



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00710

(22) Data de depozit: 21/09/2018

(41) Data publicării cererii:
30/03/2020 BOPI nr. 3/2020

(71) Solicitant:
• KINETO TECH REHAB S.R.L.,
STR.CONSTANTIN BĂLĂCESCU, NR.15,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• KLUGER ANDREI, STR.MARIA ROSETTI,
NR.29, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;

• MOLDOVEANU CAMIL DRAGOȘ,
STR.VISCOLULUI NR.87A, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(74) Mandatar:
STRENC SOLUTIONS FOR INNOVATION
S.R.L., STR.LUJERULUI NR.6, BL.100,
SC.B, ET.3, AP.56, SECTOR 6, BUCUREȘTI

(54) SISTEM ȘI METODĂ PENTRU MONITORIZAREA
OPTIMIZATĂ A ARTICULAȚIILOR ÎN KINETOTERAPIE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la o metodă pentru monitorizarea optimizată a articulațiilor în kinetoterapie. Sistemul conform invenției cuprinde: un set de dispozitive (HS) de detectare a mișcării, cuprinzând accelerometre cu trei axe, și giroscopice cu trei axe, care se amplasează deasupra și dedesubtul articulației lezate a unui pacient, o aplicație (MobApp) mobilă ce recepționează date de la dispozitivele (HS) de detectare a mișcării, și implementează o interfață (MPTI) a kinetoterapeuților și o interfață (MPI) a pacientului, și care cuprinde: un modul (EDM) pentru definirea exercițiilor, un modul (ASMD) de evaluare a pacienților, și un modul (MAM) de analiză a mișcării, precum și o unitate (CCU) de calibrare și compensare, în care interfața (MPTI) kinetoterapeuților prezintă pacienții înregistrați de fiecare kinetoterapeut, progresul lor, lista exercițiilor programate și părerile pacienților, iar interfața (MPI) pacientului conține o listă de exerciții prescrise de kinetoterapeut, precum și un server (WS) web care găzduiește o bază de date (DB) în sistem cloud, care stochează datele kinetoterapeuților și ale pacienților, și exercițiile fizice, o unitate (MLU) de învățare automată și o interfață (WPTI) a kinetoterapeuților. Metoda conform invenției asigură monitorizarea optimizată a kinetoterapiei articulațiilor prin neutralizarea influenței poziției dispozitivelor de detectare a mișcării pe corp, și

compensarea abaterii giroscopului în unitatea (CCU) de calibrare și compensare, precum și prin implementarea unui algoritm de învățare automată în cadrul unității (MLU).

Revendicări: 10

Figuri: 6

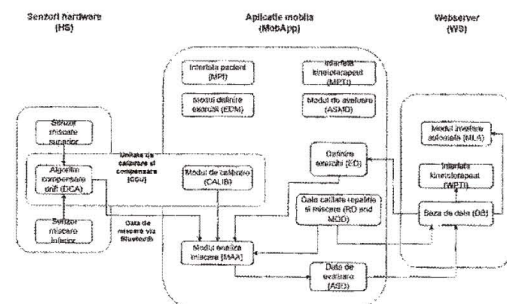
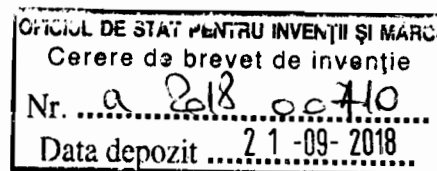


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



**Sistem și metodă pentru monitorizarea optimizată
a articulațiilor in kinetoterapie**



Invenția prezintă un nou sistem și metoda corespunzătoare de implementare, destinate monitorizării pacienților care necesită kinetoterapie, atât în clinică, cât și la domiciliu, prin utilizarea accelerometrelor triaxiale și giroscopelor triaxiale, ca senzori de mișcare fără fir atașați în jurul articulației lezate și detectarea, monitorizarea și raportarea, atât către kinetoterapeut cât și către pacienți, privind calitatea exercițiilor făcute de pacienți.

Monitorizarea se bazează pe o aplicație mobilă care primește datele de la senzori, și un server web unde sunt definite și programate exercițiile și programele de exerciții pentru pacienți, prin găzduirea unei baze de date în regim cloud unde sunt memorate datele asupra kinetoterapeuților, pacienților și exercițiilor.

Prezenta invenție este o soluție de monitorizare optimizată și orientată spre client, care permite atât o plasare flexibilă a senzorilor de mișcare deasupra și sub articulația afectată a pacientului și minimizarea driftului liniar al giroscopelor, cât și optimizarea programului de exerciții bazată pe analiza unui volum mare de date, ce decurge dintr-o îmbunătățire treptată a calității exercițiilor, învățată din conformarea pacienților la programul de exerciții și răspunsurile anterioare furnizate de kinetoterapeut.

Stadiul tehnicii indică un număr important de soluții realizate în jurul aplicațiilor mobile și dedicate sistemelor și metodelor aferente pentru monitorizarea procesului de reabilitare prin kinetoterapie a articulațiilor lezate.

Practic, toate acestea utilizează unul sau mai multe dispozitive pentru depistarea mișcării și / sau poziției pacientului în cadrul procesului de recuperare prin kinetoterapie, o bază de date care conține informații relevante despre exerciții, module pentru compararea executării reale cu exercițiul model precum și pentru efectuarea evaluărilor și definirea mijloacelor pertinente pentru calibrarea informațiilor de intrare primite de la senzori.

Soluția prezentată în (1) se referă la un sistem și metoda de implementare care propune monitorizarea și corectarea executării exercițiilor fizice prin intermediul unui dispozitiv de exerciții de tip Pilates.

Detectia miscarii este asigurată de un senzor de miscare Kinect fix, plus o cameră video împreună cu un senzor de proximitate în infraroșu.

În consecință, această soluție se bazează pe prelucrarea imaginilor, iar calibrarea are rolul nu de a detecta poziția senzorilor în jurul articulației ci de a ajusta poziția corpului și exercițiile la poziționarea senzorilor pe articulația lezată, ceea ce ar putea crea probleme de calibrare.

În (2), sistemul și metoda de monitorizare descrise se bazează pe senzori inerțiali și pe un procesor de

date pentru determinarea mișcărilor pacientului și corecția lor față de un model predefinit. Procedura de calibrare implementată are sensul de calibrare pentru pozițiile de început și de sfârșit ale mișcării. Procedura de calibrare implementată are semnificația unei calibrări ce utilizează pozițiile de start și finală ale unei mișcări specifice și presupune că aceste poziții sunt fixate și cunoscute. Dacă acele poziții nu sunt atinse cu precizie de către pacient, ceea ce în practică se întâmplă des, erorile de calibrare se reflectă în măsurarea ulterioară a unghiurilor și conduce la măsurători incorecte.

În documentul (3), sistemul și metoda de monitorizare descrise se bazează practic pe un număr și tipuri nespecificate de senzori de mișcare și poziționare: accelerometru, giroscop, magnetometru, senzor MEMS, busola numerică, senzor inertial, senzor de temperatură, cameră video, etc. În consecință, procesorul de informații de la senzorii este specific senzorilor utilizați efectiv. O limitare importantă a acestei soluții ar fi lipsa unui modul și respectiv algoritmi specifice pentru calibrarea poziției senzorilor. În același sens, în (4), numărul și tipul senzorilor din unitatea de senzori nu sunt specificate în mod efectiv, lăsând la alegerea utilizatorului corelarea cu software-ul aplicației mobile. Calibrarea propusă are semnificația exclusivă a unei selecții a programelor de reabilitare și nu acoperă semnificația uzuală de calibrare a poziției senzorilor pe corp.

