

Physiotherapy as a Functional Re-education Strategy for Optimizing Hand Joint Mobility in Rheumatoid Arthritis

Irina Duduca^{1,2}, Andrei Gheorghiță¹, Oana-Diana Hrișcă-Eva¹, Cezar Mucileanu¹, Mihai Ilea¹, Marius Turnea¹

1 Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy Iasi

2 Faculty of Machines Manufacturing and Industrial Management, “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, 700050 Iasi, Romania



UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
GRIGORE T. POPA IAȘI



ACADEMIA DE
ȘTIINȚE
MEDICALE
Experiența doct

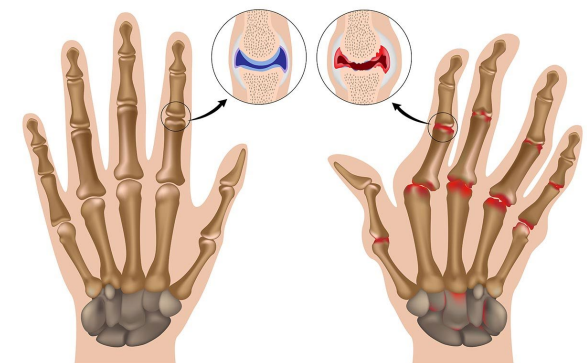


SOCIETATEA SPECIALISTILOR IN
REABILITARE MEDICALA SI
MEDICINA FIZICA
ROMANIA

Introducere

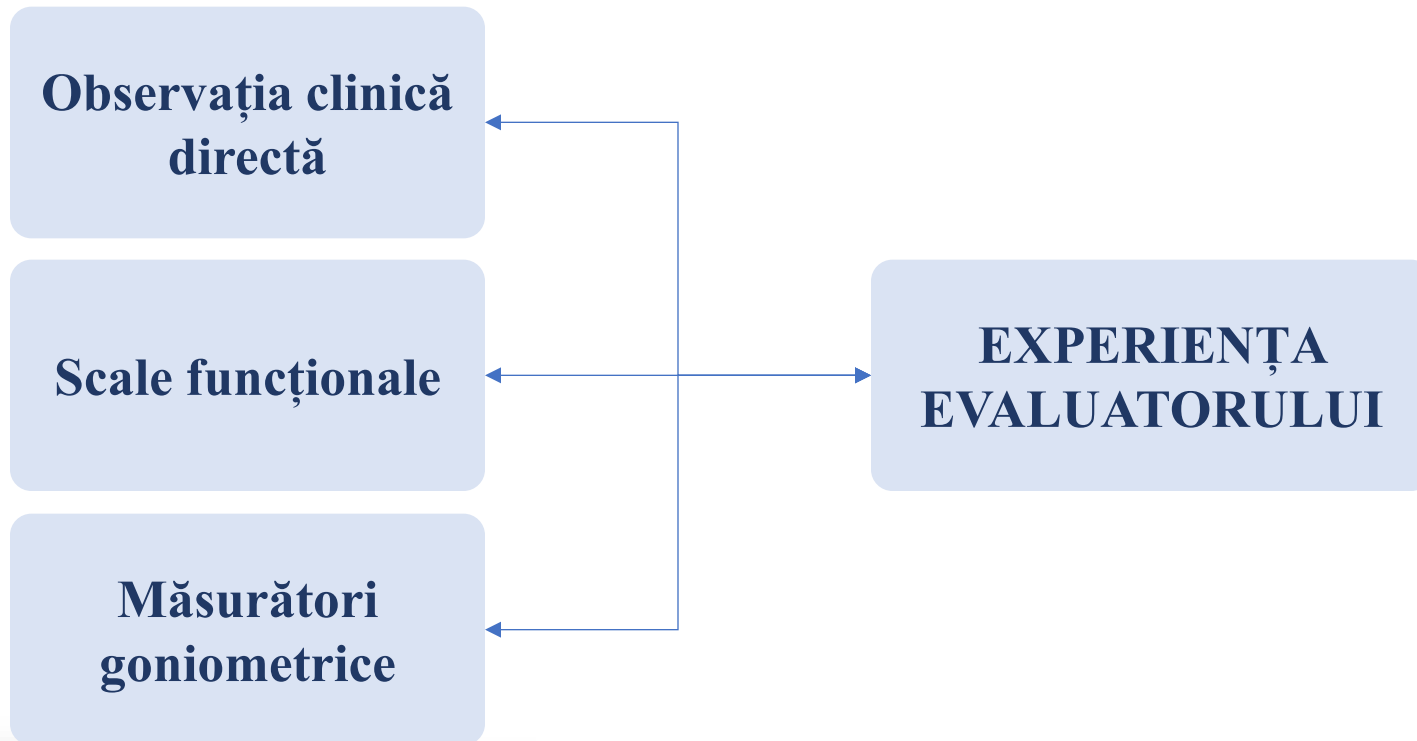
Artrita reumatoidă reprezintă o **afecțiune autoimună cronică** caracterizată prin **inflamație persistentă** la nivelul articulațiilor, care conduce progresiv la **degradare structurală, durere și limitare funcțională**. La nivelul mâinii, această patologie afectează frecvent articulațiile **metacarpofalangiene** (MCP), **interfalangiene proximale** (PIP) și **distale** (DIP), determinând **reducerea amplitudinii de mișcare, rigiditate articulară și alterarea coordonării fine** necesare activităților zilnice.

Din perspectivă funcțională, pacienții prezintă nu doar o scădere a mobilității, ci și modificări ale strategiilor de mișcare, cu apariția **mecanismelor compensatorii**. Acestea pot conduce la distribuții inegale ale sarcinilor biomecanice între articulații, accentuând disfuncția și **favorizând progresia deformărilor**. În acest context, **evaluarea corectă a mișcării devine esențială pentru stabilirea unui plan de recuperare eficient și individualizat**.



Obiective

Obiectivul principal al acestui studiu a fost dezvoltarea și implementarea unei interfețe software dedicate analizei biomecanice a mișcării degetelor la pacienții cu artrită reumatoidă, pornind de la necesitatea de a completa și depăși limitele evaluării convenționale utilizate în practica de recuperare medicală.



Obiective

Am dezvoltat un instrument obiectiv, capabil să transforme datele de mișcare în parametrii:



Măsurabili



Reproductibili



**Comparabili
în timp**

Sistemul nu înlocuiește evaluarea convențională, ci o completează prin introducerea unei perspective biomecanice

Interfața grafică

Interfața integrează **modelarea cinematică** a degetului pe baza unui lanț cinematic de tip 3R, corespunzător articulațiilor MCP, PIP și DIP, împreună cu **analiza temporală** și **funcțională** a mișcării.

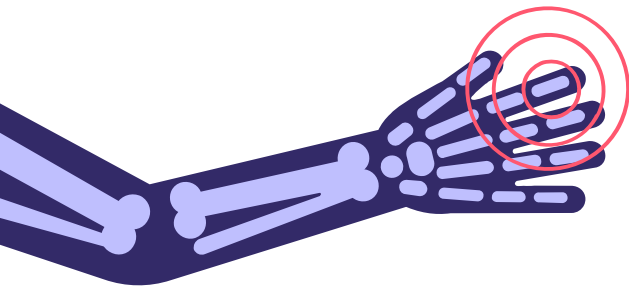
Această abordare permite **reconstrucția traiectoriei vârfului degetului**, **evaluarea amplitudinilor articulare**, **analiza coordonării dintre segmente** și identificarea unor eventuale **mecanisme compensatorii** care nu pot fi întotdeauna observate clar prin metodele clasice.

