

TEZĂ DE DOCTORAT

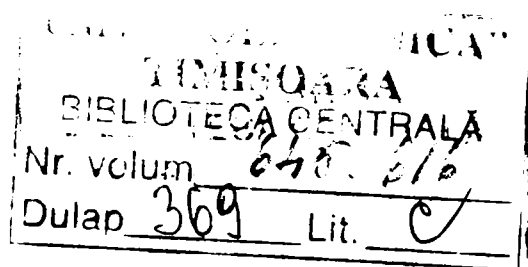
**CONTRIBUȚII LA
TEHNICI DE MODELARE
A MEMBRULUI SUPERIOR UMAN**

Conducător științific:

Prof.dr.ing. DOINA DRĂGULESCU

Autor:

Ing. ANTOANELA NÁAJI



TIMIȘOARA – DECEMBRIE 2004

CUPRINS

CAPITOLUL I. INTRODUCERE.....	2
CAPITOLUL II. CONCEPTELE FUNDAMENTALE ALE MODELĂRII.....	5
2.1. Apariția metodei modelării.....	5
2.2. Conceptul de model.....	8
2.3. Conceptul de modelare.....	14
2.4. Particularități ale modelării în biomecanica sistemului osteoarticular.....	18
CAPITOLUL III. ASPECTE ANATOMICE ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN.....	22
3.1. Scheletul membrului superior.....	23
3.2. Articulațiile membrului superior.....	36
3.3. Mușchii membrului superior.....	53
CAPITOLUL IV. MODELAREA GEOMETRICĂ A MEMBRULUI SUPERIOR UMAN..	65
4.1. Tehnici de descriere a modelelor geometrice.....	65
4.2. Tehnici de modelare utilizând curbe.....	70
4.3. Reprezentarea scheletului osos al membrului superior uman cu ajutorul curbelor.....	78
4.4. Obținerea suprafețelor pornind de la curbe.....	98
4.5. Realizarea modelelor 3D ale membrului superior uman.....	100
V. MODELUL CINEMATIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN.....	117
5.1. Lanțuri cinematice.....	117
5.2. Principii generale de anatomie funcțională și biomecanică a aparatului locomotor....	118
5.3. Membrul superior ca lanț cinematic.....	119
5.4. Reguli și principii utilizate în modelarea cinematică a membrului superior.....	124
5.6. Modelul cinematic simplificat.....	139
5.7. Reprezentarea parametrică a spațiului de lucru a membrului superior uman.....	148
CAPITOLUL VI. MODELUL DINAMIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN.....	161
6.1. Structura și proprietățile oaselor.....	161
6.2. Calculul centrul de greutate și a momentelor de inerție pe modelul 3D al membrului superior uman.....	162
6.4. Dinamica membrului superior uman.....	166
6.5. Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale pentru modelul simplificat al membrului superior.....	172
CAPITOLUL VII. BAZE DE DATE PRIVIND DEFICIENȚELE MOTORII ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN.....	181
7.1. Fracturile membrului superior.....	181
7.2. Bază de date privind deficiențele motorii a membrului superior.....	216
CAPITOLUL VIII. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	264
ANEXE.....	273
BIBLIOGRAFIE.....	284

CAPITOLUL I. INTRODUCERE

Teoretic, procesul de modelare constă în dezvoltarea unui model care să reprezinte totalitatea proprietăților unui obiect sau fenomen corespunzătoare scopului analizei. În acest sens, realizarea unui model virtual al organismului uman constă în reprezentarea principalelor sale caracteristici, cât mai apropiate de realitate în măsură maxim posibilă. Practic, acesta înseamnă realizarea unui model complex care să ia în considerare atât modelarea scheletului uman, cât și a mușchilor și pieii, fiecare aceste componente contribuind la reprezentarea globală a corpului uman.

Utilizarea cunoștințelor de anatomie și biomecanică în modelarea organismului uman pot duce la îmbunătățiri majore în ceea ce privește apropierea de realitate a mecanismelor virtuale. În același timp, tehnicile de animație computerizată extind considerabil posibilitățile de experimentare și investigare a organismului uman. Rezultă astfel că este necesară îmbinarea cunoștințelor de grafică computerizată și medicină.

Dezvoltarea vertiginoasă a tehnologiilor informaționale are implicații profunde asupra evoluției a numeroase domenii, printre care și biomecanica. Realizarea modelelor 3D ale componentelor sistemului musculoscheletal uman prin intermediul unor programe avansate, modelarea cinematică și dinamică a acestora, precum și aplicațiile în domeniul protezării sunt numai câteva exemple.

Teza de doctorat vizează obținerea unor rezultate de ordin teoretic și aplicativ legate de modelarea membrului superior uman, una dintre cele mai complexe părți ale organismului uman, prin parcurgerea etapelor de analiză, elaborare, proiectare, testare și validare a modelelor obținute.

Studiile asupra comportării mecanice vizează corelarea cu aplicațiile posibile din domeniul medical, mai ales în direcția tehnicilor de protezare și recuperare a funcțiilor firești, ținând seama de faptul că în prezent, pe plan internațional, atenția cercetătorilor este îndreptată spre utilizarea tehnicilor de reconstrucție tridimensională în medii virtuale, în scopul pregătirii specialiștilor în chirurgie plastică și recuperatorie. În acest sens se urmărește și crearea unei structuri de bază de date privind deficiențele motorii ale componentelor scheletului uman. Modelele astfel obținute sunt deosebit de utile în simularea fracturilor

precum și în fixarea acestora cu implante și proteze. Modelarea cinematică și dinamică a membrului superior se bazează pe convențiile și metodele de studiu utilizate în robotică.

Tema propusă are implicații profunde atât în domeniul ingineriei mecanice cât și al medicinei și informaticii. Elaborarea unor **modele funcționale** ale membrului superior uman constituie unul dintre obiectivele importante ale lucrării. El se va materializa prin elaborarea:

- ◆ unui **model cinematic complex**, utilizând convenția Denavit-Hartenberg;
- ◆ unui **model dinamic funcțional**, utilizând formalismul Lagrange în care mărimile caracteristice distribuției de mase se determina cu software-ul profesional Solid Works;
- ◆ unei **structuri de bază de date** privind deficiențele motorii ale membrului superior uman, accesul la această bază realizându-se prin Internet pe baza unui nume de utilizator și a unei parole acordată persoanelor cu dreptul de accesare;
- ◆ unui **sistem compact de înregistrare a pacienților**.

Teza de doctorat se structurează pe opt capitole.

Capitolul I prezintă câteva noțiuni introductive legate de tematica lucrării și de conceptele care au stat la baza elaborării ei.

În Capitolul II sunt tratate conceptele fundamentale ale modelării și tehnicile specifice care pot acoperi necesitatea de cunoaștere a domeniului. În formularea acestor teorii se ia în considerare studiul unui anumit aspect din natură, atât în sensul tradițional, prin reprezentarea un model verbal sau matematic, cât și în sensul modern al realității „virtuale”.

În Capitolul III sunt prezentate aspectele anatomice ale organismului uman, fără de care studiul mecanic și funcțional corect al membrului superior uman este imposibil. Conform teoriei modelării, un model se consideră a fi un sistem abstract sau material cu ajutorul căruia pot fi studiate indirect proprietățile unui alt sistem mai complex (sistemul sursă), cu care modelul prezintă o analogie limitată și orientată. Ca urmare el trebuie să reflecte cât mai fidel aspectele esențiale ale sistemului, în cazul de față – membrul superior uman. Tocmai în acest sens cunoașterea aspectelor anatomice și fiziologice ale membrului superior uman sunt deosebit de importante.

În Capitolul IV, pe lângă prezentarea tehnicilor de modelare geometrică, se realizează și o analiză privind aplicarea acestora în modelarea membrului superior. Ținând seama de faptul că cea mai potrivită tehnică de modelare geometrică a corpurilor solide cu forme neregulate este cea prin intermediul curbelor și a suprafețelor obținute din curbe, s-au realizat modele bidimensionale și tridimensionale ale părților membrului superior uman utilizând

programele: AutoCad, MatLab, Spatch, Hamakazu și Solid Works. Pentru comparație se prezintă și două modele obținute prin tomografie computerizată și rezonanță magnetică.

În Capitolul V sunt prezentate aspectele generale privind modelarea cinematică a membrului superior uman, convențiile care stau la baza acestei modelări și aplicarea acestora la un model cu 8 grade de libertate, obținându-se astfel ecuațiile de mișcare. S-a realizat și un model simplificat cu 5 grade de libertate pentru care s-a reprezentat grafic variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de variabilele articulare. Tot pentru acest model s-a reprezentat spațiul sau traiectoria de mișcare a membrului superior în funcție de variația uneia sau mai multor variabile articulare.

În Capitolul VI sunt prezentate structura oaselor și proprietățile mecanice ale acestora, elemente care au stat la baza calculării momentelor de inerție în raport cu principalele axe ale mișcării. Calculul acestor momente pentru modelul membrului superior, s-a realizat în programul Solid Works. Pe baza datelor obținute au rezultat ecuațiile dinamice ale mișcării, iar în MatLab au fost calculate soluțiile acestora.

În Capitolul VII este implementată o structură de bază de date privind deficiențele motorii ale membrului superior uman. Pentru realizarea acestei baze, a fost necesară o clasificare a fracturilor membrului superior, precum și câteva aspecte privind tratamentul acestora. Baza de date a fost realizată în MySQL, iar formularul de introducere în baza de date a elementelor specifice pacientului, diagnosticului, tratamentului, respectiv conținutului consultațiilor, a fost concretizat printr-un formular HTML, accesibil pe Internet printr-un nume de utilizator și o parolă. Legătura dintre cele două se realizează dinamic prin intermediul programului PHP. Baza de date conține, pe lângă elementele de tip text și posibilitatea de introducere a unor elemente grafice.

În Capitolul VIII sunt prezentate concluziile referitoare la tematica abordată în teză precum și câteva direcții de cercetare pentru viitoarele abordări inițiate.

CAPITOLUL II. CONCEPTELE FUNDAMENTALE ALE MODELĂRII

2.1. Apariția metodei modelării

Metoda modelării a apărut după dezvoltarea și structurarea teoriei sistemelor, teorie capabilă să confere aspectului studiat (în general un aspect real din natură), indiferent de domeniul de care aparține, trăsături clare și generale. Astfel, acest aspect este asimilat cu conceptul de sistem. Datele cu care se opera pe treapta de cunoaștere senzorială/empirică devin date de intrare/ieșire ale sistemului studiat. Se deschide astfel și posibilitatea studiului și cunoașterii unor **sisteme virtuale**, prin detașarea acestora de aspectele reale, nemijlocite ale naturii.

Aspectul real sau virtual de studiat este, din punctul de vedere al celui care efectuează cunoașterea, obiectivul sau ținta investigației. Pentru activitățile desfășurate, acesta este însă sursa informațiilor necesare. Din această cauză, obiectivul investigației este denumit **sistem sursă** [74], [75], [76].

Datorită faptului că de cele mai multe ori sistemul sursă este complex, greu abordabil pentru studiu, s-a încercat finalizarea procesului de cunoaștere prin modele ușor de realizat și studiat.

Astfel, modelarea a devenit o nouă metodă de cunoaștere, cu **tehnici specifice**, care poate acoperi într-o nouă abordare, necesitatea de cunoaștere a omului [40]. Din acest punct de vedere, chiar formularea unei teorii asupra unui aspect studiat al naturii, reprezintă un model verbal sau matematic al realității în sens tradițional, sau realitate „virtuală” în forma cea mai modernă.

Inițial, procesul de cunoaștere s-a desfășurat, din punctul de vedere al activităților umane, sub semnul conceptelor de **observare** și **măsurare**. Nu au existat concepte de mare generalitate care să definească aspectul realității care trebuie studiat și nici imaginea acestuia, rezultată în urma activităților desfășurate pentru cunoașterea epistemologică.

Odată cu apariția și structurarea teoriei sistemelor și a teoriei modelării, pe lângă

reconsiderarea obiectivelor și a finalității procesului de cunoaștere (definite drept sistem sursă real și respectiv model al acestuia), se conferă și acestor activități gradul de generalitate necesar în epoca modernă. Concomitent are loc și reconsiderarea esenței sistemului sursă, acesta nemaifiind legat nemijlocit de realitate deoarece **obiectul cunoașterii poate fi virtual**.

Conceptul care, prin conținutul său, are capacitatea să înglobeze activitățile astfel delimitate, este **conceptul de modelare**.

Se poate spune că **identificarea și modelarea** constituie tehnica general utilizată prin care cercetătorii ajung la cunoașterea unui sistem sursă. În această accepțiune se apelează la mijloace și procedee specifice, de regulă sisteme de calcul electronice digitale, care devin **parte a structurii definatorii a teoriei generale a modelării** [76].

Algoritmul general pentru rezolvarea unei probleme cu ajutorul calculatorului (prin modelare și simulare) este prezentat în figura 2.1 [111]. Trebuie evidențiat faptul că o cunoaștere rațională este prezentă implicit în procesele de modelare prin toate metodele ce țin de sfera sa de cuprindere: analiza, sinteza, deducția, inducția și silogismul [132], [133], [135], [136]:

- ◆ **Analiza**, metodă de cercetare care se caracterizează prin aceea că recurge la descompunerea în părți componente ale entităților cercetate;
- ◆ **Sinteza**, metodă de cercetare care se caracterizează prin trecerea de la particular la general, de la simplu la compus, pentru a se ajunge la generalizare;
- ◆ **Deducția**, metodă fundamentală de raționare caracterizată prin trecerea de la general la particular, obținându-se o judecată nouă (numită concluzie) din două sau mai multe judecăți (numite premise), din care una trebuie să fie neapărat universală. Ea acționează în planul conceptelor, concluzia decurgând cu necesitate din premise;
- ◆ **Inducția**, metodă fundamentală de raționare caracterizată prin trecerea de la particular la general, de la consecință la principiu, de la efect la cauză, de la fapte la concepte. Inducția este de două feluri: completă sau incompletă, după cum se enumeră sau nu toate cazurile posibile;
- ◆ **Silogismul**, tip fundamental de raționament deductiv, alcătuit din trei judecăți: premisa majoră, care conține predicatul concluziei (termenul major), premisa minoră, care conține subiectul concluziei și concluzia, derivată cu necesitate din ele. Legătura dintre termenii major și minor este mijlocită de termenul mediu, care figurează în ambele premise, dar nu și în concluzie.

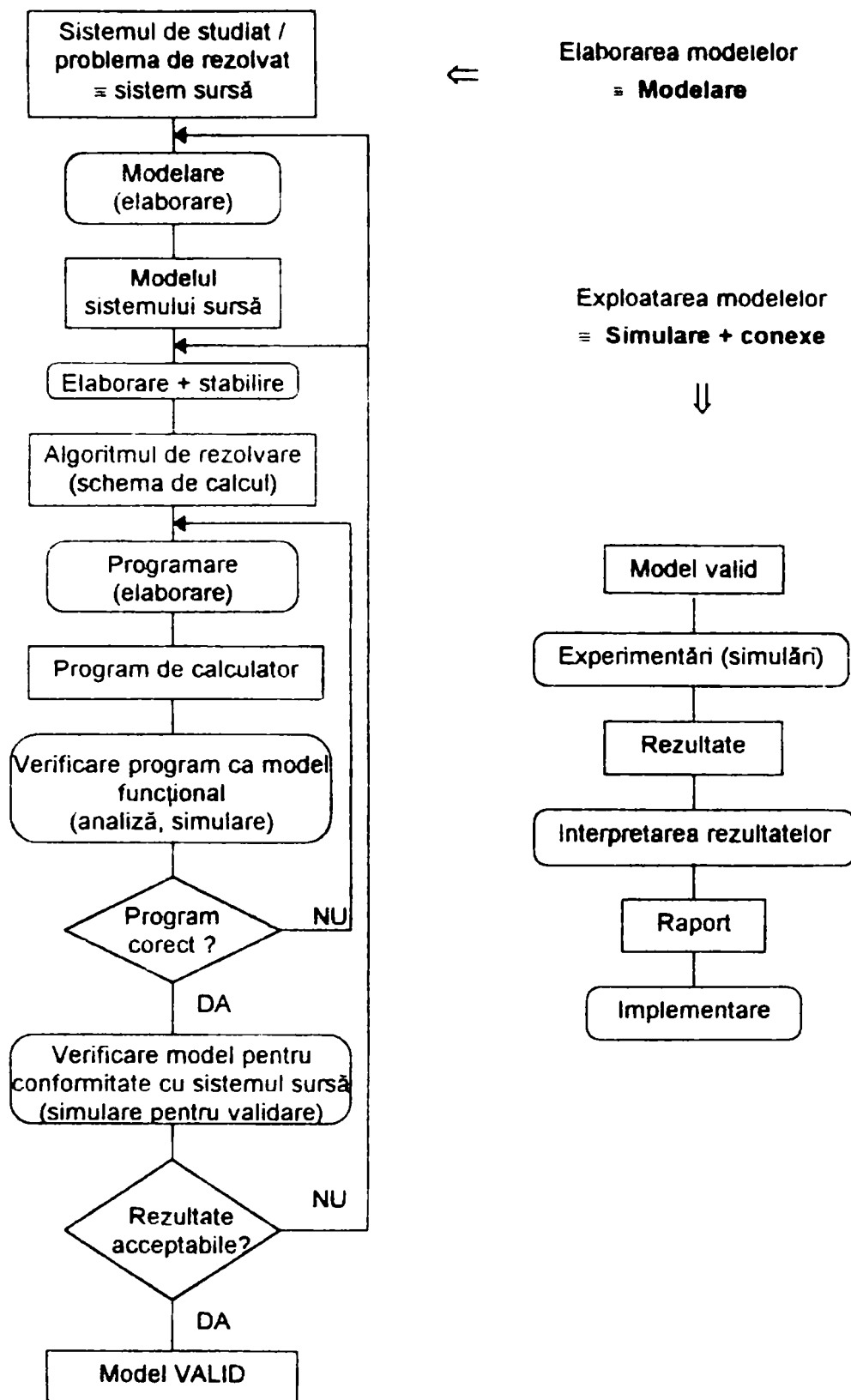


Fig. 2.1. Algoritm general de modelare

2.2. Conceptul de model

În cadrul teoriei generale a modelării se operează cu conceptul de sistem, modelarea propriu-zisă constituind ansamblul activităților prin care, pentru un anumit scop determinat, un **sistem sursă** este înlocuit de un **sistem model** echivalent din anumite puncte de vedere, sistemul sursă putând fi **real** sau **virtual**.