În documentul (5), întreaga soluție a sistemului de monitorizare și metoda conexă, inclusiv unitatea de calibrare, se bazează pe prelucrarea informațiilor de tip video.

Posibilul dezavantaj rezidă în imposibilitatea detectării poziției de culcat pe spate, detectia numai a anumitor unghiuri, acolo unde camera nu este obstructionată de către corp, și precizia diminuată. Documentul de brevet (6) descrie un sistem în care senzorii sunt montați pe membrele pacientului pentru a monitoriza exercițiile efectuate de pacient. Sistemul utilizează ca senzori un accelerometru cu trei axe, un giroscop cu trei axe și busolă cu trei axe.

Utilizarea unei busole într-un mediu clinic înseamnă că datele de la senzor sunt supuse interferențelor magnetice din partea tuturor echipamentelor ce conțin o cantitate importantă de fier, disponibile în împrejurimile pacientului, iar datele pot fi influențate și distorsionate.

Soluția propusă în documentul amintit necesită o calibrare exactă a datelor de la senzori, ceea ce înseamnă că trebuie cunoscută cu exactitate poziția senzorilor plasați pe membre pentru a măsura cu precizie unghiurile dintre segmentele membrilor.

Stadiul tehnicii citat pune în evidență unele limitări care par să rezulte și care indică necesitatea unor soluții îmbunătățite sau în mod mai specific, optimizate.

Prima se referă la sensibilitatea și precizia datelor prelucrate de senzorii de mișcare și de poziționare utilizați de sistemele respective, de obicei îmbunătățite prin mijloace de calibrare.

Practic, toate sistemele cunoscute se bazează pe o procedură de calibrare care presupune o poziție

foarte bine determinată a senzorilor în jurul articulației lezate, proces care ar putea fi inerent inexact, uneori dificil și supus condițiilor locale care ar putea perturba procesul de calibrare. Dacă este folosit individual, giroscopul are un drift liniar care ar putea contribui la o corupere a informațiilor. Același lucru este adevărat și pentru accelerometre, care au un zgomot static semnificativ. Busola este de asemenea foarte predispusă la erori magnetice la apropierea de obiecte din fier.

Pe lângă problemele derivate din literatura de brevet citată, o privire generală asupra stadiului tehnicii arată că progresele privind flexia sunt raportate acum fie de o manieră subiectivă, în funcție de experiența și cunoștințele kinetoterapeutului, sau prin utilizarea unui goniometru. Goniometrul nu este foarte precis și nu poate fi folosit tot timpul în timpul exercițiului. Pentru un pacient afectat este critic să poată urmări evoluția procesului de reabilitare și ceea ce face incorect în exerciții, iar aceste informații lipsesc acum.

Majoritatea soluțiilor folosesc doar o reprezentare 2D limitată, fiind însă evident că redarea articulației lezate și vizualizarea tuturor unghiurilor articulației relevante, redată într-o reprezentare 3D pe interfața mobilă, ar permite pacientului să aibă o informație obiectivă despre progresele sale momentane și asupra modului cum s-ar putea strădui să le îmbunătățească.

Programele de recuperare nu sunt standardizate, fiecare kinetoterapeut este liber să-și aleagă propriile programe de exerciții, ceea ce înseamnă că pacienții nu vor avea aceeași calitate a serviciului între clinici sau chiar în aceeași clinică. Există doar un număr foarte mic de studii care să determine ce exerciții funcționează cel mai bine pentru fiecare tip de afecțiune. Deși există exerciții prescrise pentru fiecare tip de afecțiune, nu există date suplimentare care să coreleze conformarea și progresul la efectuarea exercițiilor cu tipul de pacient.

Un indicator foarte important al progresului este conformarea pacientului la tratamentul prescris de kinetoterapeut, iar acest lucru nu este măsurat cu exactitate, fiind verificat subiectiv de către kinetoterapeut sau auto-raportat de către pacient, atunci când face exerciții la domiciliu.

Există o mare standardizare în operațiile efectuate de medici, dar aproape nici una în procesul de recuperare, fie în clinică, fie la domiciliu. Când se măsoară succesul recuperării pacientului, cea mai mare parte a acestuia se deduce din kinetoterapia care urmează intervenției chirurgicale și doar o mică parte depinde de cât de bine a fost efectuată operația.

Problema tehnică ridicată și rezolvată prin această invenție constă în minimizarea și neutralizarea efectului perturbator al poziției senzorilor în jurul articulației lezate în cadrul procesului de monitorizare în kinetoterapie, compensarea driftului dinamic al giroscopului, și bazat pe analiza datelor primite,

optimizarea calității și calendarului exercițiilor prescrise, asigurând astfel succesul în recuperarea pacientului.

Soluția din prezenta invenție este construită pe baza unei aplicații mobile și cuprinde un set de dispozitive de detectare a mișcării montate deasupra și dedesubtul articulației vatamate a unui pacient, o aplicație mobilă propriu-zisă care primește date de la senzori și asigură interfețe pentru kinetoterapeut și pacient, definirea exercițiului relevant, evaluările și analiza mișcărilor, și respectiv un server web care găzduiește o bază de date în sistem cloud care memorează datele kinetoterapeuților, pacienților și exercițiilor fizice. Ea permite kinetoterapeutului să prescrie un set de exerciții precum și monitorizarea kinetoterapiei aplicată pentru vindecarea articulațiilor și măsurarea obiectivă a progresul pacientului în clinică și la domiciliu, prin care să fie oferite informații mult mai precise decât cele subiective care ar putea fi oferite de către pacient.

Invenția prezintă unele caracteristici tehnice importante care au fost luate în considerare pentru a contribui la realizarea unei monitorizări optimizate a kinetoterapiei articulațiilor.

În primul rând, soluția prezentată în invenția revendicată calibrează semnalele primite de la senzorii de mișcare printr-un algoritm specific de calibrare care detectează poziționarea efectivă și asigură orientarea senzorilor în raport cu axa fizică reală de rotație a articulației, astfel încât pacientul nu trebuie să fixeze senzorii într-o anumită poziție. Aceasta face soluția foarte simplă pentru utilizare atât în evaluarea kinetoterapiei cât și pentru pacienții care efectuează, asistați de la distanță, exercițiile acasă.

În al doilea rând, invenția revendicată asigură o compensare dinamică a driftului giroscopului care permite ca datele de la senzor să fie imune la drift.

O altă caracteristică tehnică a invenției revendicate este implementarea unei proceduri de învățare automată menită să asigure o evaluare continuă a schimbărilor programului de exerciții și a evaluării programului. Progresul flexiei pacientului este automat analizat față de modelele deja existente în baza de date și, în funcție de îmbunătățirile detectate, generează notificări relevante, alerte și, în final, o programare mai bună a exercițiilor și personalizarea automată a programului pacientului.

