lung cu dispozitive asistive.

TR

Tele-neuroreabilitarea (TNR) a crescut semnificativ și a devenit parte integrantă a practicii clinice, mai ales după pandemia COVID-19. Procedurile digitale, precum dispozitivele portabile, robotica și VR, au contribuit la creșterea calității vieții pacienților prin TNR.

În concluzie, în timp ce există o recunoaștere importantă a potențialului tehnologiilor în neuroreabilitare și ghidurile internaționale încep să le utilizeze în practica clinică, este obligatorie obținerea de dovezi solide, standardizarea practicilor, precum și de abordări care țin cont de nevoile individuale ale pacienților și de provocările implementării clinice.

## 5.10. Integrarea tehnologiilor în recuperarea neurologică în România: o privire de ansamblu

Domenii de implementare și cercetare:

### *Robotică*

În țara noastră, cercetările și proiectele care au în centrul atenției utilizarea roboticii în neuroreabilitare sunt în desfășurare. Un exemplu este sistemul NeuroAssist, alcătuit din trei module cu interacțiuni om-robot și senzori interni și externi, care a fost studiat pentru recuperarea motorie a membrului superior. Investigațiile au indicat creșteri semnificative ale mobilității la nivelul umărului și pumnului, cu scoruri funcționale pozitive. Pentru a îmbunătăți recuperarea membrului superior în condiții de afectare neurologică, au fost dezvoltate trei dispozitive robotice, și anume ParReEx Elbow, ParReEx Wrist și ASPIRE.

Există, de asemenea, studii în România care realizează evaluări neurofiziologice multimodale ce oferă o înțelegere mai bună a efectelor sistemului motor al reabilitării robotice pentru bolile neurologice și cercetează dispozitivele robotice experimentale, comparându-le cu terapia fizică standard.

Cercetările arată utilizarea recuperării asistate de roboți la pacienții cu AVC în antecedente. Integrarea roboților de reabilitare cu *stimulare electrică funcțională* (FES) este un aspect esențial, care stimulează neuroplasticitatea. Au fost elaborate și studii folosind robotica în cazurile de leziuni ale măduvei spinării.

### *TR:*

Perfecționarea tehnologică continuă permite evaluarea la distanță a pacienților, ceea ce asigură îngrijirea continuă și pe termen lung, în special pentru pacienții care au suferit un AVC. TR răspunde la situațiile legate de resursele medicale limitate, dificultatea transportului și distanța față de centrele de recuperare. TR oferă un acces permanent la fizioterapie, terapie ocupațională, logopedie și psihoterapie, prin intermediul internetului și a tehnologiilor moderne.

Studiile arată că TR poate fi la fel de productivă și eficientă ca reabilitarea tradițională, dar mai puțin costisitoare. În plus, se studiază utilizarea TR asociată cu instrumente digitale și robotice în tratarea afecțiunilor neurologice cronice pe termen lung (de exemplu boala Parkinson).

### *VR:*

Studiile din România analizează efectele VR ca strategie de reabilitare. Un studiu pilot a examinat impactul sistemului TRAVEE asupra funcționalității și dizabilității pacienților care au suferit un AVC. Sistemul INREX-VR dezvoltat permite, de asemenea, urmărirea mișcărilor

utilizatorului în timp real. Stimularea multimodală prin VR conduce la creșterea neuroplasticității. Poate fi folosit împreună cu roboții de reabilitare sau FES.

*Neurotehnologii avansate:*

Cercetătorii din România studiază sistemele implantabile de microelectrozi neurali care stimulează fasciculele nervoase și achiziționează semnale, cu aplicații în realizarea de proteze *wireless* pentru antebraț. Instituții precum Universitatea Petrol și Gaze din Ploiești sunt implicate în aceste proiecte. În plus, problemele etice ale neurotehnologiilor sunt cercetate în instituții academice, cum ar fi Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași.

*Stimulare electrică funcțională (FES) și stimulare magnetică transcraniană (TMS):*

Un studiu de la Universitatea Transilvania din Brașov examinează FES în recuperarea aparatului locomotor legate de tulburările neuronului motor, cum ar fi SM, sechele post-AVC și leziuni ale măduvei spinării. În clinicile private din România, TMS este folosit pentru afecțiuni precum depresia, însă acest aspect întâmpină probleme legate de cheltuielile crescute și acoperirea acestora de către asigurări. Deoarece TMS este o metodă non-invazivă, eficientă și ușor de acceptat, studiile locale arată că pacienții îl preferă în loc de medicamente.