Prin **sistem** se înțelege o mulțime ordonată și structurată de elemente între care există conexiuni bine determinate. Sistemul este delimitat de mediu prin entitatea **frontieră**, caracterizată prin relații de intrare/ieșire, concretizarea acestora efectuându-se cu ajutorul unor parametri.

Modelul este un sistem abstract sau material cu ajutorul căruia poate fi studiat indirect un alt sistem, de regulă mai complex (sistemul sursă), cu care modelul prezintă o analogie.

Toate problemele legate de activitățile denumite uzual activități de modelare-simulare constituie obiectul de studiu al **teoriei generale a modelării**, care conferă un sens bine determinat activităților propriu-zise de modelare (construcție a modelului) și simulare, delimitându-le de cele de alt tip. Deoarece noțiunea de modelare are mai multe sensuri, este necesară precizarea diferitelor accepțiuni ale noțiunii de model, precum și evoluția în timp a acestora.

Termenul de **model** provine de la latinescul *modulus*, diminutiv al lui *modus* = măsură. Inițial, acest termen era utilizat de arhitecți pentru a desemna unitatea arbitrară ce servea la stabilirea raporturilor dintre diferitele părți ale unei opere arhitectonice. De-a lungul timpului, termenul *modulus* a suferit modificări, devenind în vechea franceză *moule*, în engleza veche *mould*, ambele însemnând matriță, iar în germana veche *model*. În secolul al XVI-lea statuarii francezi au adoptat termenul de *modèle* de la italianul *modello*, ce provenea de la rădăcina latină amintită [96]. În germana actuală coexistă cele două cuvinte, iar în franceză există *moule*, *modèle* și *module*. În germană, *model* înseamnă *modul*, *tipar*, *matriță* [71].

Se remarcă faptul că, încă de la început, sensul termenului de **model** oscila între **abstract** și **concret**; iată câteva exemple:

- model – în sens de machetă a unei construcții;
- model – în sens de analogie: modelul planetar al atomului;
- model – în sens de sistem experimental: modelul de transport transepitelial – „piele de broască”.

Actualmente, în domeniul tehnico-științific, modelul se consideră a fi un sistem abstract sau material cu ajutorul căruia pot fi studiate indirect proprietățile unui alt sistem mai complex (sistemul sursă), cu care modelul prezintă o analogie limitată și orientată [11].

Modelul este deci, o reprezentare a aspectelor esențiale ale unui sistem (existent sau virtual). Necesitatea construcției modelului este determinată de cele mai multe ori de necesitatea studiului, construcției sau conducerii unui sistem (real sau virtual), în condițiile imposibilității efectuării acestor activități asupra sistemului dat, din motive economice, ecologice, de complexitate, de accesibilitate, de periculozitate, etc.

De exemplu, modelul matematic al unui sistem este un ansamblu de relații matematice, ecuații și inecuații, care caracterizează și descriu interdependențele dintre parametrii constructivi și funcționali ai sistemului [120].

Sistemul, real sau virtual, de la care se pornește este sursa informațiilor necesare modelării și este numit **sistem sursă**.

Definirea modelului trebuie să țină seama de următoarele aspecte:

- ★ construcția modelului trebuie făcută printr-o reprezentare simplificată, oferind deci și posibilități de studiu mai simple pentru utilizatorul acestuia;
- ★ în cadrul acestei reprezentări, deseori se consideră necesară relevarea trăsăturilor caracteristice, care diferențiază sistemul studiat de alte sisteme;
- ★ reținerea doar a acelor trăsături care sunt adecvate scopului.

Construirea modelelor și simularea se constituie în metode moderne, cvasigeneralizate de cunoaștere a unor sisteme sursă, cu tehnici, procedee și mijloace specifice.

Modelul poate fi considerat el însuși un sistem, care evidențiază și reprezintă aspectele esențiale ale unui sistem sursă, aspecte care relevă cunoștințele asupra acestui sistem sub o formă utilizabilă.

Pe baza celor cunoscute din teoria sistemelor [27], [129], este evident că, dacă sistemul sursă S are structura $\langle U, X, Y, d, l, t \rangle$ (U, X, Y – mulțimile variabilelor de intrare, de stare și de ieșire, d – funcție a tranziției de stare, l – funcție de ieșire, t – timpul), atunci modelul lui S este doar un alt sistem S' cu structura $\langle U', X', Y', d', l', t' \rangle$, utilizat drept înlocuitor al lui S pentru anumite scopuri specifice. Teoria modelării optează pentru cele mai potrivite relații, din varietatea celor posibile între aceste două sisteme, în vederea realizării scopului propus. Aceste relații oglindesc echivalența dintre aceste două sisteme, reprezentată printr-o funcție matematică stabilită pe baza unui criteriu, a pierderilor, sau a erorii. **Echivalența** dintre sistemul sursă și modelul său se exprima astfel:

$$E_c = E'(y, ym) \quad (2.1)$$

unde:

- E_c este echivalența,
- y și ym - ieșirea sistemului, respectiv a modelului.

Prin analiza echivalenței se pot trage concluzii asupra gradului de fidelitate cu care modelul oglindește sistemul sursă.

Analiza modelelor se va realiza exclusiv prin prisma posibilităților de oglindire a sistemului sursă (prin calitatea sa de a fi model propriu-zis).

Marea varietate a problemelor ce pot fi abordate prin diferite metode a generat elaborarea unor modele dintre cele mai diverse și destul de greu de clasificat. Din acest motiv, în afara criteriilor ce urmează a fi prezentate în continuare [112], pot exista și altele, funcție de specificitatea domeniului din care face parte sistemul sursă.

1. Funcție de **materialitatea** lor, modelele pot fi:

A. **Modele abstracte** (teoretice, matematice) care pot fi la rândul lor diferențiate funcție de modul de abordare de către modelator și de profunzimea cunoștințelor sale despre sistemul sursă:

a) funcție de *forma de prezentare* și anume:

- prin relații matematice:

- matematic-analitice, la care sunt luate în considerare cunoștințe despre proprietățile sistemului sursă atât din punct de vedere calitativ, cât și cantitativ;
- matematic-analogice, care utilizează o presupusă analogie cu un sistem cu legi fizice cunoscute, caz în care modelul se bazează pe un ansamblu de ipoteze din care pot fi deduse consecințe comportamentale ale modelului;

- prin mulțimi de date de intrare și de ieșire, corelate între ele;

- descriptivă, legată într-o anumită măsură și de o prognoză comportamentală, destinată să explice comportamentul sistemului sursă (este cel mai des utilizată în medicină);

b) funcție de *aspectul sistemului sursă*:

- modele la care se urmărește compoziția, structura internă a sistemului de modelat (model conceptual) – fixează legăturile cu caracter de legitate între variabilele caracteristice sistemului sursă;

- modele la care interesează doar comportamentul, în sensul cunoașterii intrărilor și ieșirilor corespunzătoare ale sistemului (model informațional) - la construirea modelului se ține cont doar de informații, sub forma unor valori concrete ale unor variabile de intrare/ieșire;
- modele hibride, la care participa ambele aspecte.

B. **Modele materiale** (fizice, concrete, substanțiale, replici) care permit rezolvarea pe cale experimentală a unor probleme ce nu pot fi rezolvate pe cale analitică, logico-matematică, fie datorită necunoașterii metodelor de calcul adecvate, fie datorită gradului mare de complexitate a acestora, conducând la activități mult prea laborioase și costisitoare.

Funcție de **natura** acestor modele, se disting:

a) modele *similare*, de aceeași natură cu sistemul sursă, care diferă de acesta din urmă doar prin numărul sau valoarea dimensiunilor sau caracteristicilor; se bazează pe teoria similitudinii, fiind utilizate frecvent în inginerie (construcții de clădiri, construcții de mașini, hidrotehnică etc.);

b) modele *analoage*, bazate pe fenomene diferite de cele din sistemul sursă, dar la care relațiile matematice care descriu comportamentul modelului au aceeași formă cu cele care guvernează sistemul sursă.

2. Funcție de **posibilitatea de structurare de modele elementare** (subsisteme-model), modelele pot fi:

A. *sintetice*, la care sunt prezentate proprietățile relevante într-un tot cvasiunitar;

B. *structurate* (modulare), constituite dintr-unul sau mai multe modele elementare, acestea din urmă relevând și considerând determinant doar un singur aspect al structurii sau comportării.

3. Luând în considerare numai **modelele matematice**, o clasificare a acestora se poate face după următoarele criterii [108], [120]:

A. După **structura sistemului** (procesului) există:

- *modele continue* – variabilele sunt continue; descrierea se face prin funcții continue;
- *modele discrete* – variabilele modelului sunt discontinue; descrierea se face prin șiruri.

B. După **tipul de relație dintre variabilele de intrare și cele de ieșire** se pot menționa:

- *modele deterministe* – în care o anumită intrare produce întotdeauna aceeași ieșire;
- *modele stohastice* – în care o anumită intrare poate produce diferite ieșiri cu diferite probabilități;

- **modele stohastice structurate** – în care se combină elemente deterministe cu elemente aleatoare.

C. După **modul de obținere a relațiilor între mărimile de intrare și cele de ieșire** există:

- **modele teoretice** (mecaniciste) – construcția lor pornește de la mecanismul desfășurării procesului utilizând teorii din fizică, chimie, matematică etc.;

- **modele empirice** – se bazează pe stabilirea unor relații matematice simple, bazate pe corelarea datelor experimentale, prin care să se obțină o „potrivire” între predicțiile modelului și realitate.

D. După **algoritmul** folosit pentru calculul mărimilor de ieșire se creează modele:

- obținute prin rezolvarea unor ecuații **analitice**; în cadrul acestora modelele empirice și unele teoretice pot conduce la un sistem de ecuații ce descriu analitic evoluția sistemului, starea sistemului la un moment dat poate fi calculată direct din starea inițială a sistemului, programul de simulare având ca sarcină trasarea graficelor ce rezultă din aceste ecuații;

- obținute prin rezolvarea unor ecuații **diferențiale** prin utilizarea unor metode iterative; starea sistemului la un moment dat poate fi calculată numai calculând toate stările intermediare prin care a trecut sistemul;

- **probabilistice** – ce utilizează modele stohastice, specific acestor modele este modul de introducere al caracterului aleator;

- **fuzzy** – bazate pe teoria mulțimilor fuzzy.

E. După **aspectul modelat simulat** există:

- **modele de structuri** – prin care se generează o structură sau se compară structuri;

- **modele de funcție** – prin care se urmărește un proces cu desfășurare în timp.

F. După **desfășurarea în timp** se pot preciza:

- **modele statice**, care urmăresc modelarea unei stări a sistemului la un moment dat;

- **modele dinamice**, care urmăresc evoluția în timp a unui sistem.

G. După **modul de prezentare a rezultatelor**, ieșirile pot avea formă:

- **numerică** (tabele);

- **grafică**.

Principiile generale care stau la baza descrierii unui model constau în stabilirea:

- ✓ sistemului și procesului modelat;
- ✓ variabilelor independente;
- ✓ relațiilor dintre variabile;

- ✓ mărimilor de intrare și de ieșire;
- ✓ valorilor inițiale și estimarea unor parametri;
- ✓ modului de prezentare al rezultatelor;
- ✓ modului de validare.

În cadrul operațiilor de modelare, unul dintre cele mai eficiente și sugestive instrumente de lucru este **reprezentarea grafică**. Funcție de nivelul de abordare a sistemului aflat în studiu, reprezentările grafice au un conținut diferit, conținut oglindit și în denumirea următoarelor tipuri de reprezentări:

- ✓ **scheme funcționale**: sunt cele mai apropiate de realitate și conțin prezentarea schematică, în conformitate cu convențiile domeniului de care aparține sistemul, a componentelor tehnice ale acestuia, care prin legăturile relevate, oglindesc funcționarea sistemului;
- ✓ **scheme bloc**: relevă prin blocuri funcționale elementele sistemului, iar prin linii orientate și notate, legăturile dintre acestea;
- ✓ **grafuri**: constau dintr-o succesiune de noduri și arce orientate, nodul reprezentând mărimea care transmite informația, iar arcul orientat, relația de transformare;
- ✓ **scheme de principiu**: constau din blocuri geometrice care reprezintă subansamble ale sistemului, legate prin segmente orientate care reprezintă interacțiunile.

În concluzie:

1. Pentru abordarea cu succes a tuturor problemelor teoriei generale a modelării trebuie fixate conceptele de **sistem** și **model**.

2. Modelele sunt utilizate la ora actuală în toate disciplinele științifice. Un **proces de modelare fidelă** apelează la tot ceea ce reprezintă izvoare filozofice ale cunoașterii umane pe de o parte, și mijloacelor abordării raționale, pe de alta parte.

3. Generalizarea utilizării modelelor se datorează, în principal, următoarelor **avantaje**:

- ✓ au o accesibilitate pentru studiu mai ridicată decât a sistemelor sursă;
- ✓ necesită costuri mai mici pentru realizare și testare;
- ✓ necesită mai puțin timp pentru realizare și testare;
- ✓ schimbările în structura modelului sunt mai ușor de implementat;
- ✓ schimbările de comportament sunt mai simplu de izolat, înțeles și comunicat;
- ✓ permit, fără probleme, experimentări, indiferent de pericolozitatea mediului în care ființează sistemul sursă;

- ✓ pot oferi informații și asupra unor sisteme care nu sunt realizate, sau nu pot fi executate cu tehnologiile existente.

4. Rolul **teoriei generale a modelării** constă în a oferi o înțelegere logică și axiomatică a conceptelor care sunt comune și general valabile, pe baza cărora fiecare disciplină și-a dezvoltat propriile modele și abordări pentru oglindirea domeniului de interes specific.

5. În unele discipline clasice apar domenii noi, care dau **noi interpretări** conceptelor clasice.

2.3. Conceptul de modelare

În sens restrâns, **modelarea** reprezintă activitatea de elaborare propriu-zisă a modelului unui sistem sursă, activitățile desfășurate în acest scop fiind materializate și prin:

- ★ tehnici și proceduri de identificare;
- ★ tehnici de simulare;
- ★ tehnici și proceduri complementare.

Etapele prin care se realizează, la modul clasic, modelarea în sens restrâns sunt, în general, următoarele:

a) **construirea modelului** pe baza:

- analizei preliminare a sistemului sursă în vederea evidențierii parametrilor relevanți și a legăturilor funcționale dintre ei;

- stabilirii unei structuri a modelului;

- stabilirii valorilor parametrilor definatorii ai modelului;

b) **analiza modelului**, prin simulare;

c) **compararea rezultatelor analizei** cu datele de comportare a sistemului sursă în condiții echivalente;

d) **corectarea modelului**, în sensul apropierii comportamentului de cel al sistemului sursă.

Activitățile propriu-zise pe care le desfășoară investigatorul țin, în mare măsură, de identificare.

Astfel, în sens mai larg, prin **modelare** se înțelege metoda de studiu bazată pe utilizarea modelelor, metoda la care apelează, la ora actuală, cvasitotalitatea cercetătorilor din toate domeniile tehnice.

O tendință nouă în abordarea teoriei modelării constă în reconsiderarea rolului conferit mijloacelor cu ajutorul cărora se desfășoară majoritatea activităților legate de modelare. Se distinge în acest sens, teoria modelării drept o structură coerentă alcătuită din cinci elemente de bază, elemente interconectate prin așa-numitele relații de modelare specifice (figura 2.2). Această structură integrează în mod natural calculatorul, fără de care nu se pot imagina procesele de modelare [112].

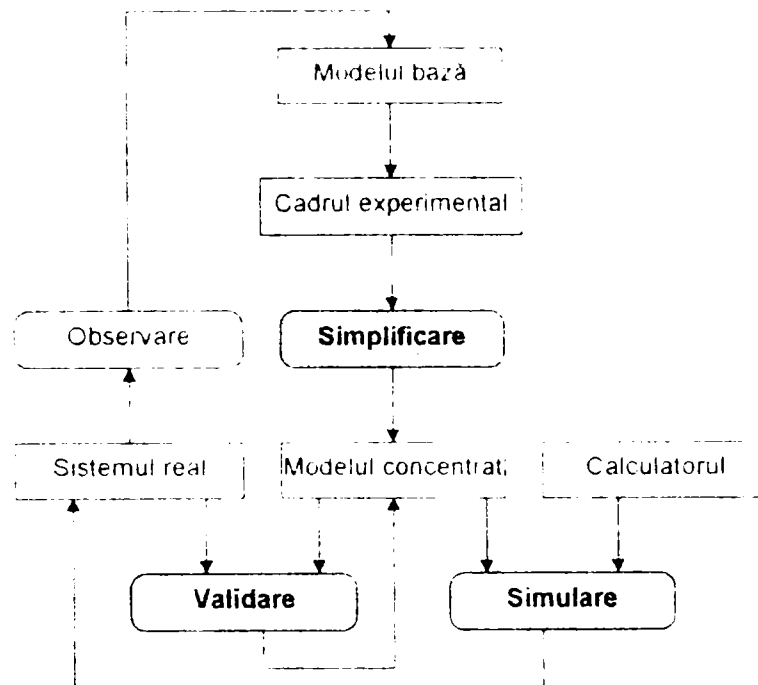


Fig. 2.2. Abordarea structurală a teoriei modelării

Elementele de bază ale teoriei modelării sunt definite cu ajutorul conceptelor din teoria sistemelor și constau din [27], [47],[129]:

1. **Sistemul real** (echivalentul sistemului sursă), care constituie sursa datelor observabile, care sunt, de cele mai multe ori, perechi de date intrare/ieșire ($u(t)$, $y(t)$).

2. **Modelul-bază**, care constituie imaginea sau modelul mental prin care investigatorul percepe sistemul real. Este un sistem capabil să redea, în ultimă instanță ipotetic, întregul comportament al acestuia. Complexitatea mare a sistemului real determină o complexitate similară a modelului-bază. De obicei, costurile de realizare a acestuia sunt prohibitive, durata nedeterminată, iar dificultățile de realizare insurmontabile. Practic, din această cauză, structura modelului de bază este, în cel mai bun caz, parțial cunoscută de către investigator.