Având în vedere soluții similare conținute în stadiul tehnicii, se poate concluziona că această invenție oferă următoarele avantaje:

- senzorii de mișcare sunt limitați la accelerometru și giroscop;

- prin utilizarea procedurilor de calibrare și compensare, soluția este "flexibilă" la amplasarea senzorilor oriunde deasupra și sub articulația afectată și compensează driftul dinamic al giroscopului;
- soluția asigură determinarea axei fizice de flexie a membrilor în raport cu caracteristicile anatomice ale pacientului;
- soluția permite detectarea și măsurarea unghiurilor suplimentare: unghiul de abducție/aducție, unghiul de flexie a soldului și unghiul de rotație a soldului;
- permite o optimizare automată a detectării exercițiilor prin utilizarea unei proceduri de învățare automată și, astfel, îmbunătățește aderența pacientului prin identificarea exactă a mișcării "îmbunătățite" pe care pacientul ar trebui să o facă pentru a se recupera mai repede.

O descriere detaliată a invenției și a exemplelor de realizare a acesteia va fi prezentată în continuare cu referire la următoarele figuri:

Figura 1- Structura generală a sistemului;

Figura 2- Procedura de calibrare și compensare;

Figura 3- Procedura de analiză a mișcării;

Figura 4- Procedura de definire a exercițiilor;

Figure 5 Procedura de asistență pentru exercițiile fizice ale pacientului;

Figura 6 Procedura de învățare automată

Soluția constă dintr-un set de dispozitive de detectare a mișcării HS montate deasupra și dedesubtul articulației afectate a unui pacient, o aplicație mobilă (tabletă sau dispozitiv mobil), MobApp, care primește date de la senzori, un web server WS unde sunt definite și programate pentru pacienți exercițiile și programele de exerciții, o bază de date DB în sistem cloud care păstrează datele asupra kinetoterapeuților, pacienților și exercițiilor.

Senzorii hardware HS conțin accelerometre cu trei axe și giroscopuri cu trei axe. Diferit de celelalte sisteme de implementare a monitorizării mișcărilor, sistemul nu utilizează un magnetometru deoarece este foarte sensibil la interferența cu obiecte pe bază de fier, care sunt foarte frecvente în clinicile de kinetoterapie și chiar la domiciliu. Datele de la accelerometru și giroscop sunt mixate în dispozitiv, pentru a obține o poziție corectată în spațiu. Aceste date oferă orientarea în sistemul de referință

absolut al senzorului, fără a dispune de o poziție reală de nord, deoarece soluția nu folosește busola ca și senzor. Prin ele însele, datele oferite de fiecare senzor nu sunt relevante și în mod corespunzător trebuie să fie procesate de către aplicația mobilă în raport cu articulația și respectiv celălalt senzor.

Prin utilizarea numai a giroscopelor și accelerometrelor fără busolă înseamnă că orientarea este predispusă să aibă un drift pe termen lung. O procedură de compensare formalizată în cadrul unui algoritm corespunzător DCA, compensează driftul liniar din giroscop.

Plasarea senzorilor pe corp este foarte importantă pentru alte soluții deoarece influențează toate măsurătorile ulterioare și acesta este motivul pentru care alte soluții se bazează pe plasarea foarte atentă a senzorilor care poate fi recunoscută de către algoritmi lor.

Abordarea din prezenta soluție este aceea că pentru pacient este foarte dificil să plaseze cu precizie senzorii în poziția dorită, astfel ca poziția dorită ar putea fi localizată chiar peste leziune, sunt situații în care nu este confortabil să fie purtați senzorii în acele poziții, pacientul are membre de dimensiuni care diferă de cele standard, etc.

O altă problemă este aceea că plasarea atentă înseamnă atât timp pierdut cât și dificultăți suplimentare pentru pacientul care ar trebui să se concentreze asupra recuperării din afecțiune. Acest lucru ar putea afecta conformarea la planul de tratament, aspect care nu este de dorit.

De aceea, soluția revendicată permite dispozitivelor de detectare a mișcării să fie plasate aleatoriu deasupra și dedesubtul articulației afectate a pacientului. Pacientul nu trebuie să le fixeze într-o anumită poziție deoarece algoritmul de calibrare detectează poziționarea efectivă și asigură orientarea senzorilor în raport cu axa fizică reală de rotație a îmbinării.

Aplicația mobilă MobApp este realizată din două interfețe separate, interfața kinetoterapeutului MPTI și interfața pacientului MPI. Aceste două interfețe diferite sunt accesibile utilizând parametri de conectare corespunzători, astfel ca în cazul în care utilizatorul logat este un pacient, se afișează interfața pacientului iar dacă utilizatorul este un kinetoterapeut, se afișează interfața kinetoterapeutului.

Aplicația mobilă MobApp include și un modul de definire a exercițiului EDM, un modul de evaluare ASMD și un algoritm de analiză a mișcării MAA.

Interfața kinetoterapeutului MPTI prezintă toți pacienții înregistrați de kinetoterapeut, progresul lor, lista exercițiilor programate, feedback-ul de la pacient și modulul de evaluare a pacientului.

Modulul de evaluare a pacientului ASMD permite kinetoterapeutului să măsoare obiectiv faza în care se află pacientul în procesul de recuperare, cât de bine se comportă articulația lezată în comparație cu cea sănătoasă și, pe baza acesteia, modifică pragurile de exerciții sau chiar lista de exerciții fizice, considerate pentru o persoană medie, având aceeași vârstă și grup de activitate.

Această evaluare și datele asociate acesteia - ASD, reprezintă o parte extrem de importantă a procesului de recuperare, deoarece în această fază kinetoterapeutul determină împreună cu pacientul, rezultatul așteptat al kinetoterapiei. Acest rezultat poate consta în recuperarea funcțională, performanța sportivului profesionist sau oricare altul, definit între aceste limite. Pe baza rezultatului se determină durata programului de exerciții, intensitatea antrenamentului, obiectivele intermediare și exercițiile reale care trebuie făcute.

Prin utilizarea evaluării inițiale și monitorizării pacientului pe tot parcursul procesului de recuperare, pacientul este mai motivat și are mai multă informație despre modul în care recuperarea progresează, ceea ce duce la o mai mare conformare la program. Kinetoterapeutul are la dispoziție o bază de date cu exerciții de selectat sau programe predefinite care pot fi atribuite unui pacient în funcție de afecțiune sau intervenție chirurgicală.

Baza de date de exerciții conține o listă de exerciții predefinite pe care kinetoterapeutul le va folosi ca bază pentru propriile programe de exerciții fizice. Fiecare exercițiu poate fi personalizat în cadrul aplicației kinetoterapeut, astfel încât să fie adecvat pacientului ce folosește sistemul.

Un modul de definire a exercițiilor permite kinetoterapeutului să înregistreze un exercițiu cu senzorii montați pe corpul său, ori alternativ, să instruiască pacientul să facă un exercițiu cu senzorii montați iar apoi algoritmul de procesare a exercițiilor diseminează datele și stabilește toate restricțiile bazate pe acea înregistrare. Acest lucru permite kinetoterapeutului, pe de o parte, să personalizeze cu ușurință exercițiile existente și, pe de altă parte, îi permite să își creeze un set propriu de exerciții dacă cele existente în platformă nu sunt suficiente.

Interfața pacientului PMI conține o listă de exerciții prescrise de către kinetoterapeut pacientului care utilizează aplicația web. Această listă poate fi actualizată de către kinetoterapeut utilizând platforma web sau aplicația mobilă. Aplicația mobilă primește date de la dispozitivele de detecție a mișcării, arată mișcarea live pe ecranul dispozitivului mobil, numără repetările exercițiilor și arată cât de corectă a fost efectuată mișcarea, utilizând pragurile pe care kinetoterapeutul le-a stabilit anterior.