*Provocări și bariere:*

Introducerea tehnologiilor noi în procesul de recuperare neurologică în România, ca și în alte țări, întâmpină mai multe obstacole:

- Prețuri crescute: procedurile avansate sunt costisitoare, atât în ceea ce privește achiziția, cât și operarea și instruirea personalului. Acest aspect limitează accesul, în special în țările cu venituri mici și medii. Costurile reprezintă o barieră semnificativă și pentru pacienții care caută tratamente precum TMS în practicile private.
- Absența ghidurilor: inexistența unor recomandări clare pentru dozaj și setarea parametrilor ideali restricționează utilizarea acestor tehnologii în practică. Lipsa acordului privind abordarea robotică optimă pentru fiecare categorie de pacienți rămâne o provocare.
- Scepticism și acceptare: neîncrederea unor membri ai echipelor de reabilitare poate împiedica adoptarea noilor tehnologii. Acordul pacienților și motivația lor în timpul tratamentului la distanță sunt, de asemenea, situații care apar.
- Resurse și facilități: aplicarea noilor tehnologii de reabilitare în practica clinică implică deținerea de resurse corespunzătoare și programe de testare și validare de către clinicieni. Spațiul, echipamentele și infrastructura pot fi restrictive, de multe ori spitalele sau clinicile de recuperare neavând sisteme informatice adecvate pentru integrarea

tehnologiilor. Chiar și atunci când posibilitățile de aplicare sunt disponibile, o problemă importantă o poate reprezenta accesul la aceste tehnologii noi, din cauza distanțelor mari, a costurilor de transport și a lipsei dispozitivelor la domiciliu. De aceea este esențială o finanțare din partea terților (guverne, companii de asigurări); fără aceasta, utilizarea dispozitivelor moderne este limitată la un grup mic de bolnavi.

- Nevoia de specialiști: pentru ca integrarea tehnologiei să fie eficientă, este necesară formarea coordonatorilor de reabilitare interdisciplinari, capabili să coordoneze întregul proces și să țină cont de nevoile medicale, sociale și culturale. Instruirea personalului medical este determinantă pentru depășirea rezistenței la schimbare și pentru integrarea eficientă a tehnologiilor.

*Proiecte și inițiative:*

O serie de instituții academice și clinice din România sunt preocupate și implicate în cercetarea și dezvoltarea recuperării afectărilor neurologice asistate de diverse tehnologii. Câteva exemple:

- Universitatea de Medicină și Farmacie "Iuliu Hațieganu" din Cluj-Napoca - implicată în studii privind NeuroAssist și telereabilitarea post-AVC.
- Universitatea din Oradea - cercetări privind tehnicile de recuperare robotică pentru pacienții post-AVC.
- Universitatea Transilvania din Brașov - investigații privind FES și studii despre VR non-imersivă.
- Universitatea Petrol și Gaze din Ploiești - implicată în dezvoltarea sistemelor de electrozi implantabili.
- Universitatea de Medicină și Farmacie "Grigore T. Popa" din Iași - abordează aspectele etice ale neurotehnologiilor.
- Alte instituții academice și de cercetare sunt implicate în proiecte precum sistemul INREX-VR pentru neuroreabilitare imersivă.

În concluzie, România arată om preocupare și o implicare sporite în cercetarea și dezvoltarea tehnologiilor de neuroreabilitare, cum ar fi robotică, VR, neurotehnologii avansate și TR. Totuși, utilizarea lor pe scară largă este limitată de probleme semnificative legate de cheltuieli, acceptare și lipsa standardelor.