3. **Cadrul experimental** reprezintă mulțimea de circumstanțe limitate în domeniul cărora sistemul real va fi observat și înțeles cu scopul de a se executa modelarea. El reprezintă o mulțime restrânsă a mărimilor comportamentale de ieșire.

4. **Modelul concentrat** este conceptul cel mai apropiat de cel de model propriu-zis din abordarea clasică, tradițională. El reprezintă sistemul capabil să reproducă comportamentul la ieșire al sistemului real prin prisma limitărilor impuse de cadrul experimental. Este de fapt o simplificare explicită și realizare parțială a modelului de bază. Structura sa este complet cunoscută de către investigator.

5. **Calculatorul** este mijlocul cu ajutorul căruia este generat comportamentul modelului concentrat. Pentru modele mai complexe, uneori, calculatorul poate necesita generarea unor abordări individuale pas cu pas, algoritmul fiind bazat pe instrucțiuni furnizate de model. Acest proces pas cu pas este asociat din ce în ce mai des cu conceptul de simulare.

Relațiile de modelare sunt stabilite prin teoria modelării, între elementele de modelare, după cum urmează:

1. **Validarea** - conține relațiile dintre model și sistemul real. Obiectivul validării îl constituie asigurarea faptului că modelul urmărește sistemul real, de fapt constatarea că acele concluzii rezultate din operarea modelului sunt concluzii rezonabile pentru sistemul real. Modelul de bază este deplin valid dacă reproduce cu fidelitate comportamentul sistemului real în toate cadrele experimentale. Pe de altă parte, modelul concentrat este valid dacă urmărește cu fidelitate sistemul real prin acel cadru experimental pentru care a fost definit. Pot exista mai multe modele concentrate valide, iar fiecare dintre aceste modele concentrate poate fi valid doar într-un cadru experimental determinat și nu în altele.

Validarea modelelor este un demers dificil, existând mai multe niveluri diferite de validare și respectiv interpretări diferite ale validării. Pot fi oferite, spre exemplificare, mai multe **forme de validare**:

- ✓ modelul are validitate aparentă dacă este acceptat drept rezonabil de către cercetătorii avizați asupra sistemului în cauză;
- ✓ modelul este valid la modul replicativ dacă traiectoriile sale urmează datele de intrare/ieșire ale sistemului real;
- ✓ modelul este predictiv valid dacă traiectoriile sale urmează date experimentale care nu au fost utilizate în realizarea sa;
- ✓ modelul este structural valid dacă este comportamental valid și dacă urmează structura modelului de bază, mai exact, dacă are comportamentul generat în cadrul său

experimental într-un mod substanțial asemănător cu cel despre care se crede că va fi generat de sistemul real.

2. **Simplificarea** - conține relațiile dintre modelul de bază și modelele sale concentrate asociate. Obiectivul simplificării este realizarea celui mai eficient model concentrat în interiorul cadrului experimental pentru care a fost definit. **Simplificarea** se poate efectua în diferite moduri și presupune:

- ✓ renunțarea la variabilele relativ ne semnificative și la structurile asociate acestora;
- ✓ înlocuirea variabilelor și structurilor deterministe cu variabile aleatoare și funcțiile lor generatoare;
- ✓ structurarea unui șir de variabile descriptive;
- ✓ agregarea variabilelor și structurilor descriptive în blocuri general funcționale.

3. **Simularea** - conține relațiile dintre model și calculator. Obiectivul simulării este asigurarea că mijlocul de calcul reproduce cu fidelitate comportamentul indus de model. Comportamentul modelului concentrat trebuie să ofere posibilitatea distincției dintre modelul bază și cel rezultat în urma implementărilor computerizate sau soluțiilor sale, în același mod în care comportamentul sistemului real poate fi deosebit prin validitatea modelelor sale. Ideile formale asociate cu simularea includ atât consistența cât și ambiguitatea implementărilor prin calculator. Procesul de simulare cu modelul concentrat poate fi o verificare. Multe dintre tehnicile utilizate la validarea modelelor sunt de asemenea utilizate și la verificarea simulărilor.

Modelarea reprezintă o metodă de cercetare din ce în ce mai folosită, utilă atât din punct de vedere teoretic, cât și prin aplicațiile posibile. Câteva dintre acestea sunt:

1. **Proiectarea experimentelor** considerată ca o aplicație majoră; se simulează evoluția posibilă a unui sistem (biologic, de exemplu) într-un set de condiții date, statice sau dinamice, în cadrul unor mecanisme ipotetice date. Se pot astfel estima dimensiunile unui lot experimental sau găsi condiții experimentale în care putem face distincție între două modele.

2. **Verificarea unor ipoteze** reprezentând confruntarea modelului (rezultatelor simulării) cu realitatea (datele experimentale).

3. **Determinarea unor parametri**, impusă de faptul că uneori un parametru este inaccesibil unor măsurări directe sau este foarte dificil sau scump de determinat. Pe baza unui model acceptat în care se cunosc cei $n-1$ din n parametrii utilizați, se simulează evoluții prin diferite valori posibile ale parametrului necunoscut și se consideră ca probabile valorile ce conduc la evoluția reală.

4. **Prognoza** ce permite ca pe baza unui model, verificat, să se poată estima stările viitoare ale sistemului (de exemplu studii epidemiologice).

5. **Aprofundarea fenomenului** impusă de faptul că reuniunea cunoștințelor despre un proces nu este o operațiune simplă, pentru foarte multe procese, nefiind cunoscute toate datele, astfel încât realizarea modelului impune o cunoaștere detaliată a fenomenului. Prin simulare se poate obține o aprofundare suplimentară, observând ponderile diferiților factori implicați și uneori chiar comportări deosebite ale sistemului, în diferite condiții.

6. **Aplicații didactice** care provin din observația că modelarea reprezintă o modalitate formală generatoare de analogii și abstractizări și deschizătoare de drumuri spre generalizări. Numeroasele posibilități de reprezentare a rezultatelor (grafice, structuri etc.) contribuie atât la aprofundarea unui fenomen, cât și la fixarea cunoștințelor.

2.4. Particularități ale modelării în biomecanica sistemului osteoarticular

Cercetarea sistemului osteoarticular al organismului uman sub aspect mecanic se poate face cu succes utilizând metodele ingineresti clasice și moderne, de calcul și experimentale. Astfel, sistemul osteoarticular poate fi privit de către inginer ca fiind o structură spațială deformabilă, având o complexitate apreciabilă în ceea ce privește geometria, proprietățile elastice și sarcinile.

În vederea elaborării unui model eficient, în orice problemă de biomecanică trebuie ca pe baza analizei datelor cunoscute în legătură cu fenomenul care interesează precum și în funcție de scopul urmărit, să se facă o sinteză a modelului care să țină seama de următoarele aspecte [3], [69], [70], [84], [85], [99]:

- ◆ dacă modelul este static, cinematic sau dinamic, adică dacă interesează solicitările, eforturile, tensiunile, deformațiile, deplasările sub diverse sarcini statice sau dinamice, sau legile de mișcare ale diverselor componente, în diferite situații;
- ◆ dacă geometria modelului este plană sau spațială; modelul poate fi realizat la scară în toate detaliile sau poate fi distorsionat, adică unele detalii sau dimensiuni pot fi executate la altă scară decât restul modelului;
- ◆ dacă materialul din care este realizat modelul este natural, caz în care se utilizează un preparat anatomic, o masă plastică, un material metalic sau combinații ale acestora;
- ◆ rezemarea și încărcarea modelului trebuie realizate în condiții cât mai apropiate de cele reale, pentru situația studiată.

Deși modelarea în biomecanica sistemului osteoarticular se supune aceluiași legi și principii generale care se utilizează în inginerie, totuși trebuie avut în vedere că există și unele deosebiri care limitează posibilitățile acestei metode de cercetare. Astfel, în biomecanică, rareori și numai într-o mică măsură, se pot verifica rezultatele obținute prin studiul unui model, cu cele obținute pe sistemul original, care este organismul uman. O suplینire a acestui inconvenient se poate face prin efectuarea de studii comparative, pe diverse variante de modelare a fenomenului real. Deși fiecare model este obținut prin simplificarea fenomenului original, diverse variante sunt comparabile între ele, comparația putând servi la optimizare.

Un model trebuie astfel proiectat și investigat încât să poată determina în anumite limite de precizie, comportarea sistemului original. În anumite cazuri nu este necesar ca modelul să fie realizat la scară exactă după prototip și nici să existe asemănare generală între ele. Legătura dintre comportarea modelului și cea a prototipului nu este neapărat necesar să fie simplă, dar calculele de trecere de la model la prototip și invers trebuie să fie mai simple decât cele necesare pentru o soluționare analitică a problemei.

Tipurile de modele utilizate pentru sistemele mecanice pot fi [77]:

- *model mecanic realizat la scară geometrică exactă*, mai mic, mai mare sau de aceeași mărime cu sistemul original;
- *model mecanic realizat în condiții speciale de modelare, fără o scară geometrică exactă*; abaterile de la scara exactă pot fi determinate de influența mică a anumitor particularități ale modelului asupra comportării acestuia, de o eroare acceptabilă în comportarea estimată a prototipului, de posibilitatea efectuării unor corecții care să țină seama de diferența dintre comportarea modelului și cea a prototipului;
- *model constând dintr-un sistem total nesimilar cu proiectul*, cum ar fi un model electric; condițiile de modelare impun ca modelului electric să îi corespundă aceleași relații matematice ca și prototipului mecanic; în acest caz se spune că modelul electric este o analogie a sistemului mecanic original;
- *sistem tip calculator* care conține elemente ce pot fi dispuse astfel încât să îndeplinească operațiile matematice indicate de ecuațiile comportării prototipului;
- *diferite combinații* ale tipurilor precedente.

Avantajele cele mai importante care rezultă din utilizarea rațională a tehnicii modelării sunt următoarele:

- ◆ modelul poate fi realizat la o scară convenabilă, mai mic sau mai mare decât prototipul; în biomecanică, când nu se pot face determinări în vivo, modelul este singura alternativă;
- ◆ modelul poate fi proiectat altfel încât determinările efectuate pe el să fie mai simple decât cele efectuate pe prototip; determinările pe model pot fi repetate de câte ori este necesar;
- ◆ adesea se pot concepe modele cu formă mai simplă decât prototipul, la care controlul și variația diversilor parametri pot fi simplificate, ceea ce deschide perspectiva înțelegerii mecanismelor intime ale fenomenului investigat.

Dezavantajele și limitările tehnicii modelării sunt:

- ◆ uneori este imposibilă elaborarea unor modele care să fie similare cu prototipul în toate privințele; în aceste cazuri trebuie să existe certitudinea că elementele sistemului care nu sunt modelate corect nu influențează mult rezultatele cercetării;
- ◆ numai în puține cazuri este posibil să se reproducă pe un model la scară redusă toate detaliile structurale ale prototipului, trebuie avut în vedere ca aproximările să nu reducă precizia rezultatelor sub nivelul admis;
- ◆ pe modelele la scară redusă se poate ajunge în situația de a obține greu precizia necesară pentru determinările experimentale.

Teoria modelării cuprinde în afara aspectelor calitative prezentate mai sus, și un ansamblu de legi, teoreme și relații de calcul care exprimă cantitativ legăturile biunivoce care există între valorile mărimilor determinate pe model și ale celor determinate pe prototip sau invers.

În anumite situații, dictate mai ales de necesitatea realizării unei reproductibilități satisfăcătoare a condițiilor de încercare pe un număr relativ mare de modele, se realizează un mulaj după un os natural și apoi se execută din masă plastică, metal sau alt material numărul dorit de modele identice.

Modelarea încărcărilor sistemelor biomecanice trebuie să aibă în vedere o multitudine de factori și condiții. Pentru problemele statice, care urmăresc obținerea unei imagini globale a stării de tensiune dintr-un model al unei substructuri sau al unui element al sistemului osteoarticular, se vor aplica sarcini relativ mari. În aceste condiții greutatea proprie a osului, mușchilor și sângelui poate fi neglijată. Marea majoritate a oaselor lungi ale scheletului uman sunt supuse unor sarcini relativ mari care se aplică la capetele osului, capete care sunt prinse în articulații. În secțiuni intermediare ale osului se mai pot aplica forțe provenind din acțiunea

mușchilor și ligamentelor. O modelare precisă a încărcării este foarte greu de realizat, deoarece articulațiile sunt structuri complexe, cu geometrie spațială complicată în care conlucrează ligamente, mușchi, cartilaje, lichidul sinovial etc.

Variabilitatea naturală a geometriei și a proprietăților mecanice ale sistemului osteoarticular, de la individ la individ, este unul dintre aspectele care generează dificultăți suplimentare apreciabile în realizarea cercetărilor de biomecanică și care trebuie luat în considerare întotdeauna. Câteva dintre problemele modelării legate de geometria și structura oaselor [4], [5], [24], sunt:

- Marea majoritate a elementelor osoase au forme geometrice complicate, dezvoltate în spațiu. În vederea reproducerii cât mai exacte a acestor forme se folosesc modele naturale prelevate de la cadavre. Pentru realizarea unor modele de calcul este necesară determinarea efectivă, cantitativă, cât mai precisă a geometriei osului, prin măsurarea coordonatelor spațiale într-un număr cât mai mare de puncte. Această operație este laborioasă și presupune existența unor dispozitive, instalații și aparate de măsură adecvate.
- Materialul din componența oaselor este neomogen și anizotrop. Oasele au o structură foarte complexă. Ele au un strat exterior din material dur și compact sub care se găsește un strat spongios; straturile sunt astfel aranjate încât să prezinte o rezistență maximă față de solicitările întâlnite în mod obișnuit. Cercetările au arătat că rezistența mecanică a unui os nu depinde atât de cantitatea de țesut osos, cât de felul în care acest țesut este distribuit [17], [34], [99], [100].
- Comportarea statică și dinamică a sistemului musculoscheletal depinde atât de solicitările la care este supus, cât și de specificul fiecărui individ. Dimensiunile, forma, caracteristicile mecanice, constantele elastice, constantele fizice, etc. ale unui sistem biologic diferă foarte mult de la un individ la altul, funcție de o multitudine de factori, dintre care cei mai importanți sunt: vârsta, sexul, talia, profesia, starea fiziologică momentană, condițiile de mediu. Chiar pentru același individ pot exista diferențe între diferitele componente ale sistemului osteoarticular. O consecință directă a acestui fapt este că cercetările experimentale trebuie efectuate pe un număr mare de modele individuale, iar rezultatele obținute este necesar să fie selectate și prelucrate statistic, în vederea formulării unor concluzii general valabile, corecte și cu un nivel de încredere satisfăcător [99], [100].

CAPITOLUL III. ASPECTE ANATOMICE ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

În scopul realizării cât mai exacte a modelului membrului superior uman precum și a studiului comportării cinematice și dinamice a acestuia, este necesară atât cunoașterea anatomiei membrului superior uman cât și caracteristicile morfofuncționale ale acestuia.

Organismul uman este un agregat format dintr-un număr mare de celule organizate la rândul lor în diverse structuri funcționale ca de exemplu țesuturi, organe, aparate și sisteme. El este un sistem biologic deschis, alcătuit la rândul său din subsisteme. Trăsătura dominantă a organismului, atât ca întreg (sistem biologic), cât și a părților sale componente, o constituie unitatea indisolubilă între structură și funcție [70].

Scheletul membrului superior este componentă a aparatului locomotor. Aparatele sunt grupări de organe cu funcție principală comună, deși structura lor morfologică este diferită [100]. Ele sunt unități funcționale ale corpului, de unde le derivă și denumirea. Aparatul locomotor este alcătuit din oase, articulații și mușchi, cu funcțiile principale de susținere a corpului și de locomoție.

Filogenetic, se știe că apariția membrilor superioare și a celor inferioare a fost determinată de trecerea la viața terestră și locomoția pe sol. În evoluția și specializarea membrilor au intervenit mai mulți factori, printre care se numără: căutarea și pregătirea hranei, fuga de pericol, fabricarea uneltelor de muncă și numeroase alte condiții de adaptare la viața pe uscat.

În acest sens, *membrele superioare* care, pe trepte filogenetice inferioare, participau îndeosebi la sprijinirea și deplasarea corpului, la strămoșii patrupezi mai apropiați ai omului, au început a se elibera de sol. Ele s-au transformat morfofuncțional, prin trecerea de la poziția verticală, în *organe de prehensiune și agățare*, funcții care presupun o mare mobilitate și care, pe lângă opozabilitatea policelui, au concentrat, la nivelul mâinii cea mai mare parte a receptorilor de tact. Mâna devine astfel principalul organ tactil al omului, dar și un instrument al muncii, care alături de alți factori, a contribuit la umanizare. Transformările produse la nivelul membrilor superioare se reflectă în așezarea și articularea între ele a oaselor centurii scapulare și extremităților libere a membrilor superioare, în modul de articulare al oaselor

centurii scapulare cu trunchiul, în conformația și stratigrafia regiunilor topografice, în traiectul mănunchiurilor vasculo-nervoase etc. În acest cadru un loc important îl ocupă articulația umărului. Cerința unei mai mari mobilități a determinat o structură particulară a acestei articulații, iar așezarea ei la suprafață este o caracteristică particulară a omului. Ea este o articulație de tip sferic, cu conducere musculară și cu cea mai mare mobilitate, în comparație chiar cu alte articulații de același tip. Amplitudinea mișcărilor extremității libere a membrului superior și deci și sfera de activitate a mâinii se mărește prin participarea articulațiilor centurii scapulare și a tipului particular de legătură a scapulei cu trunchiul, prin mușchi. Extremitatea liberă a membrului superior prezintă o dinamică complexă la baza căreia stă întregul sistem muscular al membrului superior și parțial a trunchiului. *Pronația și supinația* au atins gradul cel mai înalt la maimuță și om. Acești factori au determinat dezvoltarea deosebit de bogată a inervației și dispozitivului vascular al membrului superior. Un exemplu îl constituie rețeaua vasculară, cu multiple posibilități de circulație colaterală în caz de obstrucție a trunchiurilor vasculare principale [5], [18], [60], [66], [100], [104] [125], [123].

3.1. Scheletul membrului superior

Membrul superior este constituit din patru segmente: centura membrului superior (centura scapulară), braț, antebraț și mână [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

CENTURA MEMBRULUI SUPERIOR UMAN formează scheletul umărului și asigură legătura dintre oasele membrului liber și toracele osos. Ea este alcătuită din două oase: scapula și clavicula.