Un alt obiectiv important a fost includerea unor **indicatori relevanți** pentru artrita reumatoidă, care să permită caracterizarea mai fină a controlului motor și a eficienței execuției.

Prin urmare, sistemul a fost gândit ca un **instrument de sprijin pentru clinician**, capabil să furnizeze rezultate numerice, reprezentări grafice și interpretări automate, toate orientate către o evaluare standardizată, mai precisă și mai obiectivă a progresului pacientului în procesul de recuperare.

Interfața grafică

Sistemul propus este conceput ca o platformă integrată de analiză biomecanică, care realizează legătura între datele experimentale brute și interpretarea clinică a mișcării.



Arhitectura acestuia urmează un flux logic bine definit, în care fiecare etapă contribuie la transformarea informației inițiale într-un set de indicatori funcționali relevanți pentru procesul de recuperare.

În acest sens, aplicația funcționează ca un sistem de tip **input–procesare–output**, optimizat pentru utilizare clinică și cercetare aplicată.



Introducerea datelor

Componenta de input este reprezentată de **datele de intrare**, preluate din fișiere Excel alocate fiecărui pacient, unde fiecare foaie corespunde unei zile de evaluare.

Aceste date conțin **valorile amplitudinii de mișcare** a articulațiilor MCP, PIP și DIP, înregistrate pe parcursul execuției unor mișcări funcționale de flexie-extensie a degetului index.

Interfața permite selecția flexibilă a coloanelor corespunzătoare fiecărei articulații, precum și adaptarea parametrilor anatomici (lungimile segmentelor), ceea ce asigură o bună adaptabilitate la diferite tipuri de pacienți și protocoale experimentale.

Control si parametri

Incarca fisier Excel

Export rezultate

Ruleaza animatia

Foaie (pacient): DAY_01 ▼

Coloana MCP (theta1): MCP ▼

Coloana PIP (theta2): PIP ▼

Coloana DIP (theta3): DIP ▼

L1 (falanga proximala) [...]: 20

L2 (falanga mijlocie) [mm]: 13

L3 (falanga distala) [mm]: 11

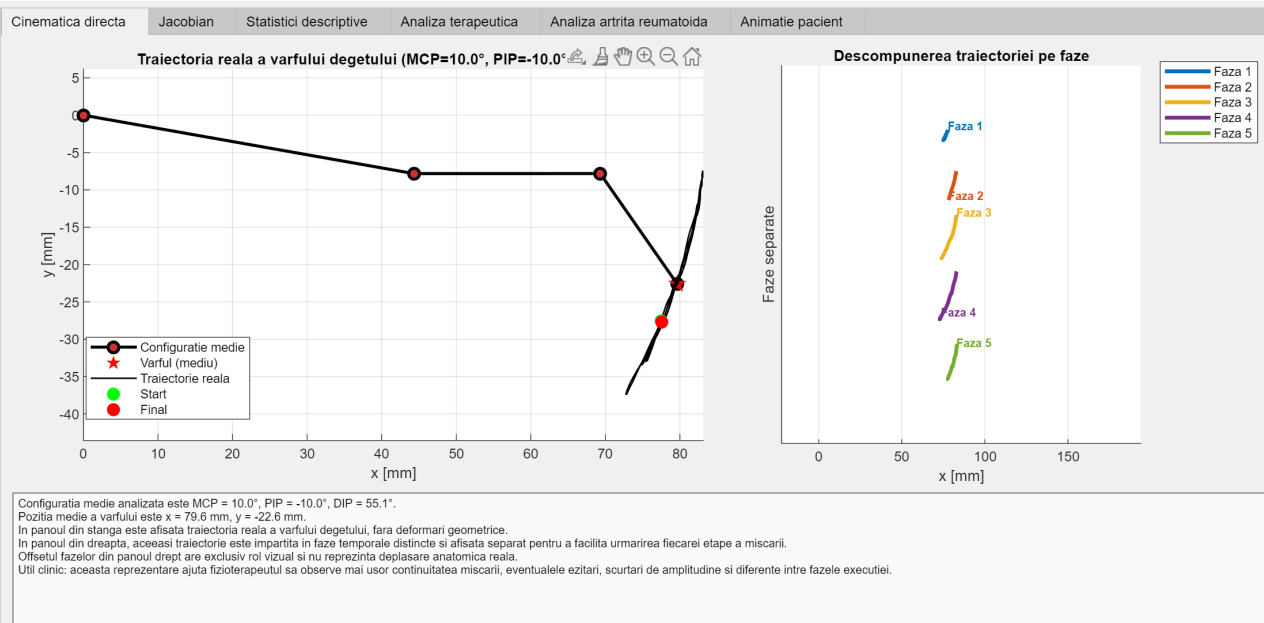
Recalculeaza (toate sectiunile)

Perioada de esantionare...: 0.02

☒ Netezire Savitzky-Golay (recomandat)

Analiza terapeutica + AR

Procesarea datelor



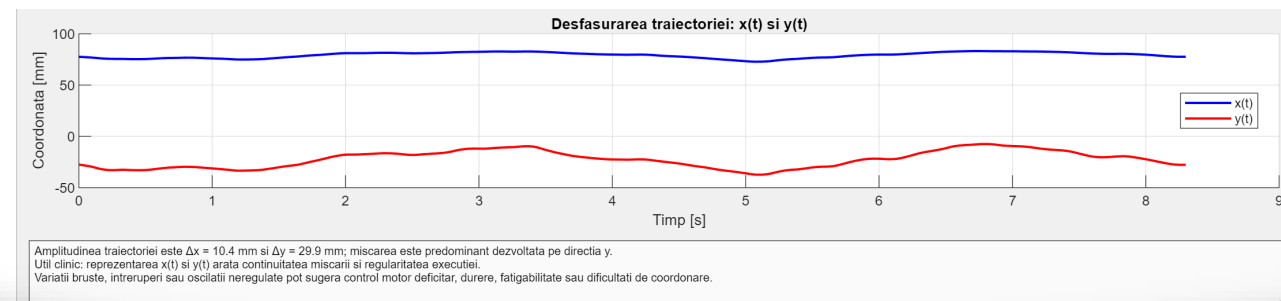
Analiza cinematică este una dintre componentele centrale ale sistemului, având rolul de a reconstrui și vizualiza mișcarea degetului pe baza valorilor amplitudinilor articulare înregistrate.

Astfel, degetul este modelat ca un **lanț cinematic** plan de tip 3R, corespunzător articulațiilor MCP, PIP și DIP, ceea ce permite transformarea datelor în coordonate spațiale și **determinarea poziției vârfului degetului** pe parcursul mișcării.

Aplicația realizează **segmentarea traectoriei în faze funcționale**, pe baza variațiilor datelor. Această abordare permite împărțirea mișcării în **etape distincte** ale execuției și facilitează analiza comparativă a fiecărei faze.