## Bibliografie

1. Aboumerhi K, Güemes A, Liu H, et al. Neuromorphic applications in medicine. *Front Neurosci*. 2023;17:1213459.doi:10.3389/fnins.2023.1213459.
2. Angerhöfer C, Schultheis FC, Borsch V, et al. Brain–computer interfaces in neurorehabilitation: a critical review of current evidence and future directions. *J Clin Neurosci*. 2021;90:278–289. doi:10.1016/j.jocn.2021.06.012.
3. Balevi IS, Anziska A. Looking through the mirror of neuroengineering: emerging technologies in neurorehabilitation. *Med Res Arch*. 2024;12(11).
4. Basteris A, Nijenhuis SM, Stienen AHA, Buurke JH, Prange GB. Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: a framework for classification based on a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:111. doi:10.1186/1743-0003-11-111.
5. Brassel S, Power E, Campbell A, et al. Recommendations for the design and implementation of virtual reality for acquired brain injury rehabilitation: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18:142. doi:10.1186/s12984-021-00918-5.
6. Buthut M, Starke G, Basaran Akmazoglu T, et al. HYBRIDMINDS—summary and outlook of the 2023 international conference on the ethics and regulation of intelligent neuroprostheses. *Neuroethics*. 2024;17:12. doi:10.1007/s12152-024-09542-7.
7. Cantillo-Negrete J, Carino-Escobar RI, Ortega-Robles E, et al. A comprehensive guide to BCI-based stroke neurorehabilitation interventions. *Front Neurosci*. 2023;17:1189042. doi:10.3389/fnins.2023.1189042.
8. Cano-de-la-Cuerda R, Blázquez-Fernández A, Marcos-Antón S, et al. Economic cost of rehabilitation with robotic and virtual reality systems in people with neurological disorders: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2023;20:58. doi:10.1186/s12984-023-01161-3.
9. Celian C, Swanson VA, Shah M, et al. A day in the life: a qualitative study of clinical decision-making and uptake of neurorehabilitation technology. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2023;18(6):713–722. doi:10.1080/17483107.2021.2004358.
10. Chatziioannidi F, Michaleas SN, Papaioannou TG, et al. Neurotechnology and ethics: navigating human identity and inequality in the age of brain implants. *AI Ethics*. 2023;3:1081–1095. doi:10.1007/s43681-023-00290-6.
11. Chiappalone M, Cota VR, Carè M, et al. Neuromorphic-based neuroprostheses for brain rewiring: state-of-the-art and perspectives in

- neuroengineering. *Front Neurosci.* 2022;16:902345. doi:10.3389/fnins.2022.902345.
12. Cinnera AM, Palomba A, Paci M, et al. A three-year update on guidelines for upper limb robotic rehabilitation after stroke. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2023;59(2):245–256. doi:10.23736/S1973-9087.22.07589-4.
  13. Ciortea VM, Motoaşcă I, Ungur RA, et al. Telerehabilitation—a viable option for the recovery of post-stroke patients. *J Clin Med.* 2022;11(9):2501. doi:10.3390/jcm11092501.
  14. Constantin DA, Cioriceanu IH, Constantin DAM, et al. Exploring perceptions and experiences of patients undergoing transcranial magnetic stimulation for depression and adjustment disorder in Romanian private practices. *Healthcare (Basel).* 2023;11(6):879. doi:10.3390/healthcare11060879.
  15. Contreras LFH, Truong ND, Eshraghian JK, et al. Neuromorphic neuromodulation: towards the next generation of closed-loop neurostimulation. *Front Neurosci.* 2023;17:1167289. doi:10.3389/fnins.2023.1167289.
  16. De Luca C, Tincani M, Indiveri G, et al. A neuromorphic multi-scale approach for real-time heart rate and state detection. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst.* 2022;16(5):905–917. doi:10.1109/TBCAS.2022.3192874.
  17. Del Pino R, Díez-Cirarda M, Ustarroz-Aguirre I, et al. Costs and effects of telerehabilitation in neurological and cardiological diseases: a systematic review. *J Telemed Telecare.* 2023;29(6):393–404. doi:10.1177/1357633X211065341.
  18. Dias RJL. The hybrid mind in precision neurorehabilitation: integrating AI-driven neurotechnologies and ethical governance. *Neuroethics.* 2024;17:18. doi:10.1007/s12152-024-09561-4.
  19. Eiber CD, Delbeke J, Rio Cardoso J, et al. Preliminary minimum reporting requirements for reporting in-vivo neural interface research: I. Implantable neural interfaces. *J Neural Eng.* 2021;18(5):056021. doi:10.1088/1741-2552/ac1b4a.
  20. Elnady T, Abdrabou M, Salama M. Current clinical research on robotic upper limb rehabilitation for stroke patients and factors affecting its adoption in low- and middle-income countries. *NeuroRehabilitation.* 2022;51(2):199–212. doi:10.3233/NRE-220068.
  21. Fang C, Shen Z, Tian F, et al. A compact online-learning spiking neuromorphic biosignal processor. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst.* 2023;17(1):41–53. doi:10.1109/TBCAS.2022.3217421.
  22. Garden H, Winickoff DE, Frahm N, et al. Responsible innovation in neurotechnology enterprises. *Neuroethics.* 2022;15:27. doi:10.1007/s12152-022-09507-8.