Scapula sau omoplatul este un os lat, de formă triunghiulară, situat în partea postero-superioară a toracelui. Acest os se întinde pe schelet între primul spațiu intercostal și costa a VIII-a. Osul este aplicat pe torace pe care-l depășește însă lateral, luând astfel parte la formarea umărului și la delimitarea axilei.

Scapula prezintă două fețe, trei margini și trei unghiuri (figura 3.1) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

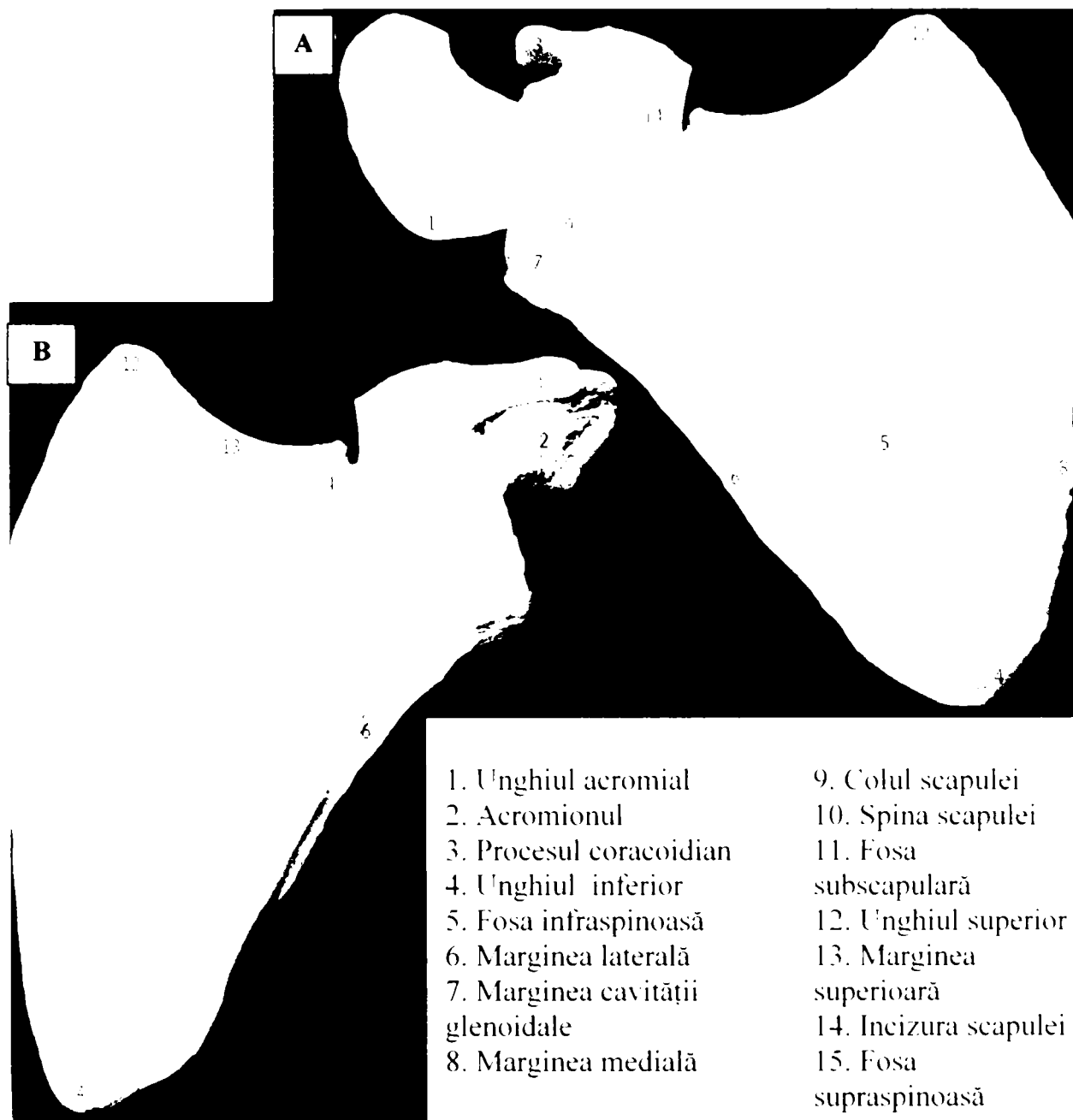


Fig. 3.1. Scapula stângă, A. fața dorsală, B. fața costală

Fața anterioară sau **costală** prezintă o concavitate, fosa subscapulară, străbătută de creste oblice. Pe fosă ca și pe crestele oblice, se inseră mușchiul subscapular. Pe porțiunea medială a feței se mai inseră și mușchiul dințat anterior.

Fața posterioară sau **dorsală** prezintă o proeminență transversală, numită *spina scapulei* care formează două fose, una supraspinoasă situată deasupra spinei și una înfraspinoasă, situată dedesubtul ei. *Acromionul* este o proeminență turtită de sus în jos și palpabilă prin piele.

Marginea superioară este subțire și prezintă scobitura sau incizura scapulei. Prin scobitură trece nervul suprascapular. Medial de scobitură, marginea superioară dă inserție mușchiului omohioidian.

Marginea medială (vertebrală) este orientată spre coloana vertebrală. Pe ea se inseră numeroși mușchi dintre care se consideră important mușchiul romboid.

Marginea laterală (axilară) este orientată spre axilă.

Unghiul inferior este ascuțit și ușor de explorat sub piele.

Unghiul superior este ușor rotunjit, aici se inseră mușchiul ridicător al scapulei.

Unghiul lateral este cel mai voluminos. El prezintă două elemente: cavitatea glenoidală legată de restul scapulei printr-o porțiune mai îngustă, numită gâtul sau colul scapulei și procesul coracoidian care este o prelungire recurbată, a cărei bază ocupă spațiul dintre cavitatea glenoidală și scobitura scapulei.

Scapula are mai multe găuri nutritive: în fosa supraspinoasă, în fosa subspinoasă, la nivelul acromionului și la nivelul procesului coracoidian.

Clavicula este un os lung și pereche, situat la limita dintre torace și gât; este orientată transversal, fiind cuprinsă între manubriul sternului și acromion.

Clavicula prezintă două curburi, inegale care îi dau forma literei S. Din aceste două curburi una este medială, cu concavitatea posterioară, și alta laterală, cu concavitatea anterioară.

Clavicula prezintă două fețe, una superioară și alta inferioară, două margini și două extremități, sternală și acromială (figura 3.2) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Fața superioară este netedă în porțiunea ei mijlocie, la cele două extremități este rugoasă și dă inserții musculare. La partea medială rugozitățile dau inserție mușchiului sternocleidomastoidian, iar la partea laterală, mușchilor deltoid și trapez.

Fața inferioară prezintă în porțiunea ei mijlocie *gaura nutritivă* și *șanțul* pe care se inseră mușchiul subclavicular. Pe șanț se găsește impresiunea ligamentului costoclavicular pe care se inseră ligamentul cu același nume. Lateral de șanț se găsesc două proeminențe rugoase: *tuberculul conoidian*, situat aproape de marginea posterioară a osului și *linia trapezoidală* situată anterolateral față de tubercul. Pe tubercul se inserează ligamentul conoidian, iar pe partea trapezoidală ligamentul trapezoidian; ligamentele unesc clavicula cu procesul coracoidian al scapulei (figura 3.2.A).

A

1. Extremitatea acromială
2. Legătura acromioclaviculară
3. Acromionul
4. Procesul coracoid
5. Corpul claviculei
6. Spina scapulei
7. Extremitatea sternală
8. Fosa suprascapuloasă

B

1. Extremitatea acromială
2. Tuberculul conoidian
3. Șanțul pentru inserția mușchiului subclavicular
4. Impresiunea ligamentului costoclavicular
5. Extremitatea sternală
6. Linia trapezoidală

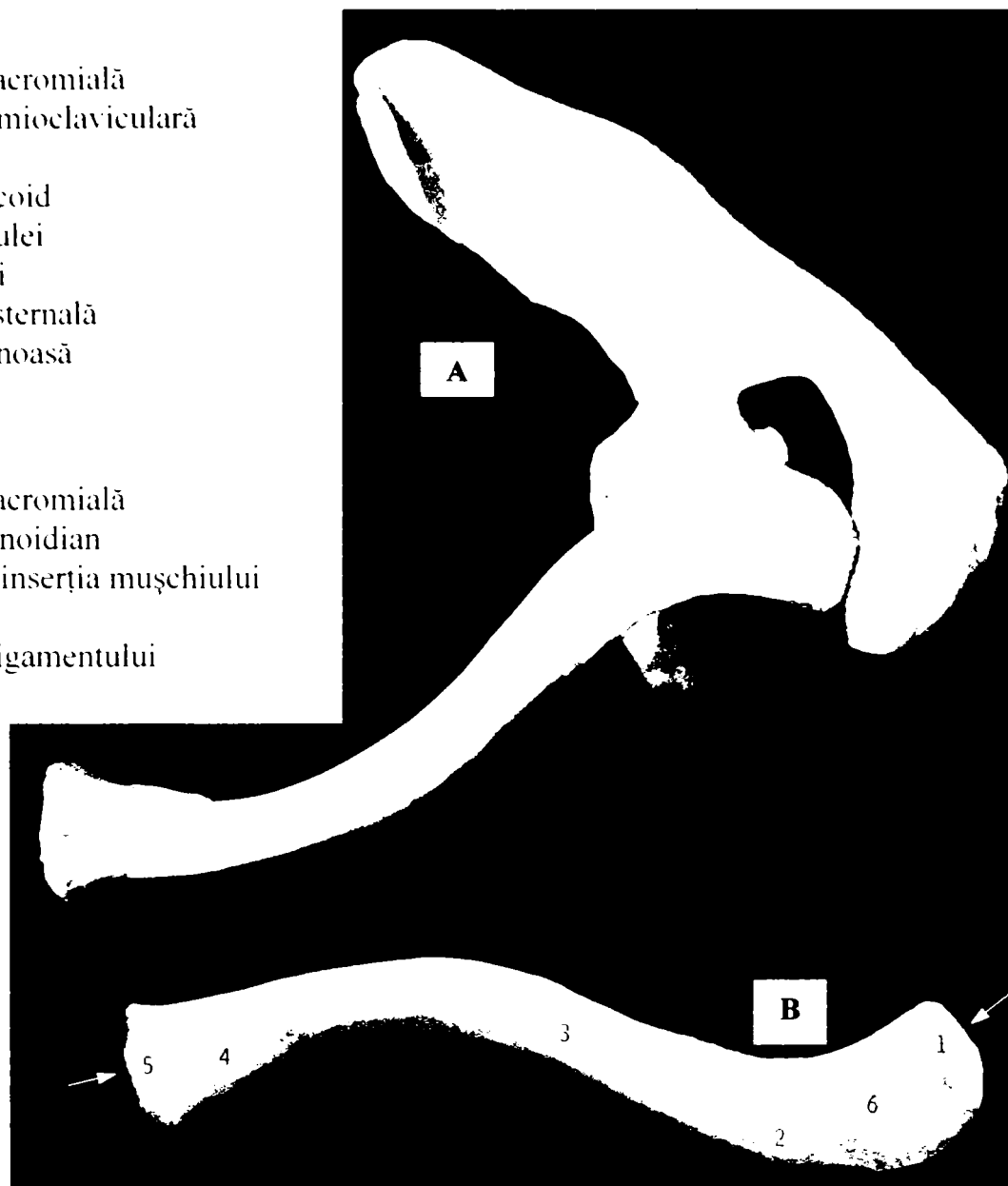


Fig. 3.2. Clavicula

A. articularea claviculei cu scapula, B. clavicula – vedere de jos

Marginea anterioară este concavă în treimea laterală, unde se inserează mușchiul deltoid și convexă în treimea medială unde se inserează mușchiului pectoral mare.

Marginea posterioară este și ea concav-convexă, dar în sens invers față de marginea anterioară. În porțiunea laterală se inserează mușchiul trapez. În porțiunea mijlocie are raporturi cu mușchiul omohioidian, cu mușchii scalieni, cu artera și vena subclavie și cu trunchiurile plexului brahial. Aceste raporturi sunt deosebit de importante, deoarece în căderile pe umăr, clavicula poate fi fracturată în porțiunea ei mijlocie. Fragmentele fracturate pot leza vasele subclavii și trunchiurile plexului brahial; de asemenea, calusul poate comprima sau chiar include aceste formațiuni, determinând complicații vasculare și nervoase.

Extremitatea medială sau **sternală** este voluminoasă, prezintă o față sternală destinată articulării cu manubriulul sternului.

Extremitatea laterală sau **acromială** este turtită și prezintă o față acromială destinată articulării cu acromionul.

BRAȚUL este alcătuit dintr-un singur os: humerusul.

Humerusul este un os lung, pereche, alcătuit dintr-un corp (diafiză) și două extremități (epifize) (figurile 3.3 și 3.4) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Corpul este aproape cilindric în porțiunea superioară, prismatic triunghiular în cea inferioară. Prezintă trei fețe și trei margini, bine diferențiate în porțiunea inferioară, cu mult mai slab în porțiunea superioară.

Fața anterolaterală prezintă ceva mai sus de mijlocul ei o rugozitate în formă de V, numită tuberozitatea deltoidiană pe care se inseră mușchiul deltooid și mușchiul brahial. Sub tuberozitate se află un șanț puțin pronunțat, care pleacă de pe fața posterioară; este șanțul nervului radial prin care trec nervul radial și artera brahială profundă. Deasupra tuberozității, fața anterolaterală este înconjurată de nervul axilar.

Fața anteromedială prezintă gaura nutritivă a osului, șanțul intertubercular care descinde de la epifiza superioară, precum și o impresiune rugoasă pentru inserția mușchiului coracobrahial.

Fața posterioară este străbătută oblic de șanțul nervului radial; deasupra șanțului se inseră capul lateral, iar dedesubtul lui se inseră capul radial al mușchiului triceps brahial.

Marginea anterioară este bine pronunțată.

Marginea laterală și marginea medială sunt adevărate creste în jumătatea lor inferioară, dar mai puțin conturate în partea lor superioară.

Extremitatea sau **epifiza superioară (proximală)** este unită cu corpul prin colul chirurgical al osului. Cele mai frecvente fracturi ale humerusului se întâlnesc la nivelul colului chirurgical. Tot aici are loc dezlipirea traumatică a epifizei, care se poate produce la copii și tineri, deoarece epifiza superioară și diafiza se sudează abia la vârsta de 20-25 ani. Epifiza proximală prezintă mai multe elemente descriptive: *capul humerusului, colul anatomic, tuberculul mare, tuberculul mic și șanțul intertubercular.*

Extremitatea sau **epifiza inferioară (distală)** este turtită și recurbată dinapoi înainte, astfel că diametrul transversal este cu mult mai mare ca cel anteroposterior. Ea prezintă un *codil* și doi *epicodili*.

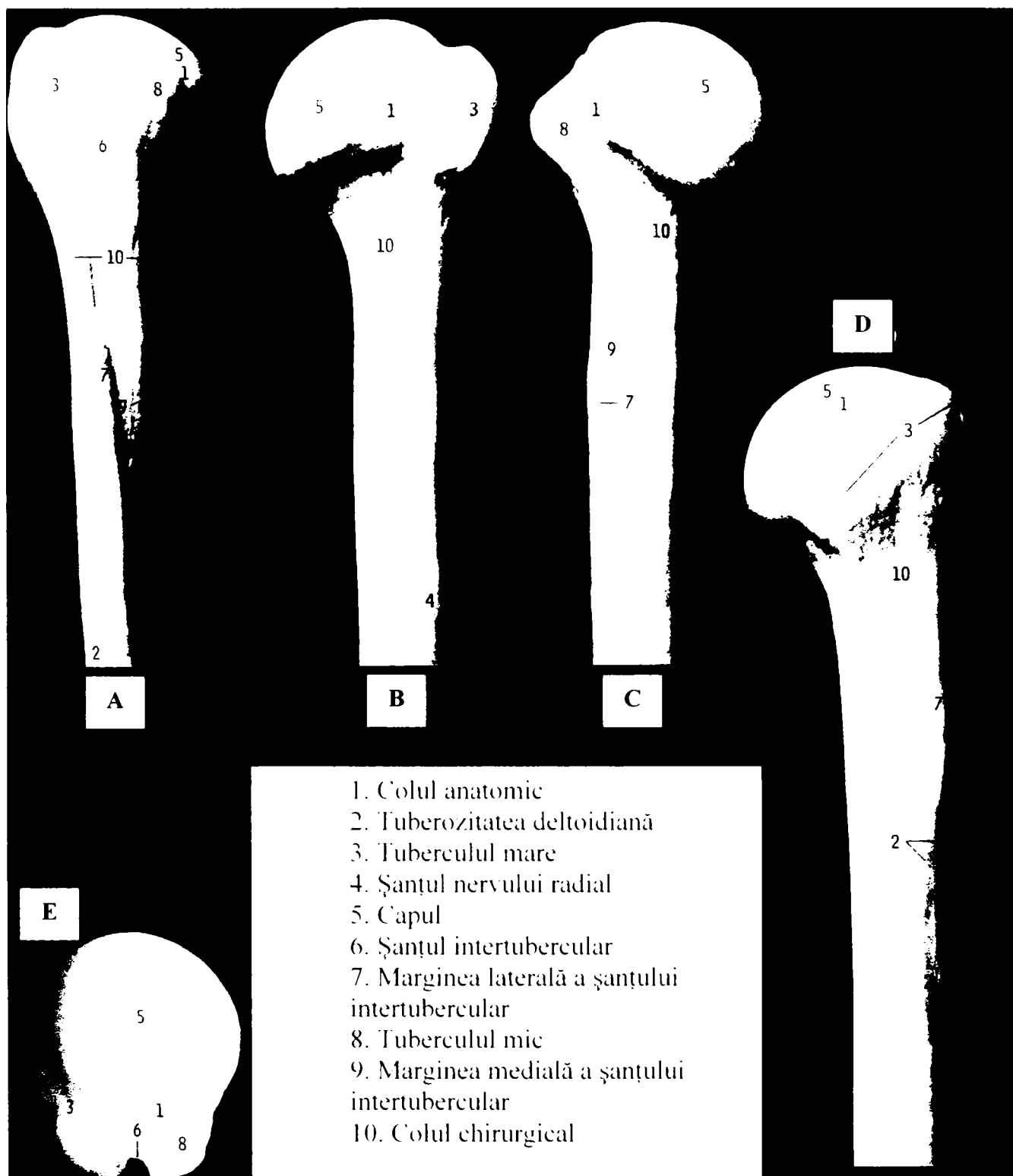


Fig. 3.3. Humerusul drept – partea superioară:

A. fața anterioară, B. fața posterioară, C. fața medială, D. fața laterală, E. vedere de sus

1. Suprafața anterioară
2. Capitulul
3. Fosa coronoidiană
4. Marginea laterală a capitulului
5. Epicondilul lateral
6. Creasta supracondilară laterală
7. Epicondilul medial
8. Creasta supracondilară medială
9. Suprafața medială a trohleei
10. Fosa olecraniană
11. Suprafață posterioară
12. Fosa radială
13. Trohleea

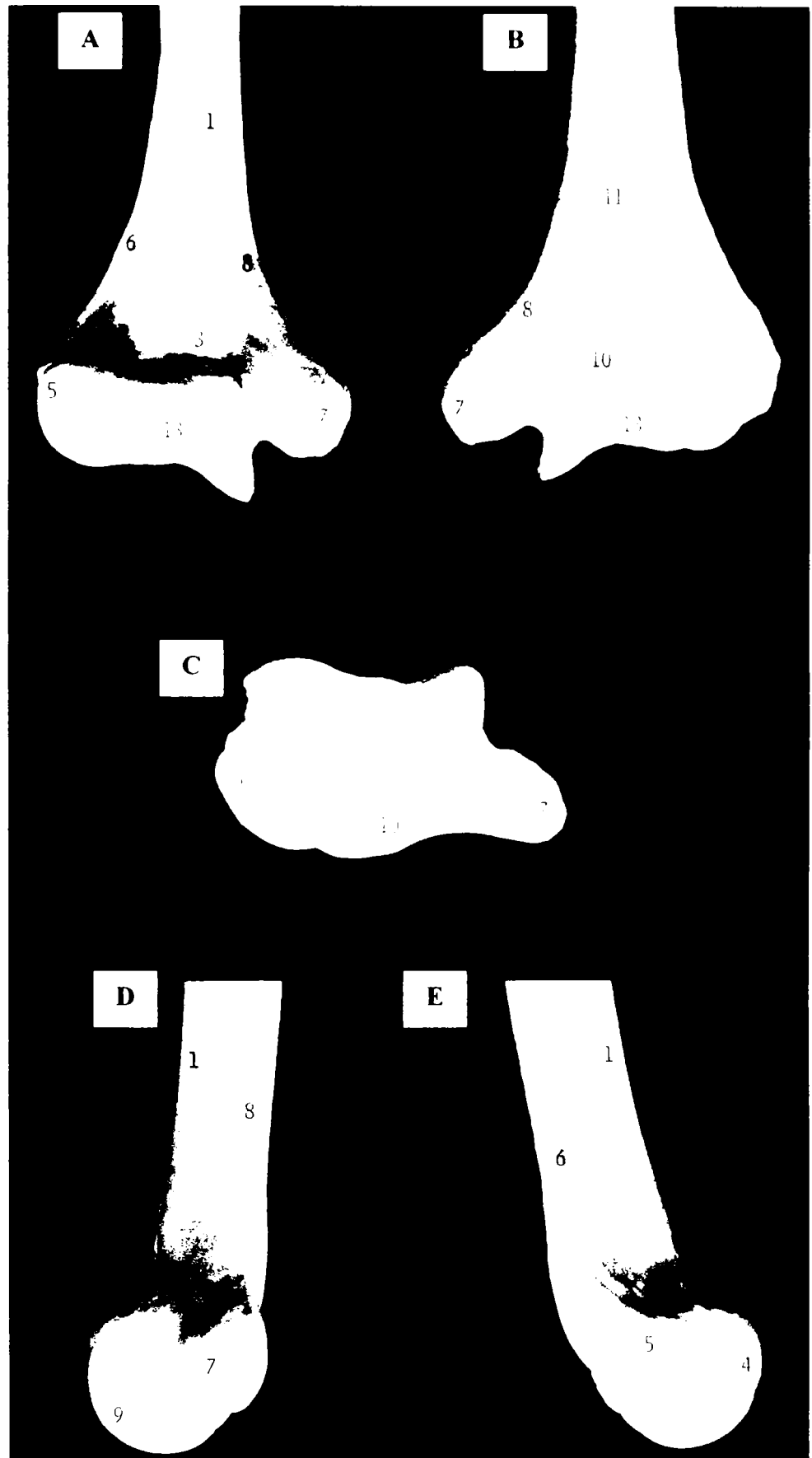


Fig. 3.4. Humerusul drept – partea inferioară:
A. fața anterioară, B. fața posterioară, C. vedere de jos,
D. fața medială, E. fața laterală

ANTEBRAȚUL are două oase paralele: unul situat în prelungirea policelui, numit **radius** și altul situat în prelungirea degetului mic, numit **ulnă**. Aceste două oase se articulează prin epifizele lor, rămânând însă distanțe la nivelul diafizei prin spațiul interosos. Radiusul depășește ulna prin epifiza lui inferioară și este depășit de acesta prin epifiza superioară. Ca urmare, ulna precumpănește în formarea articulației cotului, iar radiusul în formarea articulației radiocarpene.

Radiusul este un os lung și pereche, situat la partea laterală a antebrațului, în dreptul policelui. Prezintă un corp și două epifize (figura 3.5) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Corpul este prismatic triunghiular și ca atare are trei fețe și trei margini.

Fața anterioară este îngustă în porțiunea superioară; pe ea se găsește gaura nutritivă. În porțiunea superioară a feței anterioare se inseră mușchiul flexor lung al policelui, iar în cea inferioară mușchiul pătrat pronator.

Fața posterioară este rotunjită în porțiunea superioară, unde răspunde mușchiului supinator. Este plană și ușor escavată în restul întinderii, unde se inseră mușchii lung abductor și scurt extensor ai policelui.

Fața laterală prezintă la partea mijlocie o rugozitate pentru mușchiul rotund pronator. Deasupra rugozității, fața are un raport cu ramura profundă a nervului radial. Acest raport are o mare importanță practică, căci fracturile osului la acest nivel pot interesa nervul.

Marginea anterioară este pronunțată, dispare însă în treimea inferioară.

Marginea posterioară există numai în porțiunea mijlocie.

Marginea medială este ascuțită și se termină în partea inferioară a corpului, bifurcându-se și delimitând astfel o suprafață triunghiulară. La baza acestui triunghi se găsește scobitura sau incizura ulnară a radiusului. Pe marginea medială se prinde membrana interosoasă.

Extremitatea sau **epifiza superioară** este compusă din trei elemente: *capul*, *colul* și *tuberozitatea radiusului*.

Extremitatea sau **epifiza inferioară** este comparată cu o piramidă trunchiată ce prezintă patru fețe și o bază.

Fața medială a epifizei prezintă scobitura ulnară destinată articulării cu capul ulnei.

Fața laterală prezintă un șanț pentru trecerea unor tendoane. Această față se continuă în jos cu procesul stiloidian.

1. Marginea anterioară
2. Linia oblică anterioară
3. Suprafața anterioară
4. Capul
5. Marginea interosoasă
6. Suprafața laterală
7. Colul
8. Marginea posterioară
9. Suprafața posterioară
10. Rugozitate pentru mușchiul rotund pronator
11. Tuberozitatea



1. Suprafața anterioară
2. Tuberculul dorsal
- 3 – 8. Șanțuri pentru tendoanele mușchilor
9. Marginea interosoasă
10. Suprafața laterală
11. Suprafața posterioară
12. Procesul stiloidian
13. Scobitura ulnară

Fig. 3.5. Radiusul drept

- partea superioară: A. fața anterioară, B. fața posterioară,
- C. fața medială, D. fața laterală,
- partea inferioară: E. fața anterioară, F. fața posterioară,
- G. fața medială, H. fața laterală

Fața posterioară prezintă mai multe creste verticale care delimitează șanțuri. Prin aceste șanțuri alunecă tendoane ale mușchilor extensori ai mâinii și ai degetelor. Tot pe această față se află și *tuberculul dorsal*.

Fața anterioară este concavă de sus în jos; pe ea se inserează mușchiului pătrat pronator.

Baza are forma unui triunghi al cărui vârf se prelungește lateral pe procesul stiloidian. Baza este subdivizată printr-o creastă anteroposterioară în două fețe secundare: una laterală triunghiulară în raport cu scafoidul și alta medială, patrulateră, în contact cu semilunarul.

Ulna este un os lung și pereche situat în partea medială a antebrațului, în prelungirea degetului mic. Pe scheletul articulat el este puțin oblic de sus în jos și mediolateral, formând cu humerusul un unghi cu deschidere laterală. Este format din corp și două epifize (figura 3.6) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Corpul este puțin concav înainte și prezintă trei fețe și trei margini.

Fața anterioară prezintă gaura nutritivă. În partea superioară a feței se inseră mușchiul flexor profund al degetelor, iar în partea inferioară mușchiul pătrat pronator.

Fața posterioară este străbătută în treimea superioară de o linie oblică în jos și medial. Deasupra liniei oblice se delimitează o suprafață triunghiulară pentru inserția mușchiului anconeu; porțiunea inferioară este împărțită la rândul ei printr-o linie verticală într-o fâșie medială și alta laterală. Pe fâșia medială a feței posterioare se inseră mușchiul extensor ulnar al carpului, pe cea laterală se inseră sus mușchiul supinator, iar mai jos mușchii: lung abductor al policelui, scurt extensor al policelui, lung extensor al policelui și extensorul indicelui.

Fața medială este largă în porțiunea superioară și se îngustează în partea inferioară, unde este de altfel palpabilă prin piele.

Marginea anterioară este bine pronunțată, începe la procesul coronoidian și se termină la cel stiloidian.

Marginea posterioară pleacă de pe olecran, descinde sub forma unei creste sinuoase și dispăre apoi în treimea inferioară a diafizei.

Pe **marginea laterală** se inserează membrana interosoasă ce unește corpurile celor două oase ale antebrațului; în sus se bifurcă și delimitează o suprafață triunghiulară în care este situată incizura radială a epifizei proximale. Ramura de bifurcație posterioară poartă numele de creasta mușchiului supinator pentru inserția mușchiului omonim.

1. Marginea anterioară
2. Suprafața anterioară
3. Procesul coronoïdan
4. Marginea interosoasă
5. Suprafața medială
6. Olecranul
7. Marginea posterioară
8. Suprafața posterioară
9. Incizura radială
10. Creasta mușchiului supinator
11. Incizura trohleeară
12. Tuberozitatea



1. Suprafața anterioară
2. Șanț pentru tendonul mușchiului extensor ulnar al carpului
3. Capul
4. Marginea interosoasă
5. Suprafața medială
6. Suprafața posterioară
7. Procesul stiloidian

Fig. 3.6. Ulna dreaptă:

- **partea superioară: A. fața anterioară, B. fața posterioară, C. fața medială, D. fața laterală,**
- **partea inferioară: E. fața anterioară, F. fața posterioară, G. fața medială, H. fața laterală**

Extremitatea sau **epifiza superioară** este formată din două proeminențe osoase: una verticală, numită *olecran* și alta orizontală, numită *procesul coronoidan*. Cele două proeminențe formează între ele un unghi drept și circumscriu o cavitate articulară ce privește anterior, numită *scobitura* sau *incizura trohleară* ce se articulează cu trohleea humerusului.

Pe partea laterală a procesului coronoidan se găsește o fețișoară articulară semilunară, numită *scobitura* sau *incizura radială* care se articulează cu capul radiusului. Dedesubtul procesului coronoidan se găsește tuberozitatea ulnei pe care se inseră mușchiul brahial. Pe olecran se inseră mușchiul triceps brahial.

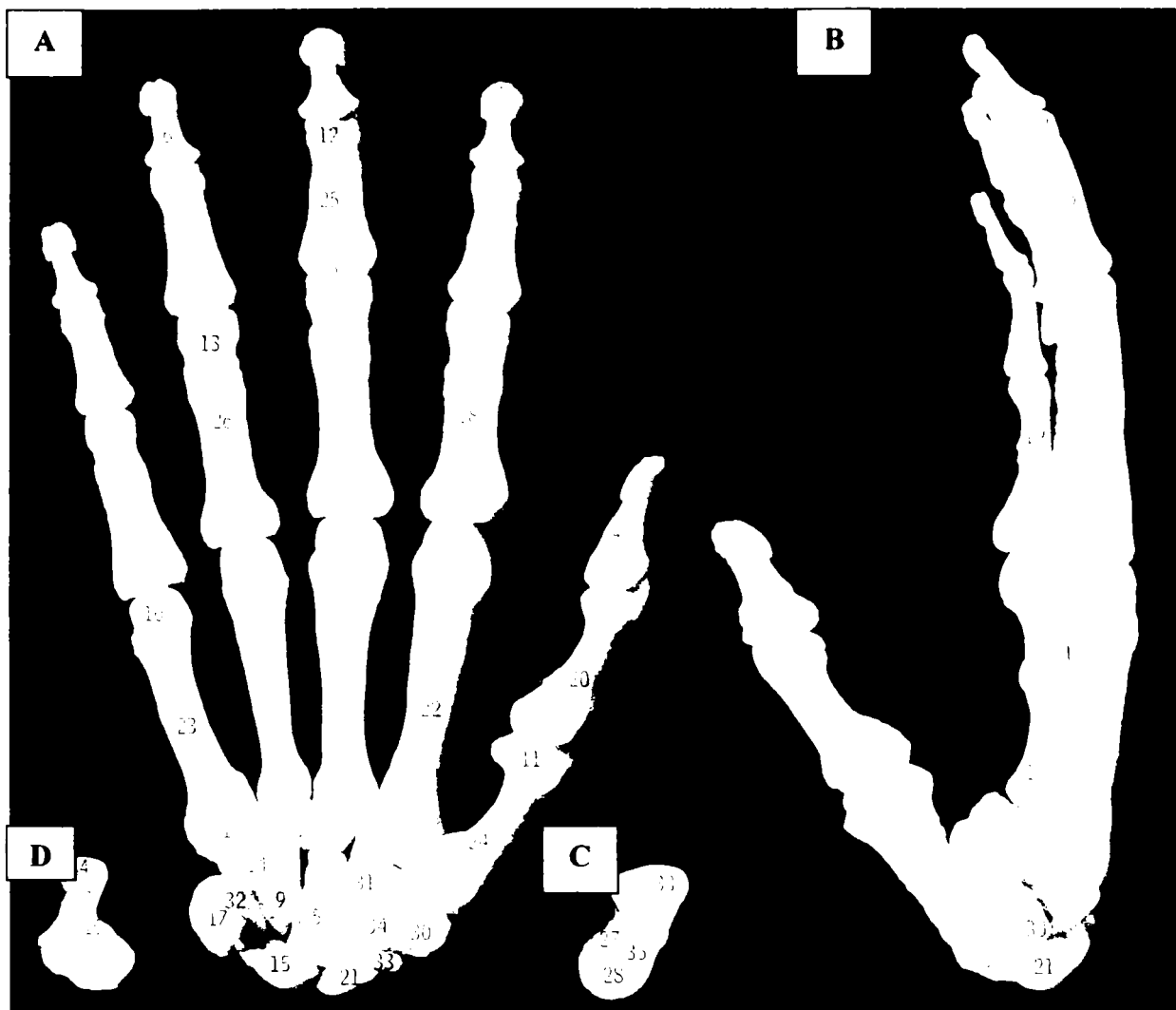
Extremitatea sau **epifiza inferioară** prezintă două formațiuni: *capul* și *procesul stiloidian*.

MÂNA este formată din 27 de oase dispuse în trei grupe: carpiene, metacarpiene și oasele degetelor (figura 3.7) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104] .

Oasele carpiene reprezintă un ansamblu format din 8 oase dispuse pe două rânduri; în primul rând, începând de la police în direcția degetului mic, se găsesc patru oase: scafoiful, semilunarul, piramidal și pisiformul; în al doilea rând, se găsesc alte patru oase: trapezul, trapezoid, capitatul și osul cu cârlig.

Oasele metacarpiene constituie scheletul palmei și dosul mâinii și reprezintă un ansamblu format din 5 oase. Numerotarea lor se face lateromedial, de la I la V.

Oasele degetelor sunt în număr de 5, numerotate lateromedial de la I la V, fiecare deget având un nume: police, indice, mediu, inelar și mic. Oasele care formează degetele se numesc falange. Fiecare deget are trei falange, cu excepția policelui care are două, în total 14 falange.



- | | |
|--|---|
| 1. Baza metacarpului V | 19. Flange proximală a degetului mic |
| 2. Baza metacarpului I | 20. Falanga proximală a policelui |
| 3. Baza falangei mijlocii a degetului mijlociu | 21. Scafoidul |
| 4. Baza falangei proximale a degetului inelar | 22. Tija metacarpianului II |
| 5. Capitulul | 23. Tija metacarpianului V |
| 6. Falanga distală a degetului inelar | 24. Tija metacarpianului I |
| 7. Falanga distală a degetului mare | 25. Tija falangei mijlocii a degetului mijlociu |
| 8. Șanț pentru nervul ulnar | 26. Tija falangei proximale a degetului inelar |
| 9. Osul cu cârlig | 27. Suprafața capitatului |
| 10. 11. Capul metacarpului I | 28. Capul capitatului |
| 12. Capul falangei mijlocii a degetului mijlociu | 29. Suprafața piramidalului |
| 13. Capul falangei proximale a degetului inelar | 30. Trapezul |
| 14. Cârligul osului cu cârlig | 31. Trapezoidul |
| 15. Semilunarul | 32. Piramidalul |
| 16. Suprafața palmară, osul cu cârlig | 33. Tuberculul scafoidului |
| 17. Pisiformul | 34. Tuberculul trapezului |
| 18. Falanga proximală a degetului arătător | 35. Suprafața scafoidului |

Fig. 3.7. Oasele mâinii stângi

**A. suprafața palmară, B. fața laterală,
C. suprafața scafoidă și palmară, D. fața medială**

3.2. Articulațiile membrului superior

Contactul dintre două capete osoase, cu sau fără mișcare între ele, împreună cu toate elementele care le înconjoară, formează o articulație.