Analiza traectoriei vârfului degetului completează modelarea cinematică, oferind o perspectivă dinamică asupra execuției mișcării în timp.

Spre deosebire de reprezentarea statică, aceasta reflectă **succesiunea pozițiilor spațiale** și permite evaluarea **continuității, direcției și amplitudinii mișcării**.



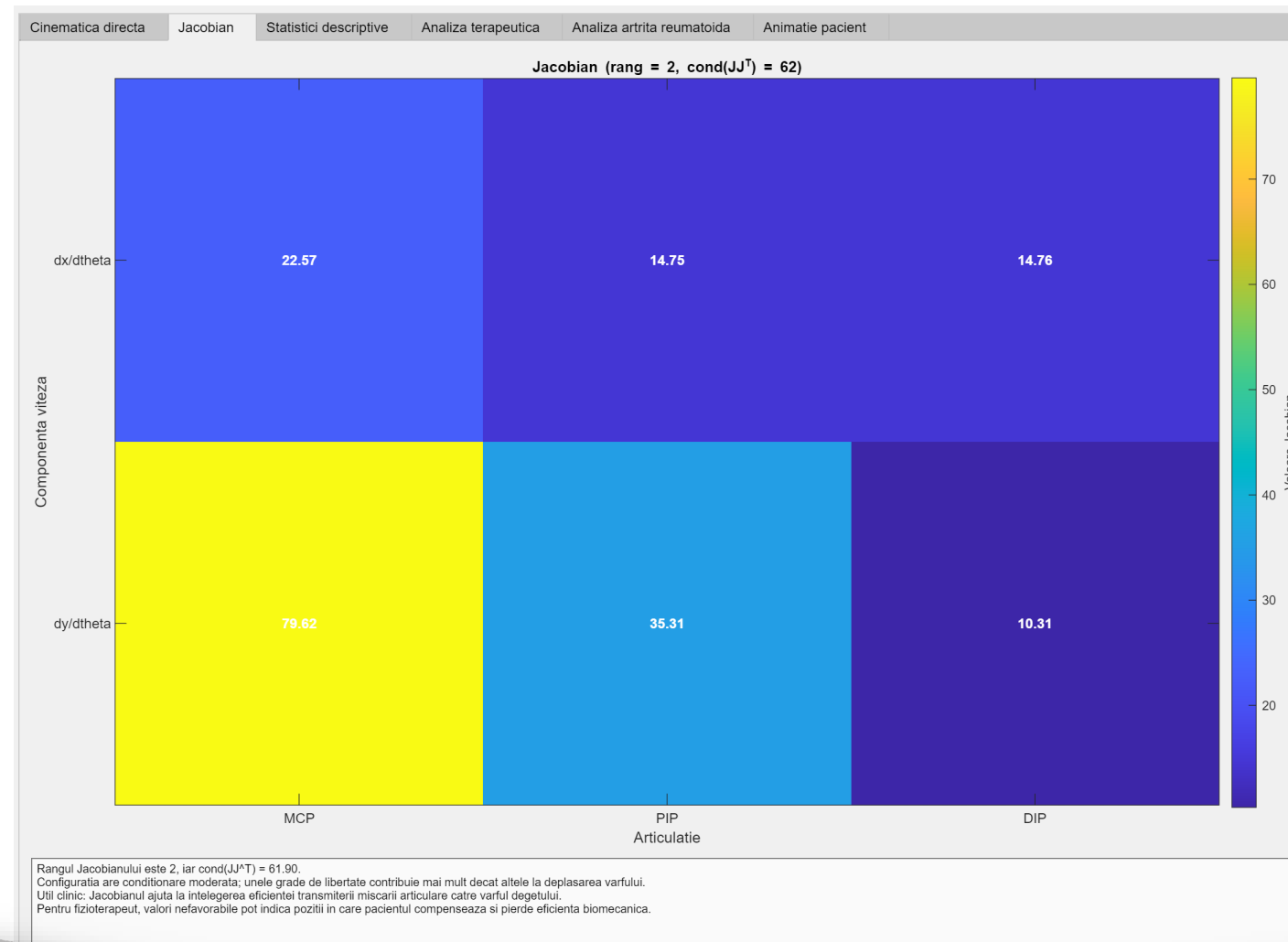
Analiza statistică

Analiza Jacobianului oferă o perspectivă funcțională asupra modului în care mișcările articulare sunt transformate în deplasarea vârfului degetului. Practic, acest concept descrie **cât de eficient contribuie fiecare articulație la realizarea mișcării în spațiu**.

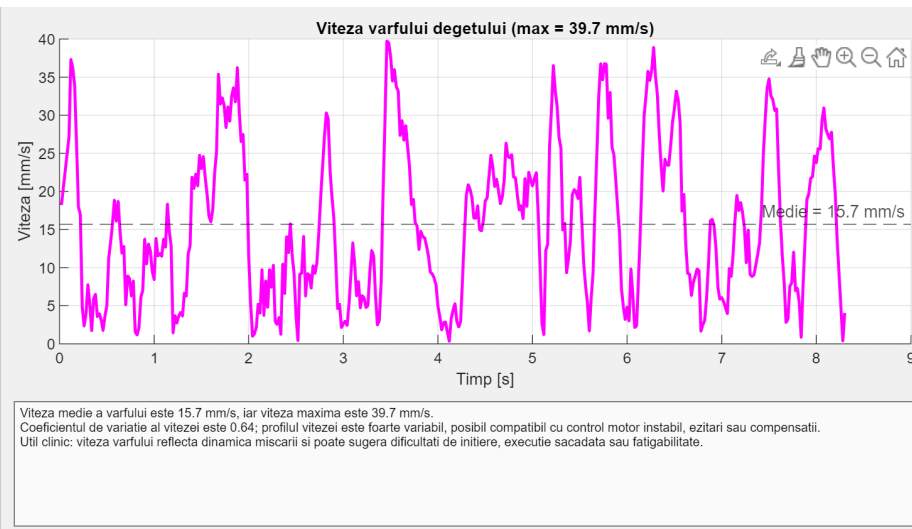
Pentru **fizioterapeut**, această analiză este importantă deoarece evidențiază dacă mișcarea este realizată eficient sau dacă există dezechilibre între articulații.

De exemplu, o contribuție redusă a unei articulații poate indica rigiditate, durere sau inhibiție, în timp ce o contribuție excesivă a alteia poate sugera o strategie compensatorie.

În plus, indicatori precum **rangul** sau **gradul de condiționare** al sistemului pot sugera **poziții în care mișcarea devine instabilă** sau dificil de controlat.