O procedură de calibrare și compensare formalizată prin algoritmul de calibrare CALIB și algoritmul de corectare a driftului DCA, sunt utilizate pe o parte pentru a asigura că datele de mișcare sunt aliniate cu axa fizică a mișcării, iar pe cealaltă parte că datele primite de la senzor sunt imune la drift.

Algoritmul CALIB folosește o combinație a unei poziții statice și a mișcărilor dinamice ale articulației pacientilor pentru a determina unde au fost plasate dispozitivele de detecție a mișcării pe corpul pacientului și utilizează aceste informații pentru corectarea datelor de mișcare, în consecință.

Mișcarea de calibrare dinamică se face în jurul axei principale de flexie a articulației, respectiv pentru genunchi, mișcarea este o flexie a genunchiului, pentru cot este o mișcare de flexie a cotului, pentru spate este o mișcare de îndoire etc. Această mișcare repetată de mai multe ori dă axa principală brută a respectivei articulații FAD.

Poziționarea senzorului este dedusă din această axă principală și apoi se calculează compensarea poziției corpului. Aceasta utilizează modele musculare determinate anterior, compensând mișcarea senzorilor pe corpul pacientului datorită țesutului muscular și obținând astfel datele de corecție pentru artefactele datorate muschilor - MCAD.

O poziționare statică, împreună cu datele care vin cu aceasta - SPD, sunt, de asemenea, luate în considerare în timpul procesului de calibrare pentru a alinia sistemele absolute de coordonate ale celor doi senzori. Această poziționare statică presupune că articulația pacientului trebuie să fie dreaptă și nu flexată. Dacă pacientul nu poate menține articulația dreaptă în primele zile după intervenția chirurgicală, procedura permite introducerea manuală de către kinetoterapeut a unui unghi de corecție, care este utilizat pentru a compensa toate datele ulterioare primite de la senzori. Acest lucru asigură faptul că datele privind mișcarea sunt corecte chiar și pentru aceste cazuri specifice în care pacientul nu este în măsură să extindă complet articulația.

În continuare, compensarea se face luând în considerare caracteristicile anatomice ale articulației în jurul căreia sunt plasați senzorii. Dacă articulația are anumite grade de libertate, mișcarea este verificată și corectată în raport de acești parametri. De exemplu, dacă este o articulație de tip balama, nu ar trebui să existe mișcări de rotație în mișcarea calibrată înregistrată.

Pornind de la presupunerea că driftul giroscopului este liniar cu timpul, în algoritmul DCA se calculează derivata dublă a unghiurilor redată de giroscop, îndepărtându-se astfel partea liniară a drift-ului. Pentru a putea reconstrui unghiul, se folosește apoi o dublă integrare care adaugă două seturi de constante, câte un set pentru fiecare operație de integrare.



Primul set este determinat din eşantioanele în care articulația nu se mișcă, în faza statică de poziționare, iar pentru acele probe primul set este egal cu zero.

Al doilea este determinat ca orientare inițială pe baza considerentelor prezentate în lucrarea (7).

Driftul este eliminat în continuare când citirile celor doi senzori sunt sincronizate utilizând accelerația de la cei doi senzori. Acest lucru se bazează pe faptul că accelerația unui segment al articulației este suma accelerației centrului articulației și accelerația acelui segment în jurul centrului. Se aplică aceste considerente pentru a determina poziția centrului articulației în coordonatele locale ale fiecărui senzor, permițând astfel determinarea unghiurilor cu un drift mult mai redus.

Pentru a implementa procedura de analiză a mișcării prin intermediul algoritmului de analiză a mișcării asociat MAA, exercițiile relevante sunt definite ca o serie de constrângeri care trebuie îndeplinite și o postura inițială care trebuie să fie adecvata pentru exercițiul care urmează a fi inițiat. Constrângerile sunt clasificate după gradul de importanță pe niveluri, nivelul 1 fiind cel mai important, iar nivelul 3 cel mai puțin important. Fiecare nivel poate avea constrângeri multiple în funcție de complexitatea sau cerințele exercițiului. Constrângerile pot fi definite prin valoare țintă, toleranța acelei valori, momentul verificării valorii respective, dacă este vorba de o constrângere izometrică, și cât de mult trebuie ca pacientul să mențină segmentele corpului în acea poziție izometrică.

Momentul în care constrângerile sunt verificate poate fi: pe vârful mișcării, în poziția inițială, în poziția finală, și în mod continuu, în situația în care regula trebuie să se aplice pe durata întregului exercițiu.

Algoritmul definește unele posturi inițiale standard de la care începe exercițiul, cum ar fi în picioare, așezat, în sus, în lateral, etc., dar permite și posturi personalizate. Aceste posturi personalizate sunt definite fie manual, fie prin adăugarea constrângerilor de postură PC, fie automat în cazul în care kinetoterapeutul folosește dispozitivul pentru a înregistra un nou exercițiu, utilizând un modul de definire a exercițiilor - EDM iar algoritmul analizează datele colectate și generează o definiție a exercițiului ED completată cu toate constrângerile asociate AC, IC și PC.

Datele de la dispozitivele de detecție a mișcării sunt transmise către și procesate printr-o procedură de corecție anatomică și algoritmul asociat ACG, și printr-un modul de corecție diamică a datelor din senzori, DDC.

ACG detectează dacă au fost încălcate oricare constrângeri definite anatomic, evaluează încălcarea și decide dacă mișcarea ar trebui corectată în consecință. DDC aplică toate datele de calibrare la datele procesate provenind de la senzorii hardware HS.

Atat ACG cat și DDC sunt utilizate pentru a corecta ajustarea plasării senzorilor, mișcarea mușchilor și decalibrarea senzorilor în timpul efectuării exercițiilor și pentru a asigura că senzorii își păstrează în orice moment alinierea la axa fizică relevantă.

Datele de mișcare sunt apoi comparate cu definiția exercițiului curent în baza unei proceduri de detectare a exercițiilor și algoritmul sau asociat EDA. Dacă exercițiul a fost efectuat în limitele definite de kinetoterapeut, se generează o notă, într-un algoritm de calitate a mișcării QMA, care reprezintă corectitudinea exercițiului, ținând cont de dificultatea exercitiului și de cât de bine au fost atinse constrangerile impuse de kinetoterapeut. Notificări vizuale, text și audio sunt trimise pacientului pentru a-l informa despre corectitudinea exercițiului și pentru a-i permite să îmbunătățească calitatea repetițiilor.

Un modul de definire a exercițiilor EDM permite kinetoterapeutului să creeze un nou exercițiu prin poziționarea senzorilor pe articulația afectată și efectuarea exercițiului pe care acesta vrea să îl adauge. EDM extrage definiția exercițiului în termen de constrângeri și îi permite kinetoterapeutului să îl modifice rapid.

EDM înregistrează datele de mișcare calibrate, respectiv datele care au fost corectate pentru poziționarea senzorului pe corp și pentru artefactele datorate mușchilor de la senzorii hardware HS și apoi analizează aceste date pentru a crea noul exercițiu. Inițial, postura de start înregistrată este comparată cu posturile standard existente deja în baza de date. Dacă există diferențe majore, este definită o nouă poziție personalizată, folosind constrangerile de poziție. Acestea sunt exprimate în unghiuri și rotații pe care aplicația le poate măsura. De exemplu, dacă este vorba de o articulație a genunchiului, aceasta poate fi unghiul șoldului, unghiul de flexie, unghiul de abducție etc. Dacă senzorii sunt plasați pe spate, aceasta poate fi rotirea inferioară a spatelui, flexia, înclinarea laterală, înclinația superioară a spatelui etc.