Funcțiile articulațiilor constau în asigurarea unor anumite mișcări ale oaselor care intră în alcătuirea lor. Felul mișcărilor și forma suprafețelor articulare sunt într-o strânsă interdependență. Examinând forma acestor suprafețe, putem deduce foarte ușor natura mișcărilor.

Între oasele ce intră în componența unei articulații sinoviale (articulații complexe la nivelul cărora se produc mișcări multiple și variate) se pot efectua trei feluri de mișcări elementare: alunecarea prin translație, rostogolirea și rotația [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Alunecarea constă în deplasarea suprafețelor articulare puse în contact însoțită de frecare, adică fără îndepărtarea lor. Mișcarea se poate compara cu deplasarea unei sănii pe zăpadă. Exemple de acest fel de mișcări găsim în articulațiile plane.

Rostogolirea este caracterizată prin deplasarea circulară a suprafețelor articulare, astfel ca la fiecare nouă rază a mișcării, alte porțiuni ale acestora vin în contact. O asemenea mișcare existentă la articulația cotului este comparabilă cu aceea a unei roți ce se rostogolește pe o suprafață.

Rotația este o mișcare circulară, caracterizată prin răsucirea, deplasarea osului mobil împrejurul axului său longitudinal. Axul poate fi situat în afara osului, caz în care rotația e însoțită de deplasare ca în supinația și pronația mâinii. Alteori axul trece chiar prin punctele de contact ale suprafețelor articulare, caz în care rotația este pură, fără deplasare, ca în mișcarea fosetei capului radial pe capitulul humerusului. Aceste mișcări se combină între ele.

Sensul și amplitudinea mișcării ce se efectuează într-o articulație sunt determinate de conformația suprafețelor articulare. Articulațiile cu conducere osoasă au cel mai adesea un singur ax (grad de libertate) de mișcare, mișcările acestora executându-se într-un singur plan. Articulațiile cu conducere ligamentară și musculară au, în general, mai multe grade de libertate (axe). Dar, în articulațiile cu conducere ligamentară amplitudinea mișcărilor este mai mică decât în cele cu conducere musculară, chiar dacă au aceleași număr de grade de libertate. Axa articulară este o linie teoretică împrejurul căreia se execută mișcările unei articulații. O articulație poate avea una sau mai multe axe. De exemplu: articulația cotului prezintă o singură axă, cea radiocarpiană are două axe, iar articulația umărului, trei. Întotdeauna într-o

articulație cu mai multe axe vor fi posibile mișcări mai ample și mai variate decât într-una cu o singură axă.

În timpul mișcărilor articulare, oasele iau anumite poziții între ele. După felul acestor poziții se deosebesc: flexia, extensia, abducția, adducția, circumducția, pronția și supinația. În afară de circumducție, celelalte mișcări sunt opozite.

Flexia este mișcarea prin care două segmente ale unui membru se apropie între ele.

Extensia este mișcarea contrarie prin care segmentele respective se îndepărtează.

Adducția. Prin această denumire înțelegem mișcarea datorită căreia un membru sau un segment de membru se apropie de planul sagital al corpului.

Abducția este mișcarea de sens contrariu, adică de îndepărtare, de planul sagital al corpului.

Circumducția rezultă din executarea succesivă a celor patru mișcări precedente: abducție, extensie, adducție și flexie. Când un os efectuează o astfel de mișcare, el descrie un trunchi de con, cu vârful la nivelul articulației.

Pronția este o mișcare de rotație a membrului prin care policele se apropie de corp; iar mișcarea inversă, de îndepărtare a degetului mare prin rotație se numește **supinație**.

Articulațiile mobile sunt de următoarele tipuri:

- **articulații sferice (cotilice)**, formate dintr-un cap articular sferoid și o cavitate articulară în formă de cupă, ca în articulațiile umărului și șoldului. Ele permit flexia-extensia, abducția, aducția, circumducția și rotația.
- **articulații elipsoidale (condiliene)**, reprezentate de un segment de elipsoid și o cavitate glenoidă, ca în articulațiile radiocarpiană și metacarpofalangiană. Ele permit flexia-extensia, abducția, aducția și circumducția.
- **articulații trohleene (ginglism)**, formate dintr-o trohlee (scripete) și o suprafață corespunzătoare scobită, ca în articulațiile humeroulnară și interfalangiene. Ele permit flexia-extensia și mișcări reduse de lateralitate.
- **articulații cilindrice**, formate dintr-un os cilindric care se rotește într-un inel osteofibros, ca în articulația genunchiului. Ele permit mișcări într-un singur plan.
- **articulații în șa**, formate dintr-o suprafață articulară convexă și o altă suprafață concavă care se îmbină între ele, ca în articulația carpometacarpiană a policelui. Ele permit flexia-extensia, abducția, aducția și circumducția.
- **articulații plane**, formate din suprafețe articulare plane, ca la oasele carpiene. Ele permit numai mișcări de alunecare.

Corpul uman este considerat rigid în sensul că poate menține o poziție și flexibil, în sensul că își poate modifica poziția. Se poate face o similitudine între articulațiile corpului uman și diverse articulații în mecanică. Această similitudine este exemplificată în figura 3.8. [51].

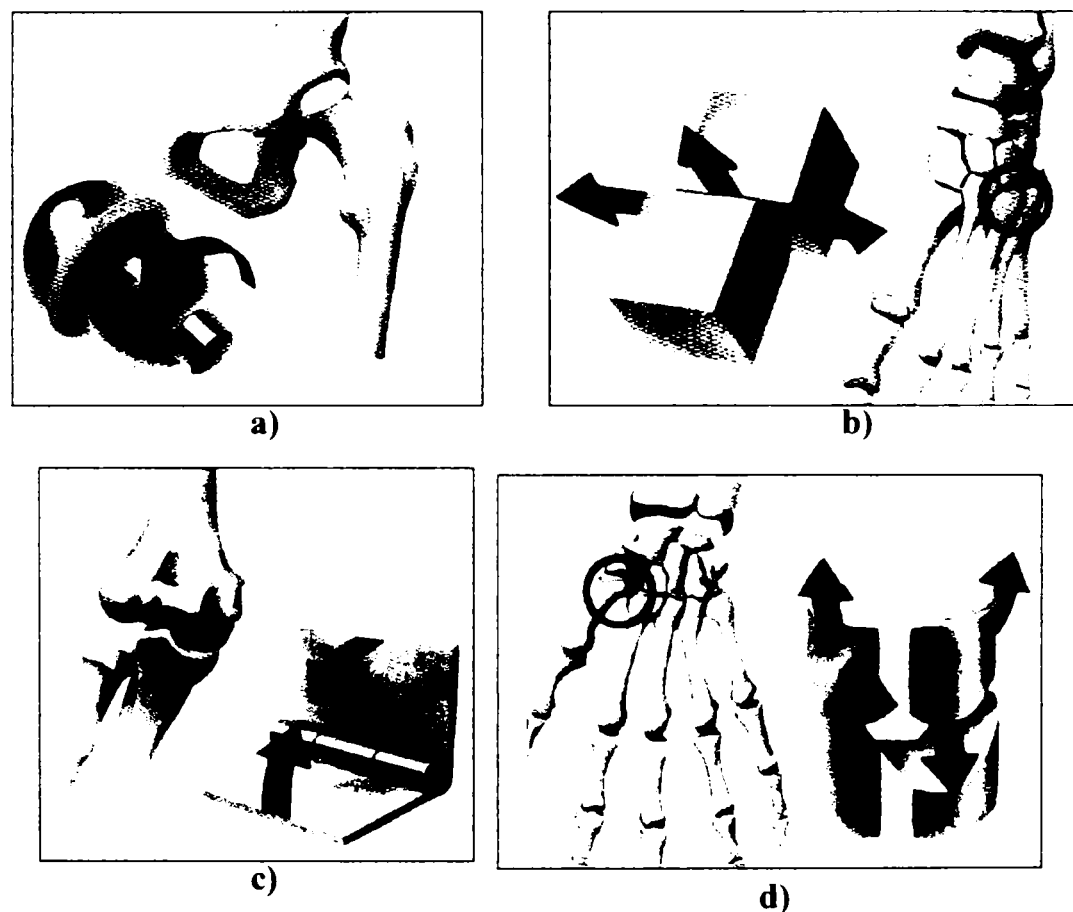


Fig. 3.8. Exemple de articulații
a) sferică, b) plană c) trohleană d) în șa

Articulațiile membrului superior pot fi împărțite în două mari grupe: **articulațiile centurii membrului superior** și **articulațiile membrului superior liber**. În prima categorie se încadrează: articulația sternoclaviculară, articulația acromioclaviculară și sindesmoza coracoclaviculară. În a doua categorie se încadrează: articulația scapulohumerală, articulația cotului, articulațiile radioulnare, articulațiile mâinii și articulațiile degetelor.

ARTICULAȚIA STERNOCLAVICULARĂ (figura 3.9) - unește extremitatea sternală a claviculei cu sternul și primul cartilaj costal. Ea este o articulație în șa [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

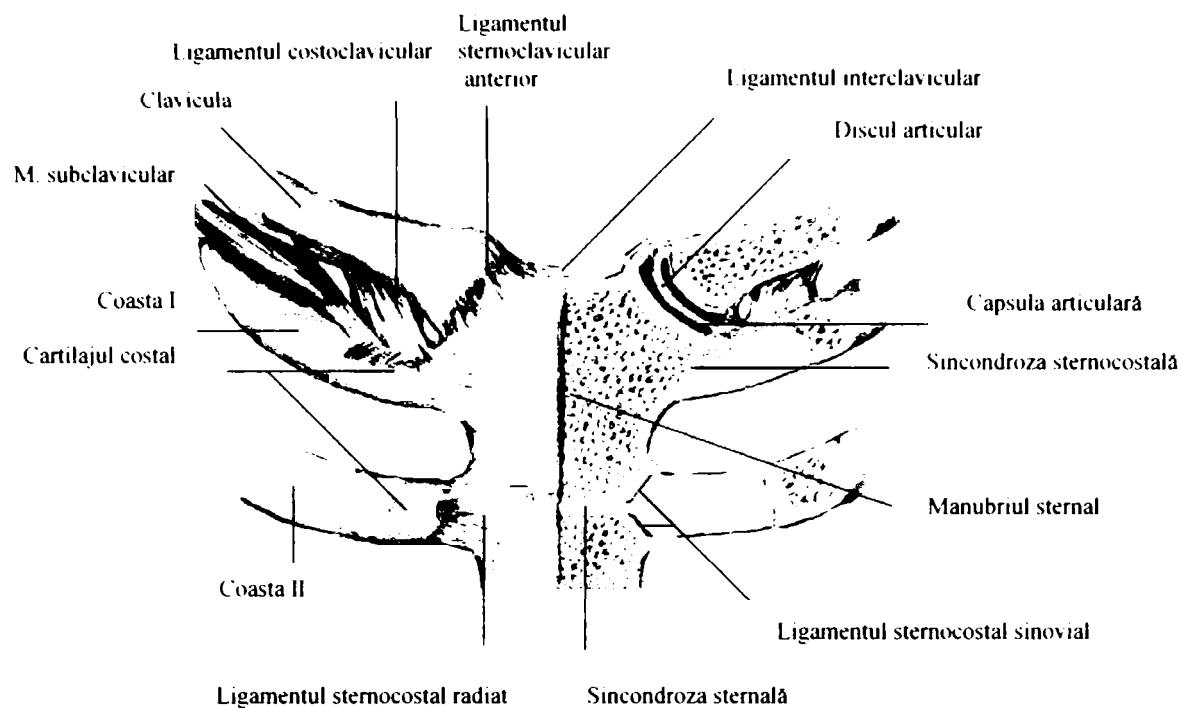


Fig. 3.9. Articulația sternoclaviculară

Suprafețele articulare sunt inegale ca formă și dimensiuni. De partea toracelui se prezintă marginea laterală a manubriului sternal și primul cartilaj costal. Fețișoara articulară sternală formează cu fețișoara plană de pe primul cartilaj un unghi diedru deschis în afară. De partea claviculei există două fețișoare articulare, una verticală și alta orizontală, care determină între ele un unghi diedru proeminent ce pătrunde în deschizătura celui precedent. Cele două suprafețe articulare sunt acoperite de un fibrocartilaj. Sub claviculă, între aceasta și coasta I se găsesc vasele subclaviculare și plexul brahial.

Discul articular este un fibrocartilaj situat între cele două suprafețe articulare. Prin fețele sale răspunde suprafețelor articulare, iar prin periferie aderă de aparatul ligamentar periferic. Acest disc împarte articulația în două compartimente: unul medial, meniscoternal, și altul lateral, meniscoclavicular.

Mijloacele de unire sunt reprezentate de o capsulă și un număr de ligamente. Capsula articulară este formată din două straturi: unul extern, fibros, și altul intern, sinovial. Stratul fibros se inseră prin cele două circumferințe pe marginile suprafețelor articulare. Partea anterioară și posterioară a capsulei este mai puternică decât partea superioară și inferioară. Ligamentele care întăresc capsula sunt: *ligamentul sternoclavicular anterior* care se inseră pe fața anterioară a extremității interne a claviculei și pe fața anterioară a manubriului sternal,

ligamentul sternoclavicular posterior situat pe fața posterioară a articulației, *ligamentul interclavicular* situat pe fața posterioară a articulației și *ligamentul costoclavicular* care ocupă unghiul format de claviculă și primul cartilaj.

Mișcările. În această articulație sunt posibile mai multe mișcări, ca în orice articulație sferoidală cu trei axe. Clavicula, împreună cu membrul superior, se poate mișca pe stern, ea poate fi dusă înainte și înapoi, în sus și în jos. Totodată, ea execută și mișcări de circumducție.

ARTICULAȚIA ACROMIOCLAVICULARĂ - face parte din grupul articulațiilor plane [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Suprafețele articulare. Pe extremitatea acromială a claviculei se află o fețișoară articulară ușor convexă în timp ce pe extremitatea acromionului se află o fețișoară similară, ușor concavă.

Mijloacele de unire sunt reprezentate de o capsulă întărită de un ligament acromioclavicular care se află pe fața superioară a acesteia. Capsula este formată dintr-un strat extern fibros, și altul intern sinovial. Între cele două suprafețe articulare există un disc de dimensiuni variabile.

Mișcările. În această articulație se produc mișcări de alunecare. Scapula urmează deplasările claviculei în articulația sternoclaviculară, dar rămâne lipită de torace.

SINDEZMOZA CORACOCCLAVICULARĂ. Clavicula este unită cu procesul coracoid prin ligamentul coracoclavicular format din două porțiuni: *ligamentul trapezoid* și *ligamentul conoid*. Rolul ligamentelor coracoclaviculare este de a uni clavicula cu procesul coracoid, făcând ca greutatea membrului superior să fie suportată în mai mare măsură de claviculă și în mai mică măsură de acromion. În același timp, aceste ligamente au rolul de a limita mișcările dintre scapulă și claviculă [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

LIGAMENTELE PROPRII ALE SCAPULEI sunt formațiuni fibroase, asemănătoare unor benzi. Ele se inseră exclusiv pe scapulă. Acestea sunt: *ligamentul coracoacromial* se prezintă ca un evantai fibros, de formă triunghiulară, care se prinde pe vârful acromionului, iar prin bază pe toată marginea laterală a procesului coracoid și *ligamentul transvers superior* al scapulei care trece ca o punte peste scobitura coracoidiană, transformând-o într-un orificiu [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Mișcările centurii membrului superior uman

a) *Mișcările de ridicare și coborâre a umărului.* Această mișcare se execută în jurul unui ax anteroposterior care trece prin punctul de inserție al ligamentului costoclavicular. Deoarece acest punct se găsește mai aproape de extremitatea medială a claviculei, în timpul

mișcării este realizată o pârghie cu brațe inegale. Astfel, când umărul se ridică, brațul lateral se ridică și el, odată cu scapula. În același timp, brațul medial, mai scurt, coboară, alunecând în articulația sternoclaviculară.

b) *Mișcarea de proiecție a umărului înainte și înapoi.* Se execută în jurul unui ax transversal care trece prin același punct de inserție al ligamentului costoclavicular. În cazul proiecției înainte a claviculei, aceasta se va deplasa împreună cu umărul, în timp ce extremitatea ei medială suferă o ușoară alunecare înapoi în articulația sternoclaviculară. În mișcarea de proiecție înapoi se petrec fenomene inverse.

c) *Circumducția.* Rezultă dintr-o însumare a mișcărilor anterioare executate succesiv: ridicare, proiecție înainte, coborâre și proiecția înapoi a umărului. Execuția mișcării de circumducție reproduce două conuri imaginare: unul mai mic, cu baza la nivelul extremității sternale a claviculei și cu vârful îndreptat înspre axul mișcării și altul lateral, mai mare, având baza la nivelul extremității acromiale a claviculei, iar vârful, îndreptat spre același axă anteroposterioară. Cele două conuri se unesc prin vârfurile lor.

d) *Mișcările scapulei.* Studiul acestora a condus la următoarea sistematizare:

- mișcări imprimare de articulațiile apropiate; mișcările limitate ale articulației acromioclaviculare permit deplasări apreciable ale scapule;

- mișcări proprii ale scapulei: de ridicare și coborâre, alunecare medială și laterală.

O atenție deosebită se acordă mișcărilor de rotație. Acestea se execută în jurul unei axe care trece prin articulația acromioclaviculară. În mișcările de rotație, dacă se urmăresc unghiurile scapulei, se constată că, atunci când unghiul superomedial se ridică, cel superolateral coboară. De asemenea, când acesta din urmă coboară, unghiul inferior se apropie de coloana vertebrală. Mișcările scapulei, cu deosebire ale acestui unghi articular, se transmit umărului ce urmărește fidel deplasările în sus sau în jos ale unghiului amintit. De fapt, mișcările de ansamblu ale scapulei, asemenea celor ale claviculei, servesc pentru a imprima membrului superior o libertate mai mare de mișcare. Datorită mișcărilor scapulei este posibilă ducerea brațului chiar și dincolo de poziția orizontală. Până la acest nivel, brațul poate fi ridicat prin mișcări executate exclusiv în articulația scapulohumerală.