Analiza terapeutică

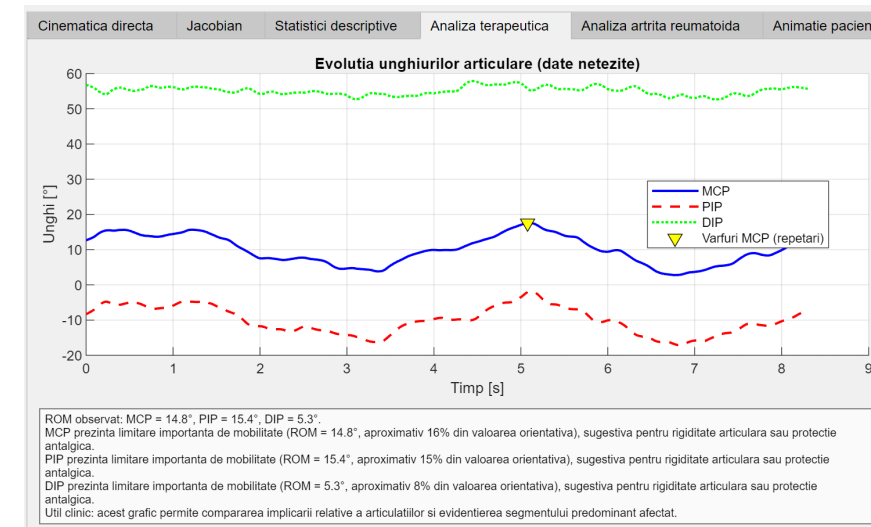


Graficul vitezei vârfului degetului oferă informații despre **dinamica mișcării**, evidențiind **variațiile de viteză** și eventualele **instabilități**.

Parametru terapeutic	Valoare
ROM MCP [°]	14.8203
ROM PIP [°]	15.3649
ROM DIP [°]	5.2822
Numar repetari (varfuri MCP)	1.0000
Durata medie repetitie [s]	NaN
Deviatia std a duratei [s]	NaN
Viteza medie varf [mm/s]	15.6983
Viteza maxima varf [mm/s]	39.7467
Lungimea totala a traiectoriei [mm]	130.2959

Componenta tabelară sintetizează automat **parametrii terapeutici esențiali**, precum **amplitudinile articulare (ROM)**, **numărul de repetări**, **viteza medie** și **maximă** sau **lungimea traiectoriei**.

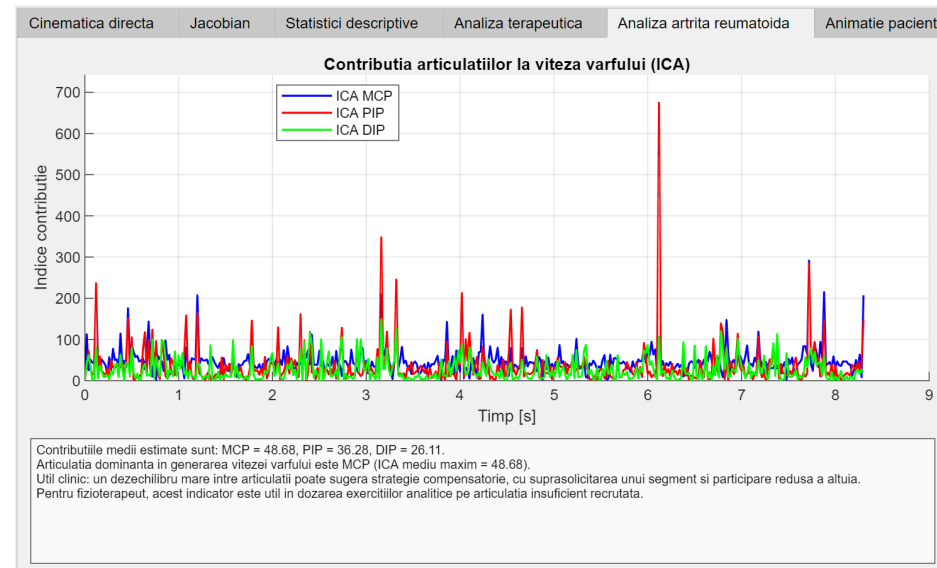
Această organizare permite o **evaluare rapidă** și **standardizată** a performanței pacientului, **fără a fi necesară analiza manuală a datelor brute**.



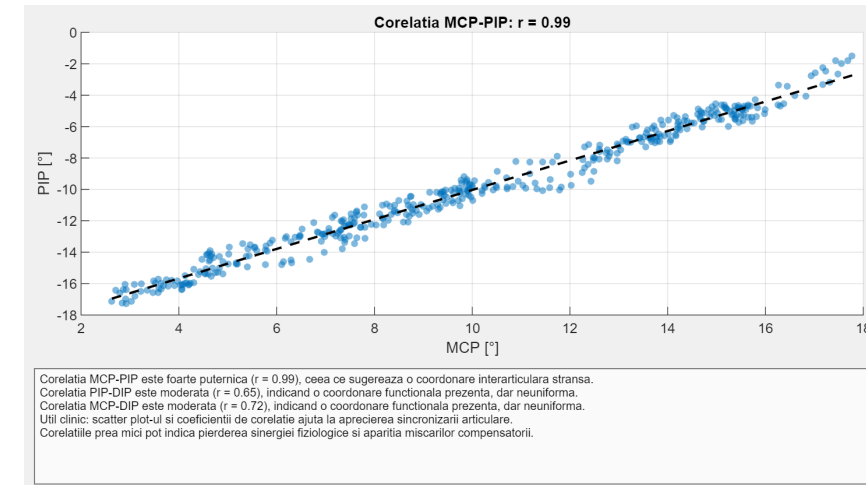
Graficul asociat Evoluției unghiurilor articulare permite vizualizarea **coordonării inter-articulare** și identificare momentelor cheie ale mișcării, precum **peak-urile corespunzătoare fiecărei repetări**.

Această funcție facilitează **analiza ritmului**, a **amplitudinii** și a **continuității execuției**.

Analiza Artritei Reumatoide



Metrica AR	Valoare
ICA MCP (0..1)	48.6758
ICA PIP	36.2769
ICA DIP	26.1064
Mobilitate MCP (real/normal)	0.1683
Mobilitate PIP	0.1576
Mobilitate DIP	0.0818
IRC MCP	1.2327
IRC PIP	1.2550
IRC DIP	1.2468
Corelatia MCP-PIP	0.9901
Corelatia PIP-DIP	0.6547
Corelatia MCP-DIP	0.7167
Indice eficienta traiectorie (1=optim)	0.0018



Această secțiune evidențiază contribuția fiecărei articulații (MCP, PIP, DIP) la generarea vitezei vârfului degetului, prin indicele de contribuție articulară (ICA).

Ea permite identificarea dezechilibrelor între segmente și observarea rapidă a eventualei dominante articulare, sugestive pentru mecanisme compensatorii.

Tabelul central sintetizează automat indicatori specifici evaluării funcționale în artrita reumatoidă, precum contribuția articulară, mobilitatea relativă, variabilitatea, corelațiile interarticulare și eficiența traiectoriei.