Unghiurile pot fi calculate de la un segment la celălalt sau de la un segment la corp. Poziția țintă este definită similar cu postura inițială, folosind unghiurile pe care aplicația le poate măsura.

Dacă exercițiul este unul complex și poate fi exprimat ca o succesiune de mișcări liniare, aceasta se segmentează în mai multe părți și pentru fiecare parte este definită o țintă și o poziție inițială. Acest lucru funcționează similar cu animația grafică, unde dintr-o secvență de cadre cheie și o interpolare liniară între ele poate fi construită o animație.

Unele dintre restricțiile unghiulare trebuie îndeplinite pe timpul întregului exercițiu, de exemplu, păstrarea spatelui drept în timpul flexării acestuia, păstrarea cotului drept în timp ce se ridică o greutate

cu mâna sau menținerea genunchiul drept în timp ce se ridică piciorul în față. Acestea sunt constrângeri continue, iar EDM sugerează și acest lucru kinetoterapeutului.

Unele exerciții au la bază menținerea articulației într-o anumită poziție pentru o perioadă de timp - acestea se numesc exerciții izometrice și reprezintă o parte importantă a procesului de recuperare. EDM permite, de asemenea, detectarea exercițiilor izometrice și modificarea timpului în care ar trebui să fie menținută izometria. EDM analizează, de asemenea, datele înregistrate și determină un tempo pentru exerciții deoarece unele dintre ele trebuie să fie efectuate într-o anumită perioadă de timp, fie că au nevoie să fie mai rapide sau trebuie să fie mai lente decât un interval prestabilit.

Un modul de evaluare ASD permite kinetoterapeutului să evalueze pacientul la începutul / sfârșitul fazelor importante de recuperare și să decidă dacă pacientul poate trece la faza următoare sau poate chiar să termine procesul de recuperare. O evaluare este făcută pe baza unui set de exerciții special adaptate pentru a verifica progresul pacientului în anumite zone importante pentru procesul de recuperare. Kinetoterapeutul poate măsura în mod obiectiv sfârșitul unei faze de recuperare, modul în care pacientul se comporta la sfârșitul fazei și timpul necesar pentru a ajunge acolo.

Acest lucru este important în procesul de recuperare deoarece pacientul face aceleași exerciții ca și la începutul fazei și poate compara progresele pe care le-a făcut în acea fază.

Pentru kinetoterapeut reprezintă o modalitate de a standardiza rezultatele recuperării și de a măsura individual obiectivele procesului de recuperare.

Dacă exercițiul nu este efectuat în limitele definite de kinetoterapeut, repetarea nu este luată în calcul și se trimite pacientului o notificare audio, text și vizuală pentru

a-i permite acestuia să efectueze corect repetarea aceluși exercițiu particular. Acest lucru se face prin intermediul unui modul de asistență a pacienților pentru efectuarea de exerciții PEAD. Acest modul este foarte important pentru conformarea la program și progresul pacientului, deoarece notifică pacientul asupra ce face greșit și momentul când face o mișcare greșită.

Există diferite tipuri de asistență acordate pacientului care efectuează exercițiile. Primul tip este asistența video în care este afișat un videoclip al exercițiului, înainte ca pacientul să înceapă să îl efectueze. Acest lucru se face pentru a se asigura că pacientul își amintește exercițiul pe care trebuie să îl efectueze.

Al doilea tip de asistență vizuală este umbra mișcării astfel ca în timpul exercițiului o umbră pre-generată arată pacientului cum să efectueze exercițiul. O umbră standard care ar arăta modul în care

articulația pacientului ar trebui să se deplaseze, ar funcționa doar parțial deoarece fiecare exercițiu este personalizat pe baza progresului recuperării. De exemplu, imediat după o intervenție chirurgicală un pacient poate flexa o articulație la doar 50 de grade, dar la două săptămâni după intervenția chirurgicală el poate flexa, de exemplu, la 90 de grade. Aceasta înseamnă că umbra trebuie reconstituită pe baza noilor constrângeri exercițiului.

Există un algoritm integrat în soluție care permite ca o umbră preînregistrată a unui exercițiu să fie reconstituită atunci când sunt modificate constrângerile aceluși exercițiu. Algoritmul analizează înregistrarea umbrei de bază, segmentând-o în cadre cheie, cum ar fi începutul mișcării, vârful mișcării și revenirea din mișcare. Aceasta permite reconstrucția umbrei pentru majoritatea exercițiilor. Pentru mișcările care nu sunt liniare, algoritmul analizează două umbre definite diferit, de exemplu una cu constrângeri țintă la 30 de grade și cealaltă cu constrângeri țintă la 80 de grade, și generează curbele de mișcare corespunzătoare celor două segmente deasupra și dedesubtul articulației. Comparând aceste curbe de mișcare, algoritmul interpolează pozițiile și regenerează umbra pe baza noilor constrângeri.

Pentru exerciții care sunt complexe și au o secvență de cadre cheie definite, umbra este regenerată individual pentru fiecare segment, luând în considerare toate constrângerile de tempo și sincronizarea segmentelor individuale.

Al treilea tip de asistență vizuală este o reprezentare 3D în timp real a articulației pe care sunt fixați senzorii. Redarea 3D se mișcă pe ecranul dispozitivului mobil sincronizată cu articulația fizică reală și arată în timp real cum se modifică unghiurile articulațiilor în timpul mișcării. Acest lucru permite pacientului să vadă unghiurile în timp ce face mișcarea și să obțină feedback despre ceea ce face. Diferența față de alte soluții care utilizează o redare 2D este aceea că sunt redată toate unghiurile articulației, și nu doar unul dintre ele, ca în reprezentarea 2D.

Prin afișarea unghiurilor relevante pe interfața mobilă, pacientul primește informații obiective despre progresul său curent și se poate strădui să se îmbunătățească. Ultimele tipuri de notificări sunt cele de vibrații, în care senzorii hardware HS vibrează când se efectuează o mișcare în afara limitelor stabilite de kinetoterapeut și respectiv de notificări audio în care o voce generată automat comunică pacientului ceea ce a fost în neregulă cu mișcarea pe care tocmai a făcut-o.

În serverul web WS este implementată o procedură de învățare automată și algoritmul său conex MLA, pentru modificarea programului de exerciții și evaluarea programului.

Îmbunătățirea flexiei pacientului este analizată în mod automat și comparată cu modelele deja existente în baza de date. Dacă algoritmul detectează că pacientul a progresat mai repede sau mai lent decât programul de exerciții pe care îl are programat, acesta generează o alertă pentru kinetoterapeut, notificând situația și solicitând o schimbare de program. Dacă pacientul a progresat mai repede, kinetoterapeutul este întrebat dacă pacientul poate fi programat să efectueze exercițiile mai avansate. Dacă pacientul a progresat mai lent, atunci kinetoterapeutul este întrebat dacă programul curent ar trebui să fie repetat și pacientul să fie notificat.

Algoritmul de învățare automată MLA învață din răspunsurile trimise de kinetoterapeut și permite sistemului să prezinte notificări mai relevante.

Un rezultat final al algoritmului de învățare automată este acela de îmbunătățire a conformării pacienților la programul de exerciții fizice, de detectare a acelor exerciții care funcționează cel mai bine pentru o categorie de pacienți și oferirea pacientului performanțe mai bune decât alte exerciții.