ARTICULAȚIA SCAPULOHUMERALĂ (figura 3.10) - unește capul humeral și cavitatea glenoidală a scapulei, formând o articulație sferoidală [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

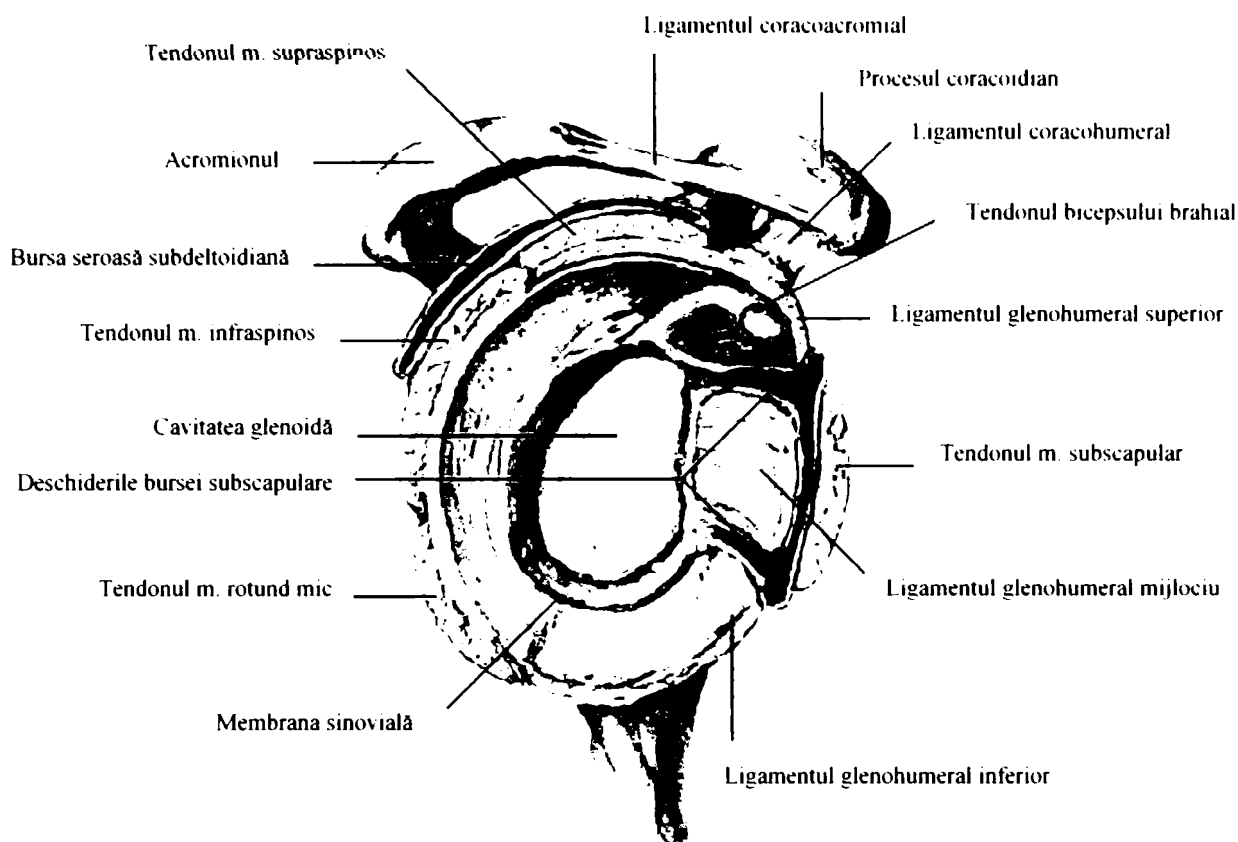


Fig. 3.10. Articulația scapulohumerală

Suprafețele articulare. De partea humerusului există capul humeral. El este acoperit de un cartilaj hialin care se întinde până la buza medială a colului anatomic și are o grosime uniformă. De partea scapulei găsim cavitatea glenoidă care are o formă ovală și este limitată de o sprânceană osoasă glenoidală. În centrul cavității se găsește un tubercul glenoidal. Ea este acoperită de un cartilaj hialin, mai gros la periferie și mai subțire în porțiunea sa centrală.

Cadrul glenoidal. La o privire mai atentă a suprafețelor articulare se constată că între capul humeral și cavitatea glenoidală există o disproporție evidentă; aceasta din urmă reprezintă doar un sfert din suprafața capului humeral. Pentru stabilirea unei mai bune concordanțe între suprafețele articulare, la periferia cavității glenoidale s-a dezvoltat un cadru constituit dintr-un fibrocartilaj care nu împiedică totuși amplitudinea și varietatea mișcărilor. Cadrul glenoidal este un inel fibrocartilagos, care pe secțiune are o formă prismatică triunghiulară. El prezintă trei fețe: una care aderă la periferia cavității glenoidale, alta externă ce continuă suprafața colului scapulei și o a treia, fața internă care se găsește în continuarea suprafeței glenoidale.

Mijloace de unire. La menținerea în contact a suprafețelor articulare contribuie: capsula articulară, *ligamentul coracohumeral*, *ligamentele glenohumerale* și mușchii

periarticulări.

Mișcările articulației scapulohumerale sunt următoarele: flexia, extensia, abducția, adducția, circumducția, rotația internă, rotația externă.

a) *Abducția-adducția*. Abducția este mișcarea prin care brațul se îndepărtează de corp. Adducția este mișcarea de sens opus, adică de apropiere a segmentului respectiv de corp. Aceste mișcări se execută în jurul unei axe anteroposterioare ce trece prin partea inferioară a capului humeral. În abducție se pot distinge două faze: una, în care brațul este dus până la poziția orizontală; în această situație, tuberculul mare, ajungând în raport cu partea superioară a cadrului glenoidian, împiedică continuarea mișcării; în cea de-a doua fază, are loc continuarea ridicării brațului până la verticală. Acest fenomen nu se mai petrece în articulația scapulohumerală, ci devine posibil printr-o mișcare de basculare a scapulei.

b) *Proiecția înainte (flexia) și proiecția înapoi (extensia)*. Proiecția înainte a brațului ajunge până la aproximativ 120°. Proiecția înapoi este mult mai redusă - aproximativ 30°. Ambele mișcări se efectuează împrejurul unei axe transversale care trece prin centrul tuberculului mare al humerusului și prin centrul cavității glenoide.

c) *Circumducția* rezultă din executarea alternativă a mișcărilor precedente.

d) *Rotația înăuntru și în afară*. Se execută împrejurul unei axe verticale, care trece prin centrul capului și al capitulului humeral. Mișcările de rotație ale brațului completează pe cele de pronție-supinație ale antebrățului.

ARTICULAȚIA COTULUI - la formarea sa participă trei oase: humerusul, ulna și radiusul (figura 3.11). Pentru acest motiv, teoretic la acest nivel se descriu trei articulații: humeroulnară, humeroradială și radioulnară proximală [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Articulația radioulnară proximală este o trohoidă, în raport cu mișcările de rotație, pe când celelalte două, *humeroulnară*, o trohleartroză și *humeroradială* o elipsoidă, ambele în raport cu mișcările de flexie-extensie ale antebrățului pe braț.

Suprafețele articulare sunt reprezentate de partea humerusului prin fața articulară a epifizei distale, iar de partea oaselor antebrățului prin fețele articulare ale epifizelor proximale ale ulnei și radiusului. Suprafața humerală este compusă din: trohlee, capitulul humerusului și șanțul intermediar. Epifiza proximală a ulnei prezintă incizura trohleară, iar epifiza proximală a radiusului, foseta capului radial. Toate aceste suprafețe articulare sunt acoperite de un cartilaj hialin având o grosime de 1,5 mm.

Mijloacele de unire sunt reprezentate printr-o capsulă întărită de ligamente (*ligamentul colateral ulnar și ligamentul colateral radial*).

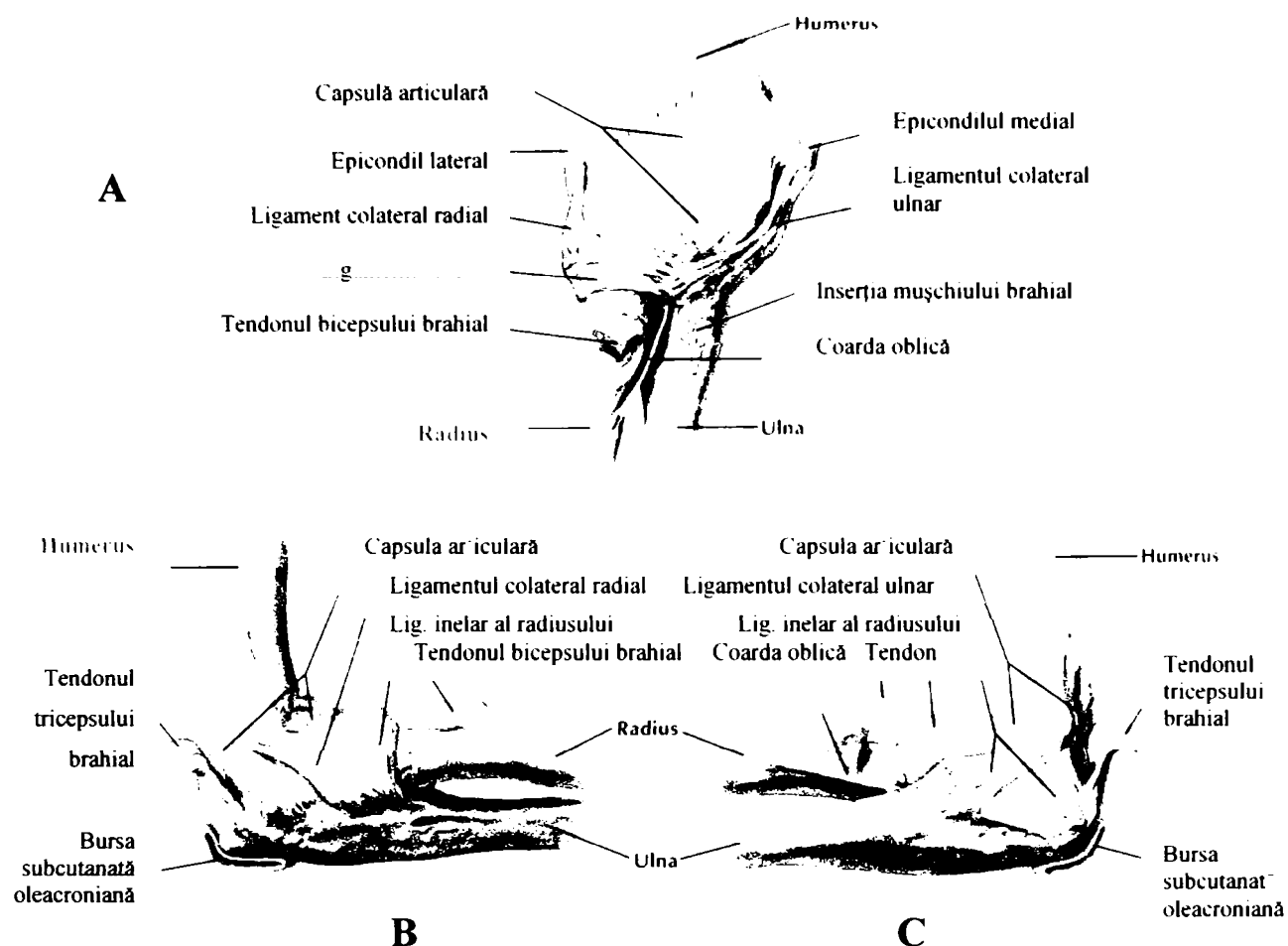


Fig. 3.11. Articulația cotului

A. vedere anterioară, B. vedere laterală, C. vedere medială

Fața anterioară a articulației constituie planul profund a regiunii plicii cotului. **Fața posterioară** face parte din regiunea olecraniană. Cartilajele de conjugare ale extremității inferioare a humerusului și cele superioare ale radiusului și ulnei se găsesc în raporturi imediate cu sinoviala.

Mișcările. În articulația cotului, partea ei humeroantebrahială, articulație uniaxială, sunt posibile două mișcări: de *flexie* (apropierea antebrăului de braț) și de *extensie* (în sens invers). Axa articulară este transversală și trece prin mijlocul trohleei și a capitulului humeral. Deoarece această axă nu este perfect transversală, ci orientată din afară înăuntru, dinainte înapoi și de sus în jos, în ambele mișcări brațul și antebrăul nu se vor comporta unul față de altul ca ramurile unui compas. Astfel, în mișcarea de flexie, antebrăul ajunge puțin medial față de braț, iar când acesta este dus în extensie, cele două segmente formează un unghi

deschis în afară. La aceasta contribuie și traiectul spiroid al șanțului trohleei. Între flexie maximă și extensie maximă mișcarea ajunge la o valoare de 140°. Articulația humeroradială participă și la mișcările de pronție și supinație.

ARTICULAȚIILE RADIOULNARE – oasele antebrăului, radiusul și ulna sunt unite între ele la nivelul epifizelor proximale prin două articulații trohoide, iar la nivelul diafizelor, printr-o sindesmoză (figura 3.12). Articulațiile sunt numite radioulnare. Ele alcătuiesc o unitate funcțională legată de mișcarea de pronție și supinație [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Articulația radioulnară proximală face parte din grupul trohoidelor.

Suprafețele articulare. Ulna prezintă pentru articulație incizura radială care este un segment de cilindru gol, iar radiusul prezintă jumătatea medială a circumferinței capului, care reprezintă un segment de cilindru plin. Ambele suprafețe sunt acoperite de un cartilaj hialin. Între suprafețele articulare există o mare disproporție; suprafața ulnară reprezintă un sfert din circumferința radială. De aceea ea este completată de ligamentul inelar.

Mijloacele de unire. *Ligamentul inelar* constituie principalul mijloc de unire a oaselor. El pleacă de la extremitatea anterioară a incizurii radiale, înconjură capul radial și se fixează la extremitatea posterioară a acesteia. În afara ligamentului inelar, radiusul este unit cu ulna și prin *ligamentul pătrat*, care este o lamă fibroasă de formă patrulateră, întinsă orizontal de la marginea inferioară a incizurii radiale, la fața medială a colului radial. Acest ligament este relaxat atunci când antebrăul se află în poziție intermediară; întins, când antebrăul este dus în pronție sau supinație.

Articulația radioulnară distală face parte de asemenea din grupul trohoidelor.

Suprafețele articulare. Ulna prezintă două fețișoare articulare situate pe cap: una laterală pe periferia capului, reprezentând o jumătate de cilindru; alta inferioară, situată pe partea inferioară a extremității. Ele sunt acoperite de cartilaj hialin. Fețișoarele articulare ulnare pătrund și se articulează cu o cavitate formată din incizura ulnară a radiusului și un fibrocartilaj de formă triunghiulară numit discul articular. Acesta se fixează prin vârful său pe scobitura ce separă procesul stiloid de capul ulnei. Prin baza sa, se prinde pe marginea inferioară a incizurii ulnare a radiusului. Prin fața lui superioară vine în raport cu ulna, iar prin cea inferioară, cu piramidalul.

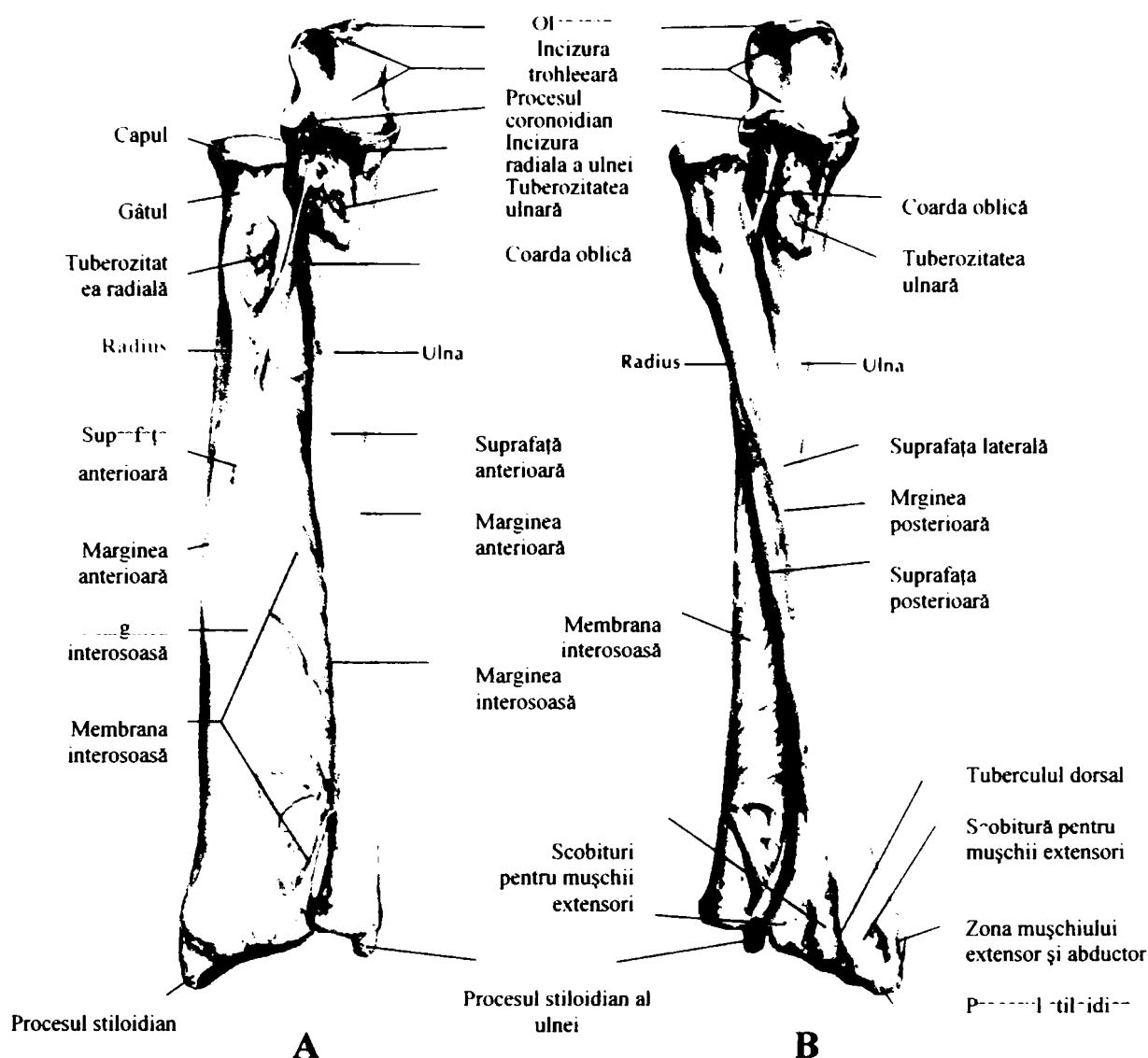


Fig. 3.12. Articulațiile radioulnare

A. vedere anterioară(supinație), B. vedere anterioară (pronație)

Marginea anterioară și posterioară aderă de capsula articulară.