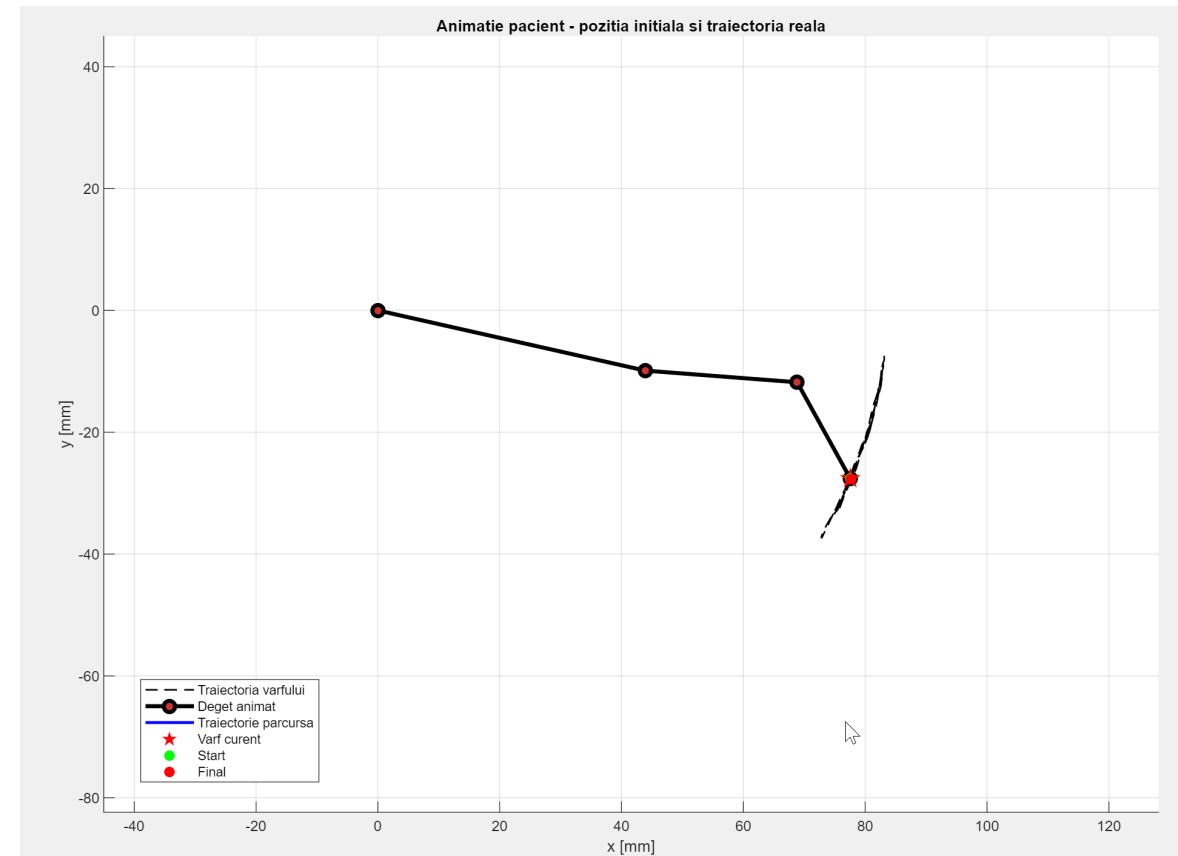
Această componentă permite vizualizarea relației dintre două articulații, printr-un scatter plot însoțit de linia de regresie și coeficientul de corelație. Ea evidențiază gradul de sincronizare între articulații și oferă o imagine intuitivă asupra coordonării mișcării, permițând aprecierea rapidă a unei relații coerente sau a unei disocieri segmentare.

Animație

Folosind modelul cinematic al degetului, aplicația actualizează succesiv poziția segmentelor, astfel încât să reproducă într-o **manieră intuitivă** modul real în care pacientul execută mișcarea.

În paralel, este afișată și **traectoria reală a vârfului degetului**, ceea ce permite corelarea directă dintre mișcarea articulară și rezultatul funcțional final al acesteia.

Pentru fizioterapeut, animația oferă o imagine **intuitivă** a performanței motorii, completând informațiile obținute din analiza biomecanică.



Rezultate

În cadrul acestui studiu de caz, a fost analizat un pacient diagnosticat cu artrită reumatoidă, prezentând deformare de tip gât de lebădă la nivelul degetului index, la care s-a urmărit evoluția funcțională pe parcursul unui program de recuperare de 10 zile.

Evaluarea inițială a fost realizată prin metode convenționale, utilizând măsurători goniometrice pentru determinarea amplitudinilor articulare la nivelul articulațiilor MCP, PIP și DIP.

Ulterior, mișcarea de flexie–extensie a degetului a fost înregistrată utilizând un sistem de captare, datele fiind introduse în platforma de analiză biomecanică.

Această abordare a permis evaluarea nu doar a amplitudinilor articulare, ci și a dinamicii mișcării, a coordonării interarticulare și a eficienței execuției.

Măsurătorile au fost efectuate în trei momente cheie – ziua 1, ziua 5 și ziua 10 – pentru a evidenția evoluția pacientului pe parcursul intervenției terapeutice.

Compararea acestor evaluări a permis o analiză obiectivă a progresului funcțional, demonstrând avantajul integrării metodelor clasice cu analiza asistată software în monitorizarea recuperării.

Rezultate

Control si parametri

Incarca fisier Excel

Export rezultate

Ruleaza animatia

Foaie (pacient):

DAY_10

Coloana MCP (theta1):

MCP

Coloana PIP (theta2):

PIP

Coloana DIP (theta3):

DIP

L1 (falanga proximala) [...]

20

L2 (falanga mijlocie) [mm]:

13

L3 (falanga distala) [mm]:

11

Recalculeaza (toate sectiunile)

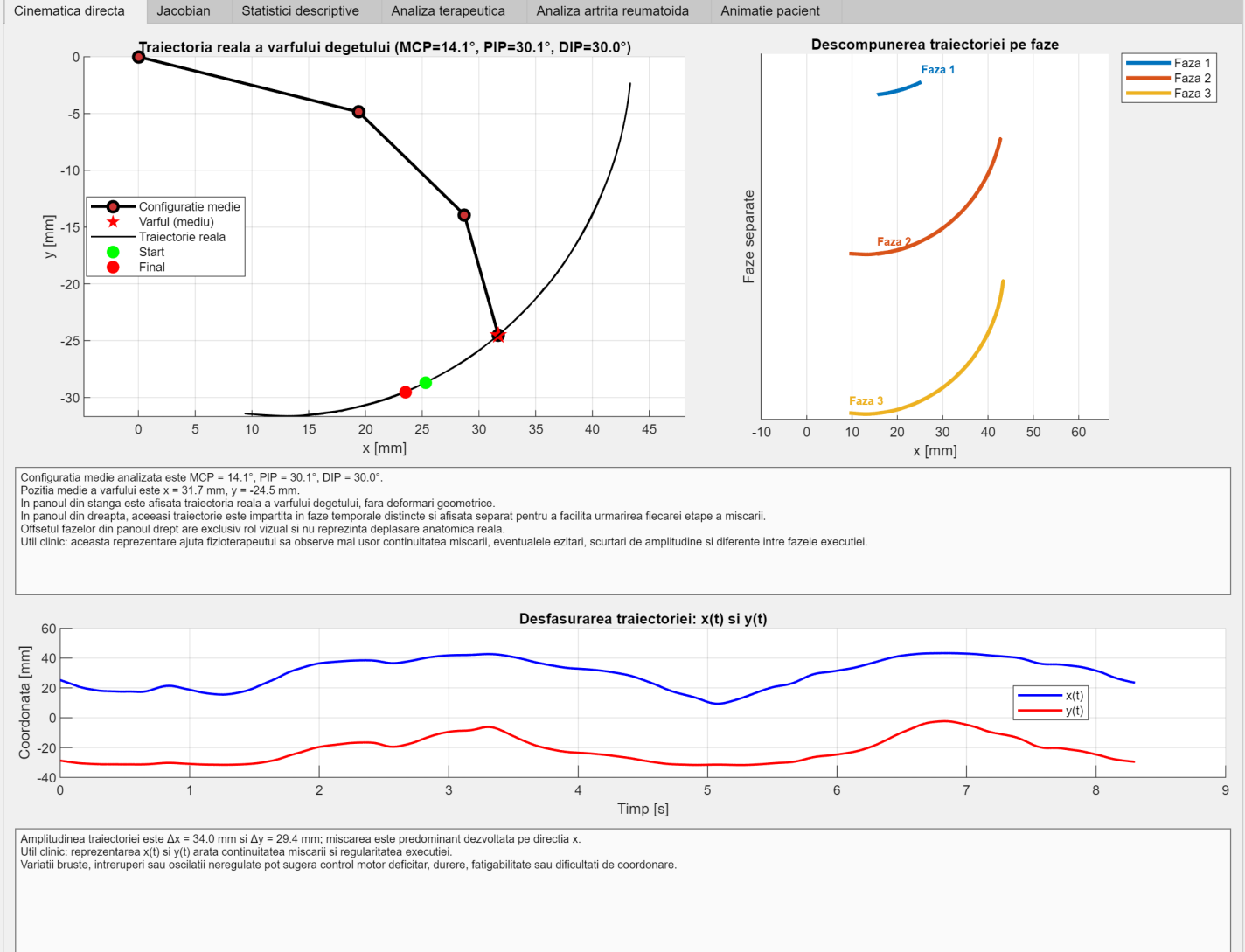
Perioada de esantionare...