O altă utilizare importantă a algoritmului este detectarea tiparelor în programul de exerciții pentru pacienți și încadrarea pacientului în categorii de dificultate ale exercițiilor. Acest lucru permite o programare mai bună a exercițiilor și personalizarea automată a programului pacientului. De exemplu, în cazul în care pacientul este încadrat ca unul care va avea aderență scăzută la program, atunci unele exerciții pot fi schimbate cu unele care pot fi mai ușor de efectuat.

Datele recepționate de la senzori constau, dar nu se limitează la, poziția și orientarea articulației, valorile unghiurilor mișcării fizice precum unghiul de flexie, unghiul soldului, cotului, umărului, etc., unghiul de abducție, unghiul de rotație șold, cot, umăr, etc., accelerația, viteza, timpul scurs între repetiții și pe set de exerciții, valorile maxime ale unghiului în timpul repetării, gradul de corectitudine, detectia posturii inițiale și finale.

Serverul Web acționează și ca o interfață a kinetoterapeutului WPTI cu baza de date în sistem cloud care stochează toate datele despre exerciții / programe și datele pacientului. Aceasta interfață permite definirea unor noi exerciții prin stabilirea constrângerilor de mișcare și prin schimbarea exercițiilor existente. Sincronizarea continuă cu aplicația mobilă a kinetoterapeutului și a pacientului asigură că baza de date privind exercițiile este întotdeauna actualizată.

Serverul Web permite ca exercițiile și programele de exerciții să fie definite de kinetoterapeut sau de clinică. Există pe de-o parte programe publice standard definite și disponibile pentru toate clinicile și kinetoterapeuții, și pe de altă parte programe private care pot fi accesate doar de către clinică.

Serverul web permite kinetoterapeutului să vadă toate exercițiile efectuate de pacient, progresul recuperării și ajustarea programul programat pentru pacient. Progresul recuperării poate fi măsurat în primele săptămâni de recuperare prin creșterea flexiei. Aceasta este faza în care pacientul încearcă să recupereze flexia pierdută din cauza leziunii. În această fază, toate progresele și exercițiile sunt direcționate către recuperarea funcției pentru pacient. Faza se presupune a fi terminată atunci când pacientul recuperează flexia la valorile anterioare leziunii.

Următoarea fază de recuperare vizează întărirea mușchilor și revenirea la starea anterioară înainte de accidentare. Progresul în această fază este măsurat prin numărul de exerciții efectuate, durata sporită a exercițiilor izometrice și greutatea sporite utilizate pentru antrenament.

Referințe bibliografice

1. US 2012/0190505 A1- Method and system for monitoring and feed-backing on execution of physical exercise routines;
2. WO/2007/125344- Exercise monitoring system and method;
3. US 20170143261- System and methods for monitoring physical therapy and rehabilitation of joints;
4. US20170136296A1- System and method for physical rehabilitation and motion training;
5. US20080262772A1- System and a method for motion tracking using a calibration unit;
6. EP3096685A1- System and method for mapping moving body parts
7. R. Takeda, G. Lisco, T. Fujisawa, L. Gastaldi, H. Tohyama, S. Tadano-Drift Removal for Improving the Accuracy of Gait Parameters Using Wearable Sensor Systems;
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4299060/>

Revendicari

1. Sistem pentru monitorizarea optimizata a articulațiilor in kinetoterapie, realizat în cadrul unei aplicații mobile și care cuprinde setul de dispozitive de detectare a mișcării HS montat deasupra și dedesubtul articulației lezate a unui pacient, aplicația mobilă MobApp care primește datele senzorilor și implementează interfața kinetoterapeuților MPTI și interfața pacientului MPI din cadrul modulului de asistență pentru exerciții pentru pacientul PEAD, accesibil utilizând parametrii de conectare corespunzători, modulul EDM pentru definiția exercițiilor, modulul de evaluare ASD și modulul de analiză a mișcării MAM și, respectiv, platforma web WS ce găzduiește baza de date in sistem cloud DB care păstrează datele specifice privind kinetoterapeutul, pacientul și respectiv exercițiile, caracterizat prin aceea că aplicația mobilă include unitatea de calibrare și compensare CCU, iar serverul web găzduiește unitatea de învățare automată MLU.
2. Sistem conform revendicării 1, caracterizat prin aceea ca unitatea de calibrare și compensare CCU este realizata astfel încât să permită o plasare liberă a senzorilor de mișcare deasupra și dedesubtul articulației lezate, bazata pe detectia axei fizice a articulației.
3. Sistem conform revendicării 1 și 2, caracterizat prin aceea ca unitatea de calibrare și compensare CCU este astfel conceputa incat sa minimizeze dinamic driftul liniar de acumulare al giroscopului.
4. Sistem conform revendicării 1, caracterizat prin aceea ca unitatea de învățare automată MLU este astfel realizata incat să învețe din răspunsurile kinetoterapeutului si din calitatea exercitiilor efectuate de catre pacient, permițând astfel sistemului să optimizeze programul de exercitii si sa identifice tipare relevante in programarea lor lor, îmbunătățind notificările relevante, incadrând pacientul în categorii de exerciții, si personalizandu-i astfel automat programul,.
5. Metodă de monitorizare optimizata a kinetoterapiei articulațiilor caracterizata prin aceea ca aceasta implica:
 - prelucrarea datelor de la senzorii de mișcare prin procedura de calibrare, minimizand influența pozițiilor aleatoare ale senzorilor de mișcare pe corp;
 - minimizarea influenței driftului dinamic al giroscopului;
 - asigurarea procedurii de analiza a mișcării;
 - asigurarea procedurii de definire a exercițiilor;
 - asigurarea procedurii de asistență a pacientului la efectuarea exercițiilor;
 - asigurarea procedurii de învățare automată.

6. Metodă conform revendicării 5, caracterizată prin aceea că procedura de calibrare implementată prin algoritmul de calibrare CALIB presupune următoarele etape:

- determinarea axei principale de flexie;
- calculul corecțiilor inițiale din faza statică de poziționare;
- calculul și corectarea datelor senzorului, înregistrate în timpul calibrării cu parametrii de mai sus;
- rularea algoritmului de corectare a artefactelor datorate mușchilor pe datele corectate;
- extragerea datelor de corectare a artefactelor datorate mușchilor;
- determinarea erorii inițiale a algoritmului.

7. Metodă conform revendicării 5, caracterizată prin aceea că procedura de compensare a deviației implementată prin algoritmul DCA de compensare a driftului, are următoarele etape:

- calculul derivatei duble al unghiurilor redată de giroscop, îndepărtându-se astfel partea liniară a driftului;
- pentru reconstruirea unghiului, realizarea dublei integrări care adaugă două seturi de constante, câte un set pentru fiecare operație de integrare;
- determinarea primului set din esanțioanele în care articulația nu se mișcă, în faza statică de poziționare, unde pentru esanțioanele respective, setul este egal cu zero;
- determinarea celui de-al doilea set ca fiind orientare inițială în faza statică de poziționare;
- compensarea driftului atunci când citirile celor doi senzori sunt sincronizate, utilizând accelerația de la cei doi senzori.