23. Garden H, Bowman DM, Haesler S, et al. Neurotechnology and society: strengthening responsible innovation in brain science. *Sci Public Policy*. 2021;48(5):593–604. doi:10.1093/scipol/scab028.
24. García LV, Winickoff DE. Brain–computer interfaces and the governance system. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:879105. doi:10.3389/fnhum.2022.879105.
25. Goering S, Klein E, Sullivan LS, et al. Recommendations for responsible development and application of neurotechnologies. *Neuroethics*. 2021;14(2):1–14. doi:10.1007/s12152-020-09459-6.
26. Gupta A, Vardalakis N, Wagner FB. Neuroprosthetics: from sensorimotor to cognitive disorders. *Nat Rev Neurol*. 2023;19(7):421–438. doi:10.1038/s41582-023-00786-4.
27. Iandolo R, Marini F, Semprini M, Laffranchi M, Mugnosso M, Cherif A, et al. Perspectives and Challenges in Robotic Neurorehabilitation. *Applied Sciences*. 2019;9(15):3183. doi:10.3390/app9153183.
28. Ienca M, Valle G, Raspopović S. Clinical trials for implantable neural prostheses: understanding the ethical and technical requirements. *J Neural Eng*. 2017;14(6):061001. doi:10.1088/1741-2552/aa8e26.
29. Indiveri G, Chicca E, Douglas RJ. Artificial cognitive systems: from VLSI networks of spiking neurons to neuromorphic cognition. *Cogn Comput*. 2009;1(2):119–127. doi:10.1007/s12559-008-9003-6.
30. Ioan BG, Hanganu B, Manoilescu IS. Neurotechnologies and neuro-enhancement: ethical challenges. *Rev Rom Bioet*. 2019;17(1):3–12.
31. Ionescu O, Franți E, Cărbunaru V, et al. System of implantable electrodes for neural signal acquisition and stimulation for wirelessly connected forearm prosthesis. *Sensors (Basel)*. 2022;22(6):2307. doi:10.3390/s22062307.
32. Jegan R, Nimi WS. On the development of low power wearable devices for assessment of physiological vital parameters: a systematic review. *J Public Health (Berl.)*. 2024;32:1093-1108. doi:10.1007/s10389-023-01893-6.
33. Kjeldsen CA, Svendsen MM, Hvidtfeldt HM, et al. An interdisciplinary rehabilitation coordinator in neurorehabilitation: a qualitative study of experienced impact on patient, healthcare professionals and organisation. *Disabil Rehabil*. 2022;44(18):5141–5150. doi:10.1080/09638288.2021.1941294.
34. Kudithipudi D, Schuman CD, Vineyard CM, et al. Neuromorphic computing at scale. *Nat Rev Mater*. 2022;7:1–18. doi:10.1038/s41578-021-00383-4.
35. Lapididou D, Fear N, Jones F, et al. Experiences of accessing and using rehabilitation technology at home: a qualitative study of stroke survivors