0.02

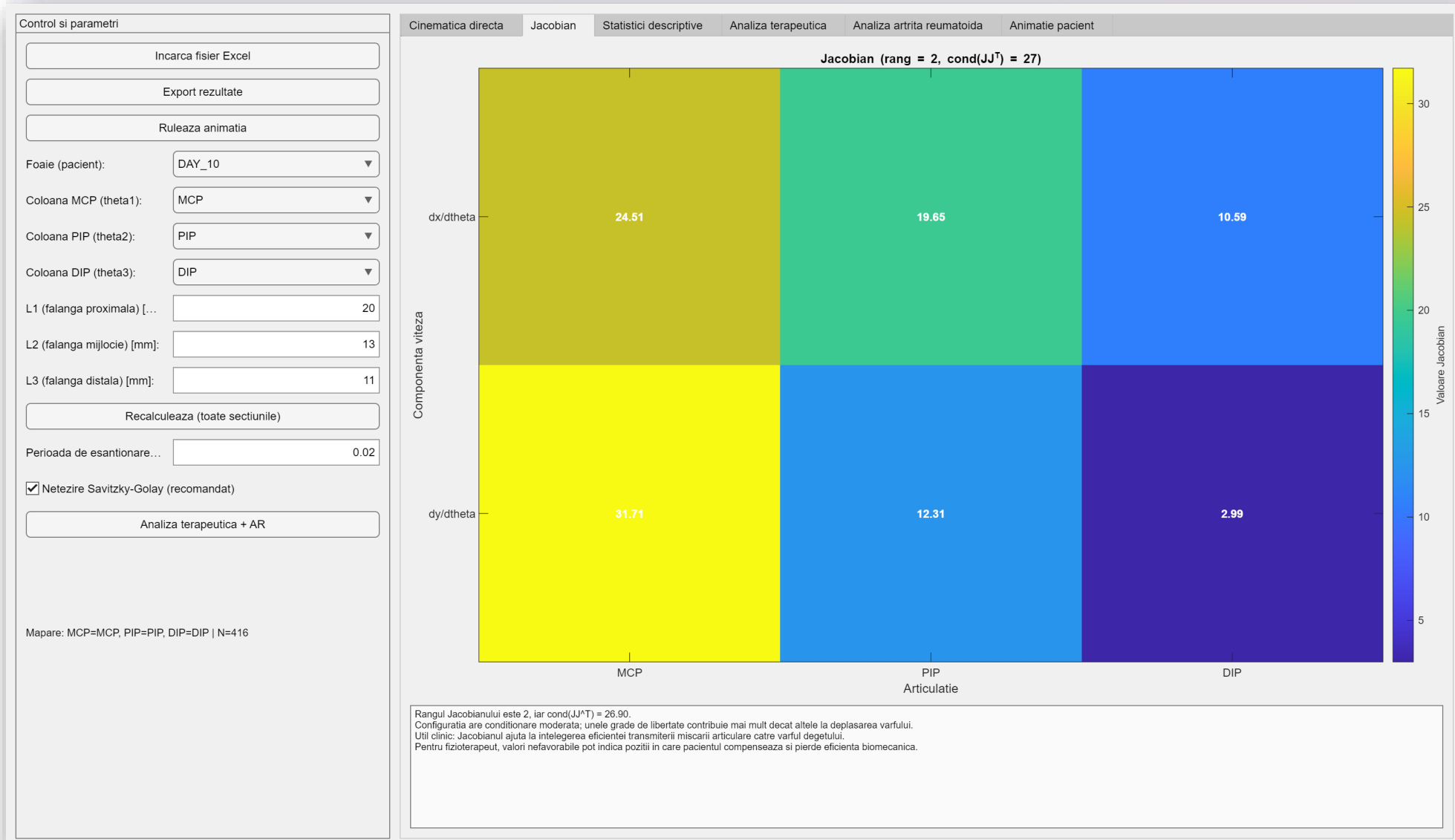
☒ Netezire Savitzky-Golay (recomandat)