8. Metodă conform revendicării 5, în care procedura de asistență la efectuarea exercițiului de către pacient include un modul de asistență vizuală cu reprezentarea 3D în timp real a articulației pe care sunt fixați senzorii, și are următoarele etape:

- redarea reprezentării 3D a articulației pe ecranul dispozitivului mobil, sincronizată cu articulația fizică reală;
- indicarea în timp real a modului în care unghiurile articulației se modifică în timpul mișcării;
- vizualizarea unghiurilor în timp ce pacientul efectuează mișcarea și obținerea feedbackului asupra acesteia.

9. Metodă conform revendicării 5, caracterizată prin aceea că procedura de învățare automată implementată prin intermediul algoritmului MLA de învățare automată, care pe baza datelor de intrare și respectiv a datelor de ieșire stocate în baza de date DB, implică efectuarea următorilor pași:

- identificarea celor mai bune exercitii din punct de vedere al conformarii pacientului la program;
- identificarea legaturilor dintre calitatea exercitiilor, conformarea pacientului la program si tipul de exercitii;
- analiza notificarilor kinetoterapeuților;
- analiza datelor de durere in relatie cu conformarea pacientului la program;
- analiza celor mai bune exercitii pentru o anumita afecțiune din punctul de vedere al rezultatelor recuperarii;
- identificarea celor mai bune exerciții de evaluare.

10. Un program de calculator cuprinzând instrucțiuni care, atunci când programul este executat de către un calculator, determină calculatorul să implementeze metoda din revendicarea 5.