- and their informal carers. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2022;17(6):667–676. doi:10.1080/17483107.2020.1851360.
36. Major ZZ, Vaida C, Major KA, et al. Comparative assessment of robotic versus classical physical therapy using muscle strength and ranges of motion testing in neurological diseases. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(4):2139. doi:10.3390/ijerph19042139.
  37. Major ZZ, Vaida C, Major KA, et al. The impact of robotic rehabilitation on the motor system in neurological diseases: a multimodal neurophysiological approach. *Appl Sci (Basel).* 2023;13(3):1549. doi:10.3390/app13031549.
  38. Masaev D, Suleimanova A, Prudnikov NV, et al. Memristive circuit-based model of central pattern generator to reproduce spinal neuronal activity in walking pattern. *Nonlinear Dyn.* 2022;108:1967–1985. doi:10.1007/s11071-022-07392-5.
  39. Mehonić A, Ielmini D, Roy K, et al. Roadmap to neuromorphic computing with emerging technologies. *Nat Rev Mater.* 2023;8:1–25. doi:10.1038/s41578-022-00464-3.
  40. Mehrholz J, Pollock A, Pohl M, et al. Systematic review with network meta-analysis of randomized controlled trials of robotic-assisted arm training after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;8:CD011953. doi:10.1002/14651858.CD011953.pub2.
  41. Miclăuş R, Roman N, Caloian S, et al. Non-immersive virtual reality for post-stroke upper extremity rehabilitation: a small cohort randomized trial. *J Clin Med.* 2021;10(20):4737. doi:10.3390/jcm10204737.
  42. Moldovan C, Ion M, Dragomir D, et al. Remote sensing system for motor nerve impulse. *Sensors (Basel).* 2021;21(12):4078. doi:10.3390/s21124078.
  43. Montoya YAC. Neurorights, neurotechnologies and personal data: review of the challenges of mental autonomy. *Ethics Inf Technol.* 2023;25:17. doi:10.1007/s10676-023-09674-9.
  44. Morone G, Iosa M, Calabrò RS, et al. Robot- and technology-boosting neuroplasticity-dependent motor-cognitive functional recovery. *J Neuroeng Rehabil.* 2023;20:94. doi:10.1186/s12984-023-01187-7.
  45. Nicora G, Parimbelli E, Mauro MC, et al. Healthcare practitioners and robotic-assisted rehabilitation: understanding needs and barriers. *Front Digit Health.* 2022;4:878504. doi:10.3389/fgth.2022.878504.
  46. Nistor-Cseppento CD, Gherle A, Negruţ N, et al. Outcomes of robotic rehabilitation assisted devices following spinal cord injury. *Appl Sci (Basel).* 2022;12(23):12242. doi:10.3390/app122312242.
  47. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs. *J Rehabil Res Dev.* 2012;49(4):479–496. doi:10.1682/JRRD.2010.10.0210.

48. Parsons M, Skolnik ML, Mwobobia J, et al. Ethical implications of neurotechnology in industry–academia partnerships. *Neuroethics*. 2023;16:23. doi:10.1007/s12152-023-09538-9.
49. Pawlak WA, Howard N. Neuromorphic algorithms for brain implants: review. *Front Neurosci*. 2022;16:853164. doi:10.3389/fnins.2022.853164.
50. Phillips VJ. From neurons to networks: ethical dimensions of AI-infused neural interfaces. *AI Ethics*. 2022;2:555–566. doi:10.1007/s43681-021-00135-7.
51. Potcovaru AA, Sima GR, Gligor CF, et al. TRAVEE—a pilot study on personalized virtual reality after stroke. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(4):512. doi:10.3390/healthcare11040512.
52. Prange-Lasonder GB, Alt Murphy M, Lamers I, et al. European evidence-based recommendations for clinical assessment of upper limb in neurorehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18:141. doi:10.1186/s12984-021-00917-6.
53. Qi Y, Chen J, Wang Y. Neuromorphic computing facilitates deep brain–machine fusion for high-performance neuroprosthesis. *Adv Intell Syst*. 2023;5(6):2200305. doi:10.1002/aisy.202200305.
54. Reis SB, Bernardo WM, Oshiro CA, et al. Effects of robotic therapy associated with noninvasive brain stimulation after stroke. *JAMA Netw Open*. 2021;4(3):e210240. doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.0240.
55. Roman N, Tuchel VI, Nicolau C, et al. Functional electrostimulation in central motor neuron disorders. *Appl Sci (Basel)*. 2022;12(11):5531. doi:10.3390/app12115531.
56. Rossetto F, Mestanza Mattos FG, Gervasoni E, et al. Efficacy of telerehabilitation with digital and robotic tools. *Front Neurol*. 2022;13:864351. doi:10.3389/fneur.2022.864351.
57. Sadeghi M, Fernández Khatiboun D, Rezaeiyan Y, et al. Closed-loop control of seizure activity by reservoir neuromorphic computing. *Nat Commun*. 2022;13:4585. doi:10.1038/s41467-022-32127-9.
58. Shoaran M, Shin U, Shaeri MA. Intelligent and miniaturized neural interfaces. *Nat Electron*. 2021;4:627–639. doi:10.1038/s41928-021-00615-4.
59. Sîrbu R, Morley J, Schröder T, et al. Regulating next-generation implantable brain–computer interfaces. *AI Ethics*. 2023;3:1179–1192. doi:10.1007/s43681-023-00309-y.
60. Sîrbu CA, Thompson DC, Pleşa C, et al. Neurorehabilitation in multiple sclerosis. *J Clin Med*. 2022;11(18):5354. doi:10.3390/jcm11185354.
61. Soldado-Magraner J, Antonietti A, French J, et al. Applying the IEEE BRAIN neuroethics framework to intracortical BCIs. *Neuroethics*. 2022;15:21. doi:10.1007/s12152-022-09511-y.