Analiza terapeutica + AR

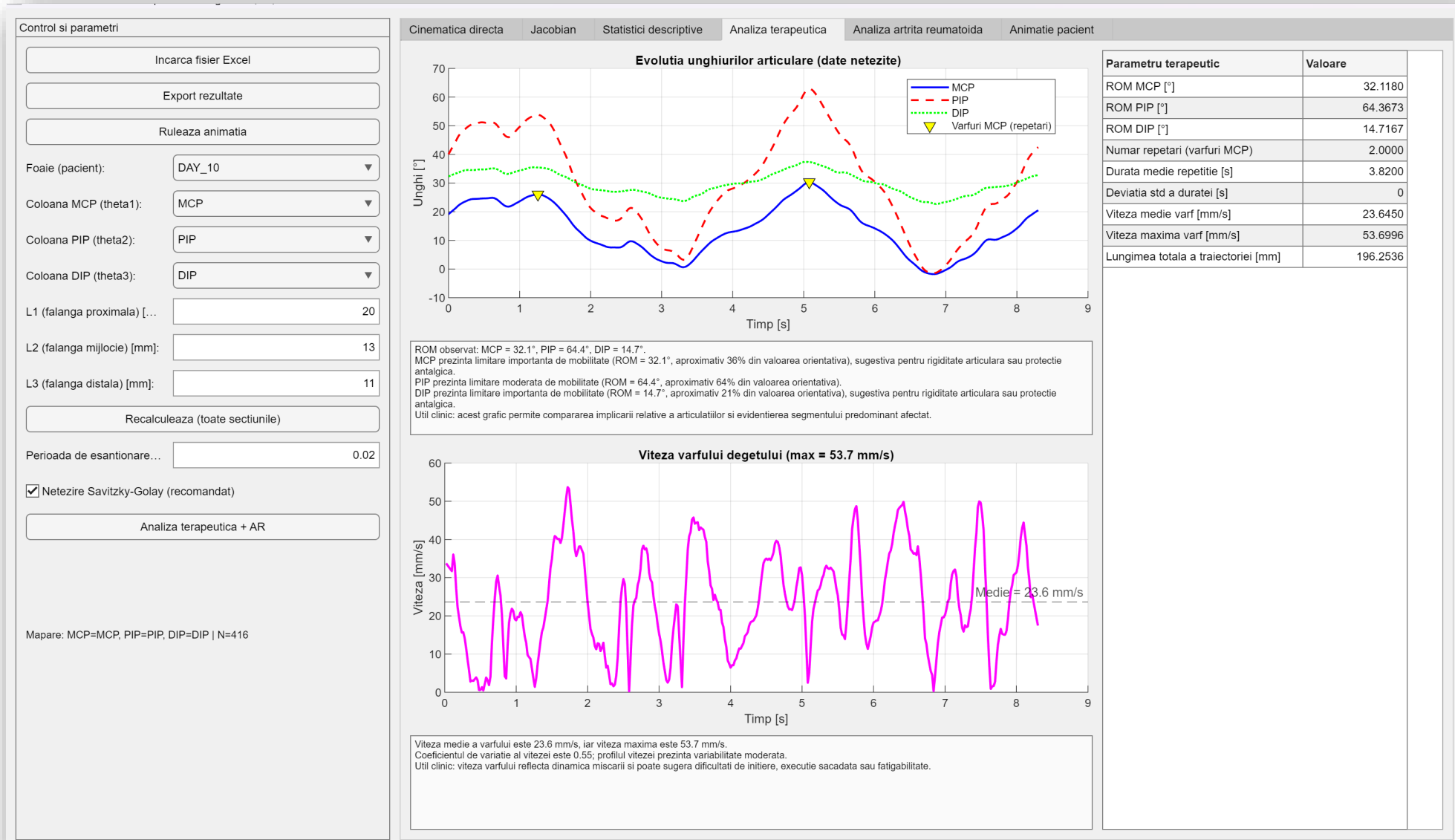
Mapare: MCP=MCP, PIP=PIP, DIP=DIP | N=416



Rezultate



Rezultate



Rezultate

Control si parametri

Incarca fisier Excel

Export rezultate

Ruleaza animatia

Foale (pacient):

DAY_10

Coloana MCP (theta1):

MCP

Coloana PIP (theta2):

PIP

Coloana DIP (theta3):

DIP

L1 (falanga proximala) [...]

20

L2 (falanga mijlocie) [mm]:

13

L3 (falanga distala) [mm]:

11

Recalculeaza (toate sectiunile)

Perioada de esantionare...

0.02

☒ Netezire Savitzky-Golay (recomandat)

Analiza terapeutica + AR

Mapare: MCP=MCP, PIP=PIP, DIP=DIP | N=416

Cinematica directa

Jacobian

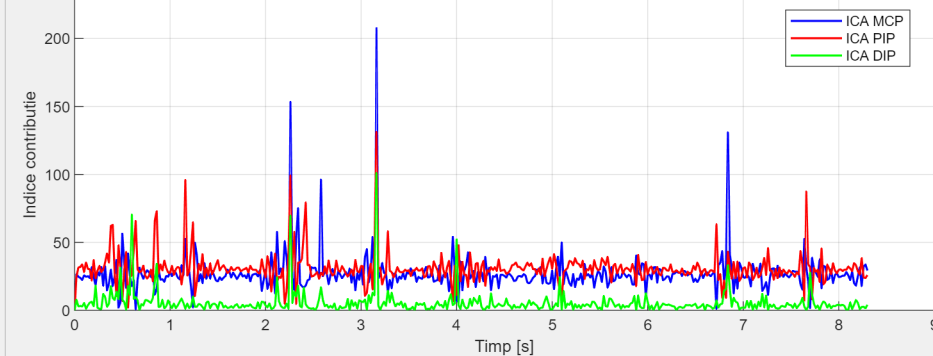
Statistici descriptive

Analiza terapeutica

Analiza artrita reumatoida

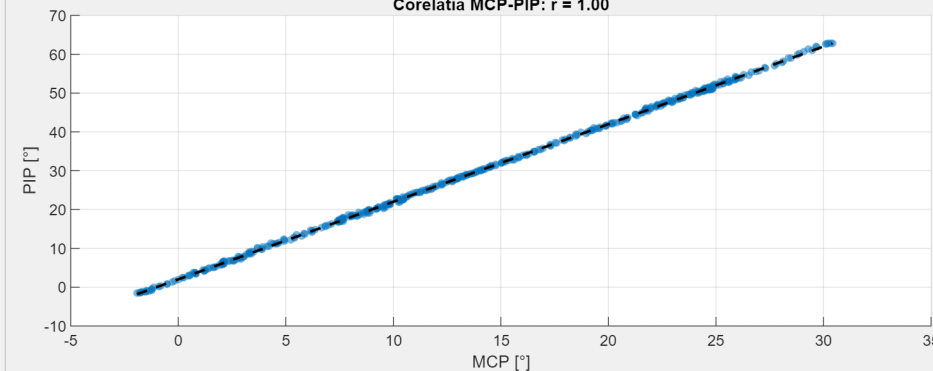
Animatie pacient

Contributia articulatiilor la viteza varfului (ICA)



Contributiile medii estimate sunt: MCP = 27.11, PIP = 30.72, DIP = 5.44.
Articulatia dominanta in generarea vitezei varfului este PIP (ICA mediu maxim = 30.72).
Util clinic: un dezechilibru mare intre articulatii poate sugera strategie compensatorie, cu suprasolicitarea unui segment si participare reduasa a altuia.
Pentru fizioterapeut, acest indicator este util in dozarea exercitiilor analitice pe articulatia insuficient recrutata.