16

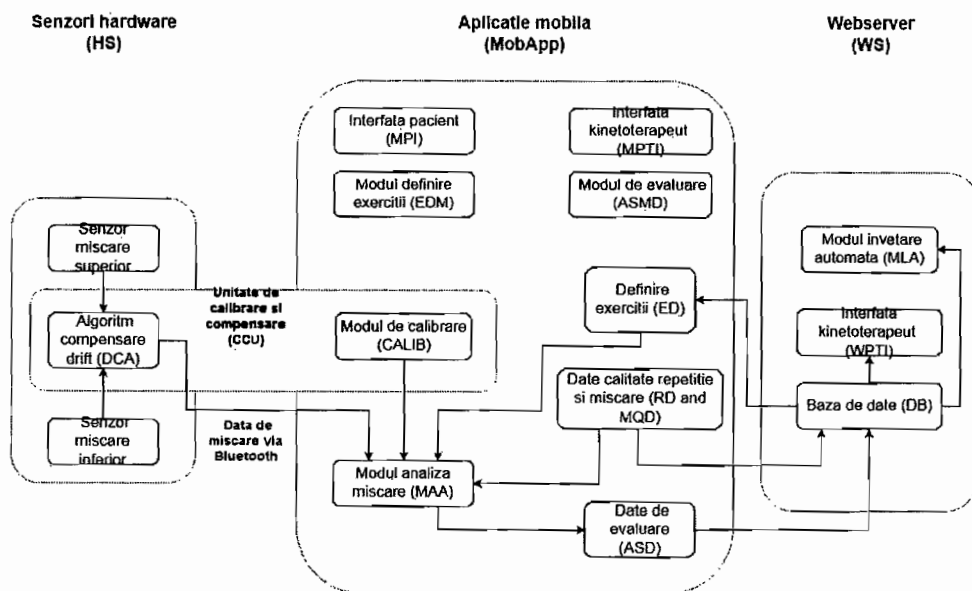


Fig.1 Structura generala sistem

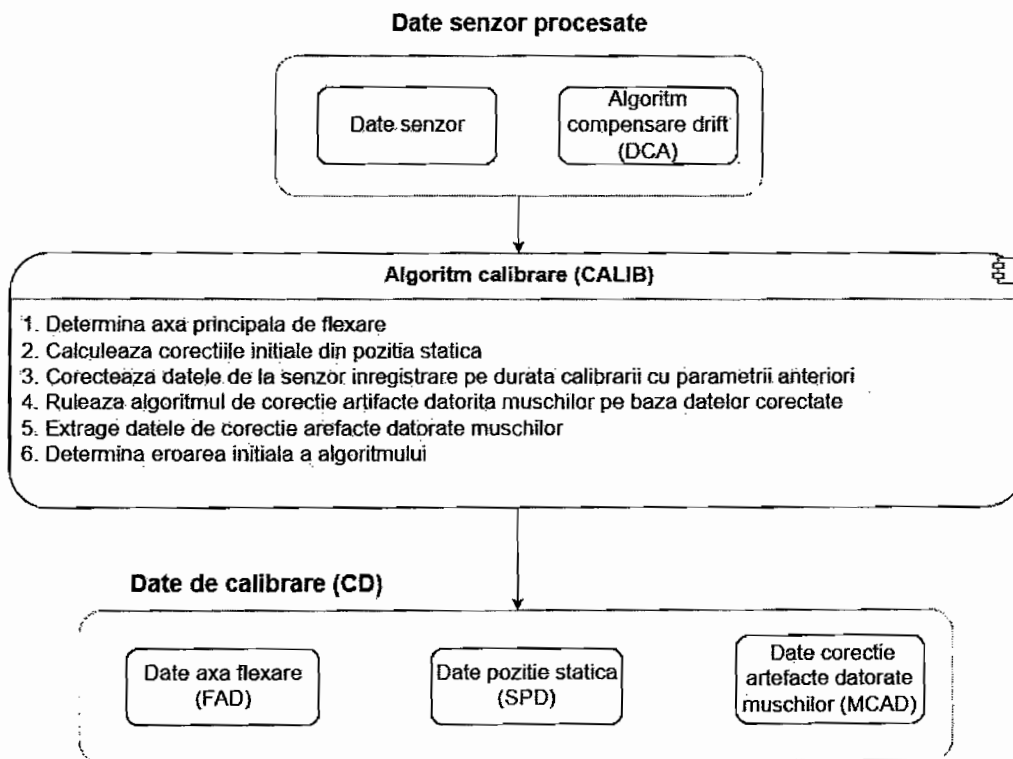


Fig.2 Procedura de calibrare si compensare

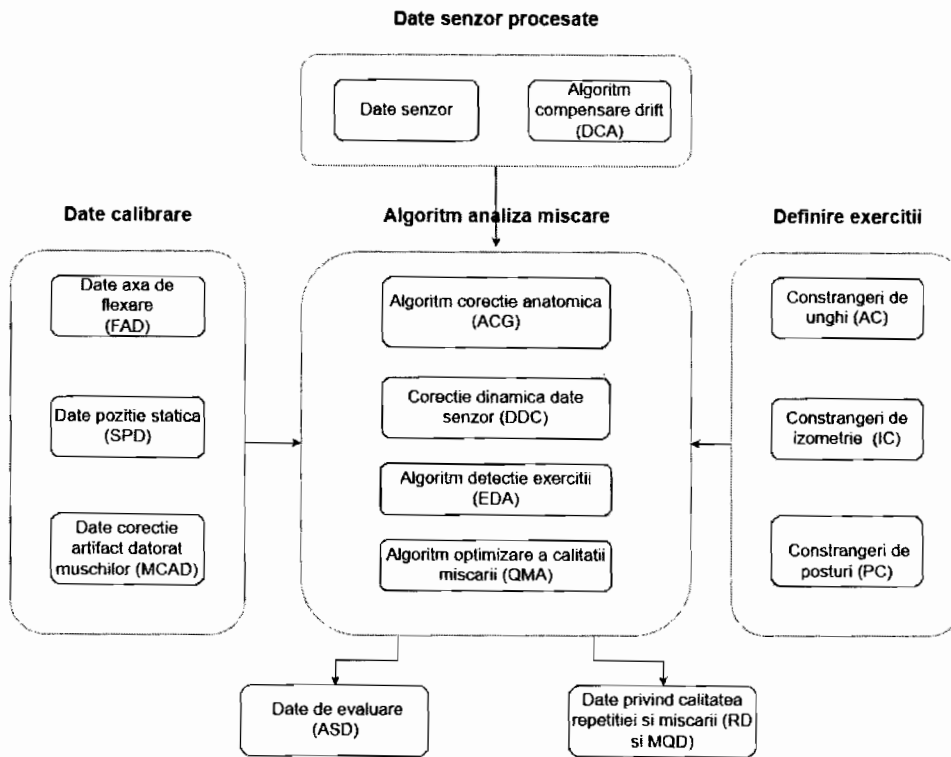


Fig.3 Procedura de analiza a miscarii

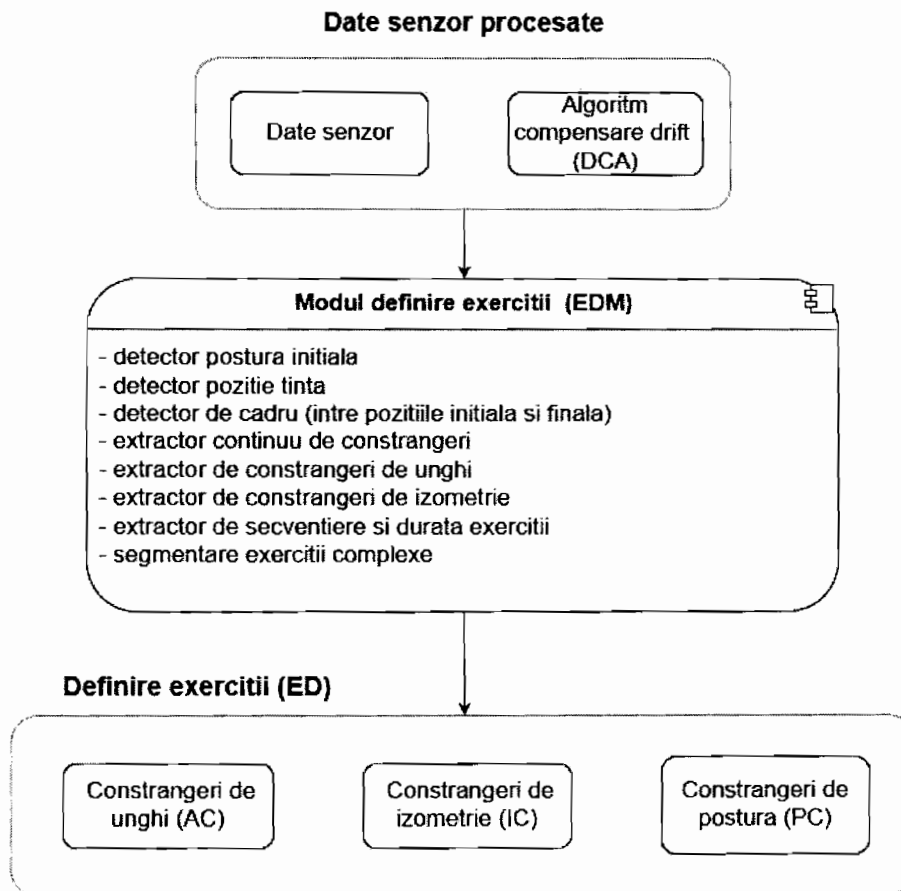


Fig.4 Procedura de definire exercitii

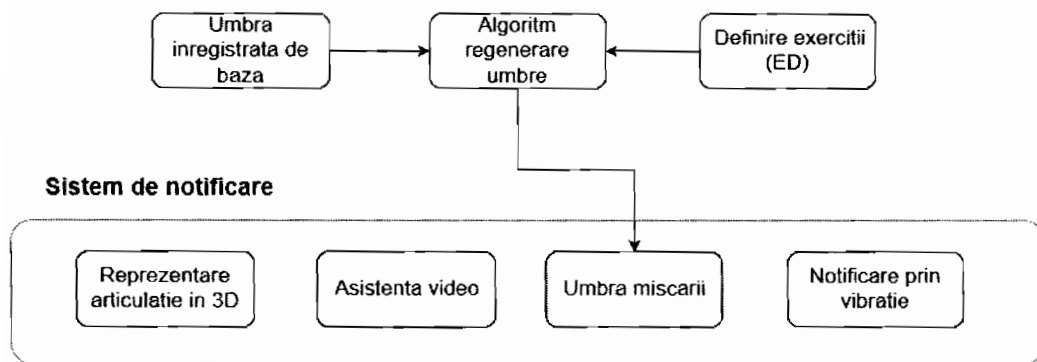


Fig.5 Procedura de asistenta pentru exercitiile fizice ale pacientului

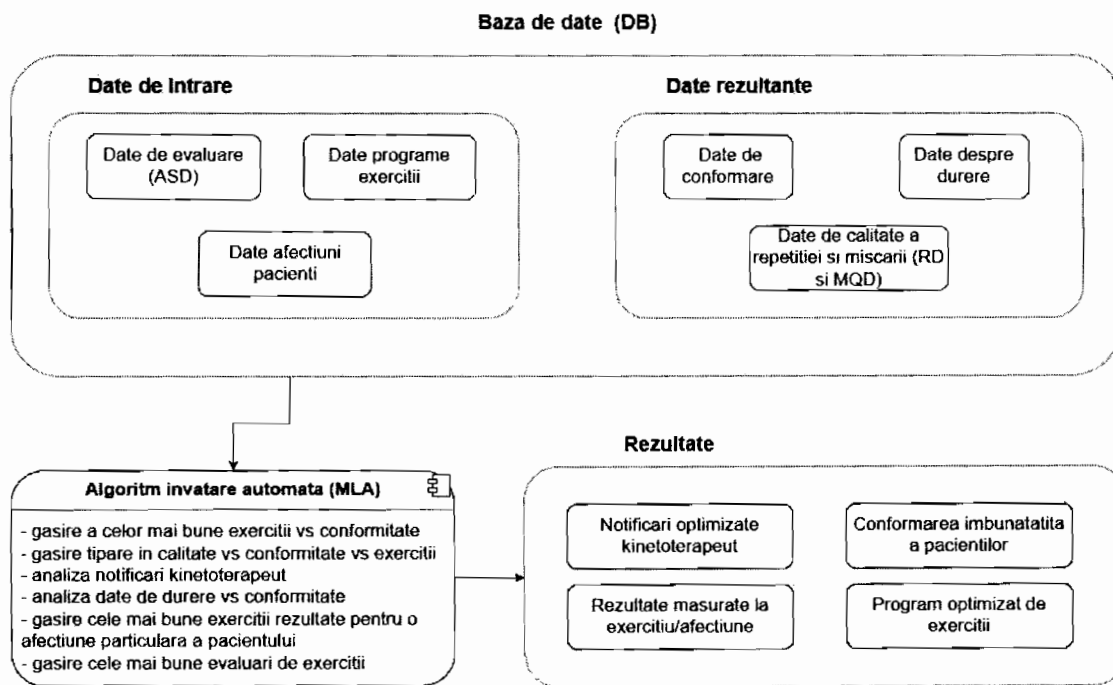


Fig.6 Procedura de invatare automata