62. Stasolla F, Bernini S, Bottiroli S, et al. Editorial: integration of technology in clinical neurological settings. *Front Neurol.* 2021;12:793395. doi:10.3389/fneur.2021.793395.
63. Stănică IC, Moldoveanu F, Portelli GP, et al. Flexible virtual reality system for neurorehabilitation. *Sensors (Basel).* 2021;21(9):3074. doi:10.3390/s21093074.
64. Tohănean N, Tucan P, Vanta OM, et al. Efficacy of the NeuroAssist robotic system for upper limb rehabilitation. *Appl Sci (Basel).* 2022;12(14):7071. doi:10.3390/app12147071.
65. Uddin M, Ganapathy K, Syed-Abdul S. Digital technology enablers of tele-neurorehabilitation. *Front Neurol.* 2022;13:897131. doi:10.3389/fneur.2022.897131.
66. Uğur M, Pothukuchi RP, Bhattacharjee A. Computing, ethics, and policy in brain–computer interface design. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:1132456. doi:10.3389/fnhum.2023.1132456.
67. Uivarosan D, Bungău S, Nistor-Cseppento CD, et al. Application of robotic recovery techniques to stroke survivors. *Healthcare (Basel).* 2022;10(6):1124. doi:10.3390/healthcare10061124.
68. Valeriani D, Santoro F, Ienca M. The present and future of neural interfaces. *Nat Rev Bioeng.* 2023;1:210–224. doi:10.1038/s44222-023-00023-8.
69. van Stuijvenberg OC, Broekman MLD, Wolff SEC, et al. Developer perspectives on ethics of AI-driven neural implants. *AJOB Neurosci.* 2023;14(4):245–257. doi:10.1080/21507740.2023.2243941.
70. Vidaurre C, Vidaurre D, Peñaloza CM, et al. Usability and acceptance of advanced brain–computer interface systems in ALS. *J Neural Eng.* 2021;18(4):046030. doi:10.1088/1741-2552/ac0f0c.
71. Williams CB, Anik FI, Hasan MM, et al. Advancing brain–computer interface closed-loop systems for neurorehabilitation. *IEEE Rev Biomed Eng.* 2024;17:45–62. doi:10.1109/RBME.2023.3321147.
72. Yang H, Jiang L. Regulating neural data processing in the age of BCIs. *Comput Law Secur Rev.* 2023;49:105836. doi:10.1016/j.clsr.2023.105836.
73. Yoon SJ, Park JT, Lee YK. Neuromorphic computing for biointegrated electronics. *Adv Funct Mater.* 2022;32(15):2108391. doi:10.1002/adfm.202108391.
74. Young MJ, Lin DJ, Hochberg LR. Brain–computer interfaces in neurorecovery and neurorehabilitation. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:87–102. doi:10.1038/s41582-023-00866-5.
75. Yuste R. Advocating for neurodata privacy and neurotechnology regulation. *Nat Neurosci.* 2023;26:879–883. doi:10.1038/s41593-023-01337-5.

76. <https://www.hopkinsmedicine.org/neurology-neurosurgery/clinical-trials/brain-computer-interface>
77. <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/best-standalone-vr-headset/>
78. <https://www.threekit.com/blog/what-is-augmented-reality>
79. <https://www.milwaukeeindependent.com/newswire/glimpse-future-tech-augmented-reality-app-shows-greek-sites-originally-looked-ancient-times/>
80. [https://www.physio-pedia.com/Robotic\\_Devices\\_used\\_in\\_Rehabilitation](https://www.physio-pedia.com/Robotic_Devices_used_in_Rehabilitation)
81. <https://cester.utcluj.ro/NeuroAssist/home.html>
82. <https://shrs.uq.edu.au/article/2020/05/why-telerehabilitation-so-important-during-covid-19-pandemic>
83. <https://bcphr.org/40-article-lienou/>
84. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/neuromorphic-computing>