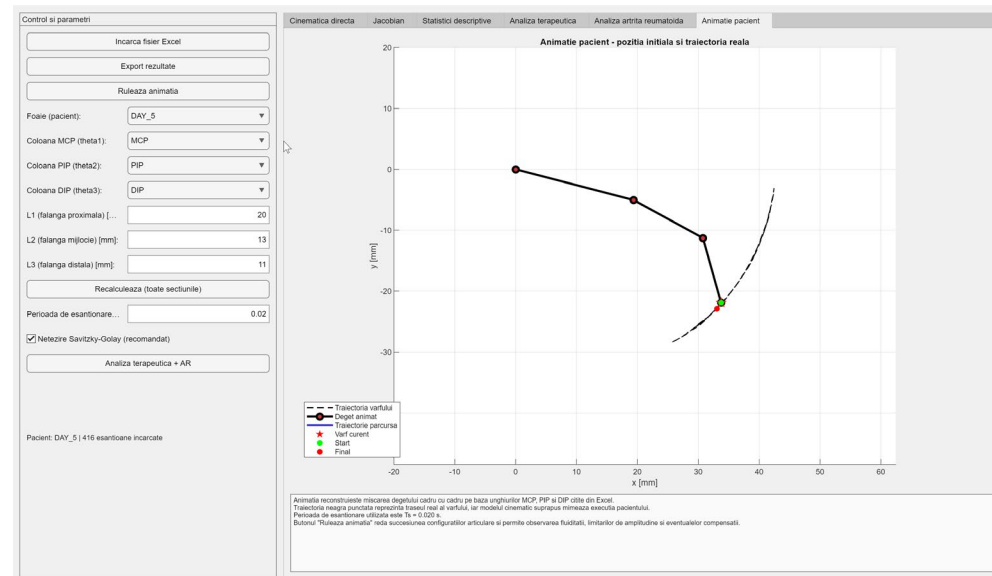
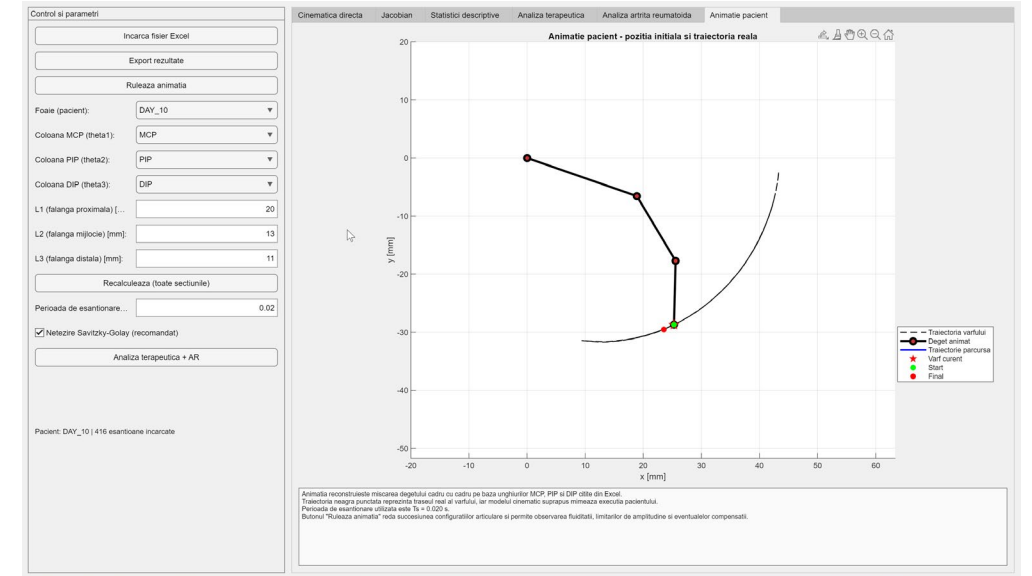
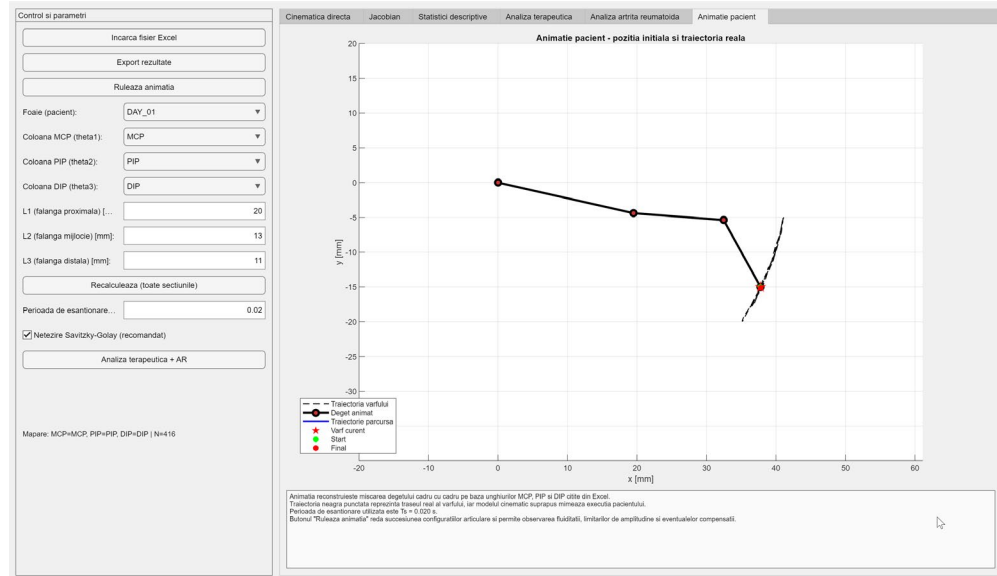
Corelatia MCP-PIP: $r = 1.00$



Corelatia MCP-PIP este foarte puternica ($r = 1.00$), ceea ce sugereaza o coordonare interarticulara stransa.
Corelatia PIP-DIP este foarte puternica ($r = 1.00$), ceea ce sugereaza o coordonare interarticulara stransa.
Corelatia MCP-DIP este foarte puternica ($r = 1.00$), ceea ce sugereaza o coordonare interarticulara stransa.
Util clinic: scatter plot-ul si coeficientii de corelatie ajuta la aprecierea sincronizarii articulare.
Corelatiile prea mici pot indica pierderea sinergiei fiziologice si aparitia miscarilor compensatorii.

Metrica AR	Valoare
ICA MCP (0..1)	27.1087
ICA PIP	30.7204
ICA DIP	5.4413
Mobilitate MCP (real/normal)	0.3592
Mobilitate PIP	0.6440
Mobilitate DIP	0.2129
IRC MCP	1.1491
IRC PIP	1.1492
IRC DIP	1.2259
Corelatia MCP-PIP	0.9999
Corelatia PIP-DIP	0.9988
Corelatia MCP-DIP	0.9988
Indice eficienta traiectorie (1=optim)	0.0090

Rezultate



Concluzii

Implementarea interfeței software dezvoltate a demonstrat utilitatea integrării analizei biomecanice în evaluarea funcțională a pacienților cu artrită reumatoidă. Sistemul propus permite transformarea datelor de mișcare în parametri obiectivi, măsurabili și reproductibili, completând astfel limitările evaluării convenționale, predominant subiective.

Prin utilizarea modelării cinematice, a analizei temporale și a indicatorilor specifici (precum contribuția articulară, corelațiile intersegmentare și eficiența traiectoriei), aplicația oferă o perspectivă detaliată asupra mecanismelor de execuție a mișcării și a strategiilor compensatorii asociate patologiei.

Studiul de caz a evidențiat faptul că monitorizarea evoluției în timp (ziua 1, 5 și 10) permite identificarea obiectivă a progresului funcțional, nu doar prin creșterea amplitudinilor articulare, ci și prin îmbunătățirea coordonării și a calității mișcării.

Astfel, sistemul dezvoltat reprezintă un instrument util pentru fizioterapeut, contribuind la o evaluare mai precisă, standardizată și orientată clinic, cu potențial de integrare în practica de recuperare și în monitorizarea pe termen lung a pacienților cu artrită reumatoidă.

Vă mulțumim pentru atenție!

Disclosure statement

**I have no actual or potential conflict of interest in relation to this
program/presentation.**