Mijloacele de unire sunt: capsula articulară și discul articular.

Stratul sinovial al capsulei (*sinoviala*) depășește suprafețele articulare. El trimite o prelungire în sus către spațiul interosos. Uneori comunică cu sinoviala articulației radiocarpene printr-un orificiu situat în discul articular.

Membrana interosoasă este o formațiune fibroasă ce umple spațiul delimitat de cele două diafize ale oaselor antebrăului. Ea se inseră pe marginile interosoase ale acestor oase.

Coarda oblică este un fascicul fibros cu direcția oblică. El se inseră în sus pe baza procesului coronoid al ulnei, iar în jos, pe fața anterioară a radiusului, imediat sub tuberozitatea radială.

Mișcările în articulațiile radioulnare. În principiu, în astfel de articulații este posibilă o singură mișcare: rotația. Această mișcare la nivelul antebrăului devine pronație sau supinație. Tratarea biomecanicii articulațiilor radioulnare implică: definirea corectă a celor două sensuri ale rotației: pronație-supinație, atât în poziție de repaus cât și în poziția orizontală a antebrăului.

a) *Mișcările de pronație-supinație* sunt absolut necesare în vederea efectuării actului prehensiunii. Când antebrăul se află în poziție de repaus, adică lăsat liber pe lângă corp cu policele orientat înainte și cu fața palmară medial spre corp, se considera că: pronația este mișcarea prin care fața palmară devine posterioară, iar policele medial.

Supinația este mișcarea inversă, prin care fața palmară privește înainte și policele lateral. Când însă antebrăul este întins orizontal, în poziția de pronație, fața palmară privește în jos (de exemplu, cântatul la pian). În supinație, palma privește în sus (de exemplu, bătaia palmă). Există și o poziție intermediară, când policele este îndreptat în sus.

În poziția de repaus a antebrăului, în cursul mișcării de pronație, extremitatea proximală a radiusului se rotește pe loc (învârtire), în timp ce extremitatea distală execută o mișcare de rotație combinată cu deplasare (translație). În acest caz, raporturile dintre cele două oase se schimbă, în sensul că extremitatea distală a radiusului, trece pe partea medială, deplasându-se în jurul extremității distale a ulnei și astfel cele două oase se încrucișează prin diafizele lor. Supinația se execută prin același mecanism, numai că rotația și translația se produc în sens invers.

b) *Mișcările de pronație și supinație pure* se produc în mod excepțional în activitatea obișnuită. În acest fel de mișcări ulna este imobilă și singurul os ce se mișcă este radiusul. Ele se petrec împrejurul axei diagonale a antebrăului, care trece prin capul radiusului și ulnei.

c) *Mișcările obișnuite de pronație și supinație* nu se produc numai la nivelul celor două articulații radioulnare, ci sunt însoțite de mișcări ale membrului în articulația scapulohumerală. Acest fapt se constată ușor prin urmărirea pozițiilor epicondililor medial și lateral care în aceste mișcări se deplasează de asemenea.

d) *Limitarea mișcărilor de pronație-supinație* se datorează formațiunilor ligamentare și mușchilor periarticulări.

ARTICULAȚIILE MÂINII sunt: articulația radiocarpiană, articulațiile intercarpiene, articulațiile carpometacarpiene și articulațiile intermetacarpiene [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Articulația radiocarpiană face parte din articulațiile elipsoidale. Ea unește radiusul cu rândul proximal al carpului. I se spune articulație radiocarpiană deoarece ulna nu ia parte la formarea ei. Aceasta este separată de oasele carpului prin discul articular al articulației radioulnare distale (figura 3.13).

Suprafețele articulare. De partea antebrațului se află o cavitate de recepție, ovalară, având axa mare orientată transversal. La formarea acesteia iau parte: fața inferioară a epifizei distale radiale, fața articulară carpiană și fața inferioară a discului articular. De partea carpului se află o proeminență elipsoidală formată din oasele: scafoid, semilunar și piramidal, solidarizate prin ligamente interosoase. Scafoidul răspunde fețișoarei laterale, semilunarul fețișoarei mediale și discului articular, iar piramidalul, numai acestui disc. Suprafețele articulare sunt încrustate cu cartilaj hialin.

Mijloacele de unire sunt reprezentate de o capsulă întărită de *ligamente (palmare, ligamentul radiocarpian dorsal, ligamentul colateral radial al carpului și ligamentul colateral ulnar al carpului)*.

Stratul sinovial al capsulei articulare tapetează pe cel fibros și se termină la nivelul cartilajului articular care acoperă suprafețele articulare. El trimite o prelungire înaintea procesului stiloid al radiusului și comunică uneori cu sinoviala articulației radioulnare distale printr-un orificiu situat în discul articular.

Articulațiile intercarpiene (figura 3.13) – sunt grupate în trei categorii:

A. **Articulațiile rândului întâi** care sunt articulații plane, suprafețele articulare aflându-se între scafoid, semilunar și între semilunar-piramidal. Ca mijloace de unire există două ligamente interosoase, două ligamente palmare și două ligamente dorsale. Articulația osului pisiform este tot o articulație plană, cu un număr mai mare de ligamente, cele mai dezvoltate fiind: *ligamentul pisometarpian și ligamentul pisohamat*.

B. **Articulațiile rândului al doilea** sunt articulațiile dintre trapez, trapezoid, osul capitat și osul cu cârlig. Ele sunt articulații plane, mijloacele de unire fiind reprezentate de trei ligamente interosoase, trei ligamente palmare și trei ligamente dorsale.

C. **Articulația mediocarpiană** unește rândul proximal, exceptând pisiformul, cu rândul distal al carpului.

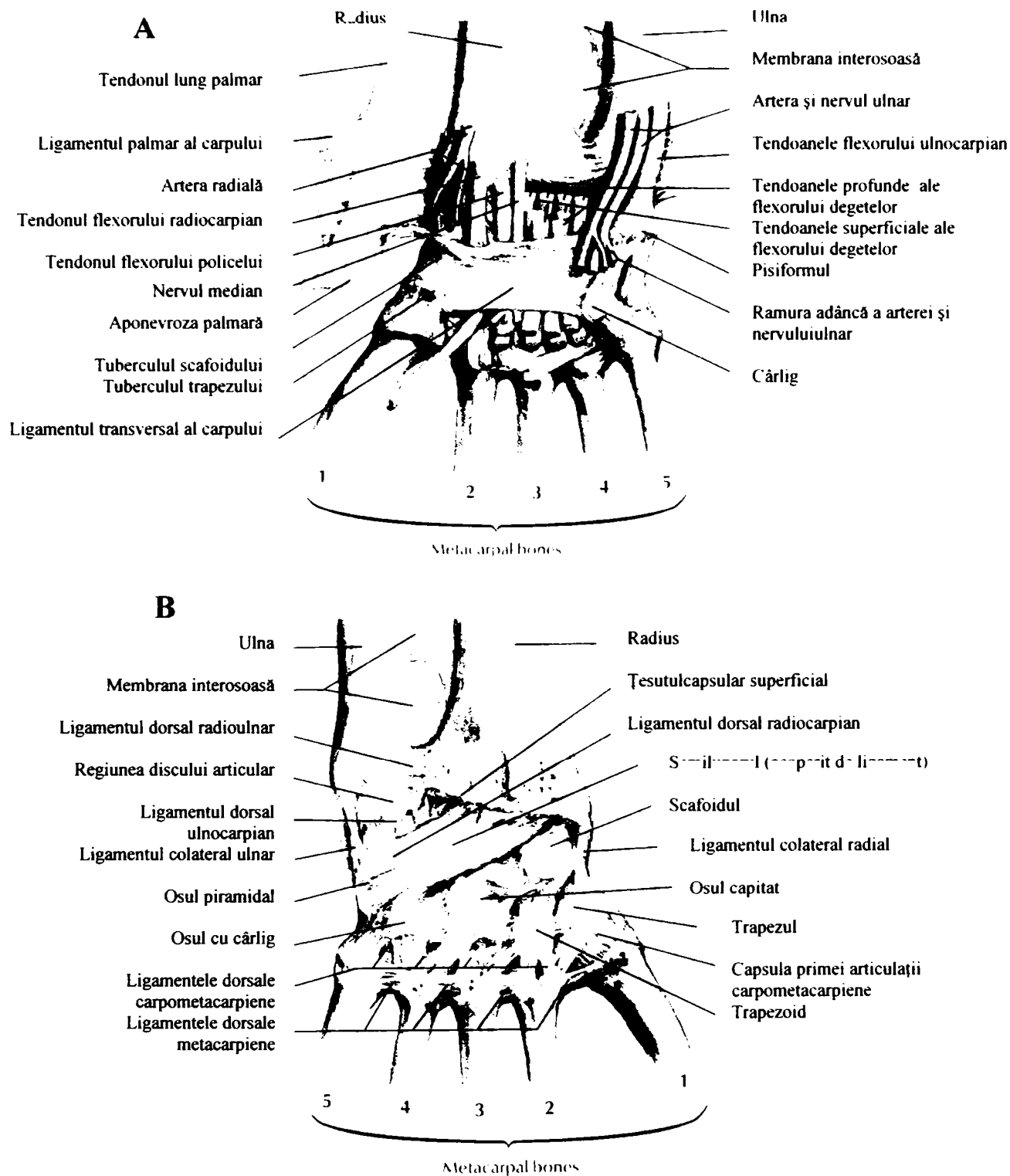


Fig. 3.13. Articulațiile mâinii

A. vedere palmară, B. vedere dorsală

Suprafețele articulare. Considerând articulația în totalitate, se remarcă următoarele caractere: existența a două cavități glenoide și doi condili; rândul proximal prezintă medial o cavitate glenoidă, iar lateral un mic condil format de scafoid; rândul distal prezintă medial un condil voluminos format din osul capitat și osul cu cârlig; suprafața articulară distală se

articulează cu cea proximală, linia articulară având forma unui S.

Mijloacele de unire. Cele două rânduri ale carpului sunt unite printr-o capsulă, întărită prin câteva ligamente: *ligamentul radial al carpului și ligamentul dorsal*.

Mișcări. Complexul osteoarticular carpian este astfel alcătuit încât să permită efectuarea mișcărilor de flexie, extensie, adducție, abducție și circumducție. Cum aceste articulații sunt, în general, articulații plane, fiecare în parte permite mișcări de alunecare de mică amplitudine. Mișcările articulațiilor mâinii se produc simultan, atât în articulația radiocarpiană cât și în cea mediocarpiană. Toate aceste mișcări se realizează printr-o deplasare „în etaj” a segmentelor regiunii; al doilea rând carpian (distal) se deplasează pe primul (proximal), iar acesta alunecă pe antebraț. Deoarece primul rând carpian se găsește între cele două suprafețe articulare, reprezentate de-al doilea rând carpian în partea inferioară și de antebraț, în partea superioară, el a fost comparat ca rol mecanic cu un adevărat menisc.

Flexia-extensia. Flexia este mișcarea prin care palma se apropie de fața anterioară a antebrațului. Extensia este mișcarea prin care dosul mâinii se apropie de fața posterioară a antebrațului. În flexie, primul rând carpian se înclină pe oasele antebrațului. Axul mișcării trece prin osul semilunar. Al doilea rând carpian se mișcă pe primul. Mișcarea se execută împrejurul unei axe transversale care trece prin osul capitat. Flexia se petrece mai cu seamă în articulația radiocarpiană, pe când extensia în cea mediocarpiană. În mișcarea de extensie se produc fenomene analoge, dar de sens contrar.

Adducția-abducția. Adducția sau înclinarea ulnară este mișcarea prin care marginea ulnară a mâinii se înclină către marginea respectivă (ulnară) a antebrațului. Abducția sau înclinarea radială este mișcarea prin care marginea radială a mâinii se înclină către marginea radială a antebrațului. Mecanismul acestor mișcări este de o mare complexitate și încă nu pe deplin elucidat. Mișcările de adducție-abducție sunt însoțite de mișcări accesorii de flexie-extensie, care se produc în jurul unui ax transversal ce trece prin centrul osului capitat.

Mișcarea de circumducție. Rezultă în urma executării succesive a mișcărilor de flexie, abducție, extensie, adducție sau invers. Această mișcare nu reproduce un cerc perfect, ci o elipsă, deoarece flexia și extensia sunt mai ample decât înclinarea laterală. Rotația mâinii este imposibilă în articulațiile mâinii; ea se face prin pronație-supinație, în articulațiile radioulnare.

Articulațiile carpometacarpiane (figura 3.14). Datorită dispoziției anatomice, articulațiile policelui sunt diferite de celelalte patru degete.

Articulația carpometacarpiană a policelui este o articulație în șa. Ca mijloc unic de solidarizare a suprafețelor există o capsulă de forma unui manșon. Ea se inseră pe periferia suprafețelor articulare ale celor două oase.

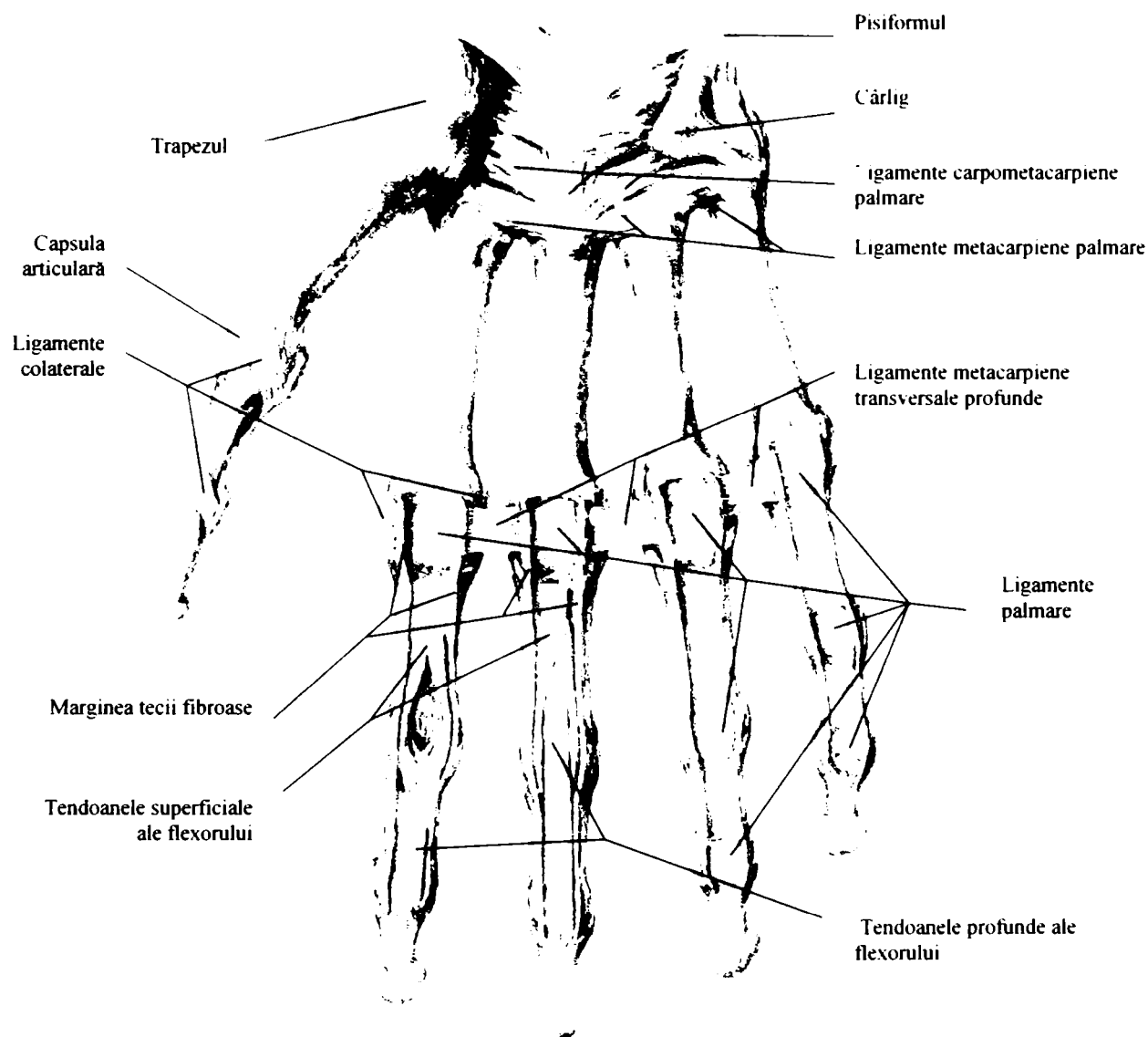


Fig. 3.14. Articulațiile carpometacarpiane și intermetacarpiane

Mișcările policelui se produc împrejurul a două axe: una anteroposterioară care trece prin baza metacarpianului și alta radioulnară ce trece prin trapez. Împrejurul axei anteroposterioare se execută mișcarea de *adducție-abducție*. Adducția este mișcarea prin care policele se apropie de degetul al doilea. Amplitudinea acestei mișcări este de 35-40°. Mișcarea de abducție este aceea prin care policele se îndepărtează de degetul respectiv. Împrejurul axei radioulnare se execută mișcarea de *opoziție-repoziție*. Ea are drept rezultat apropierea și îndepărtarea întregii coloane osoase a policelui de celelalte patru degete.

Articulațiile carpometacarpiane ale celorlalte degete reprezintă articulațiile dintre cele patru oase metacarpiane cu cele ale rândului distal carpian. Ele sunt articulații plane.

Articulațiile intermetacarpiane (figura 3.14). Cu excepția primului metacarpian, toate celelalte metacarpiane sunt unite între ele la extremitățile lor proximale prin articulații, iar la extremitățile lor distale, printr-un ligament [11], [12], [13].

ARTICULAȚIILE DEGETELOR. Falangele sunt unite între ele prin articulații interfalangiene. Primele falange sunt unite cu metacarpianii formând articulațiile metacarpofalangiene (figura 3.15) [1], [5], [18], [66], [95], [100], [104].

Articulațiile metacarpofalangiene sunt de tip elipsoid.

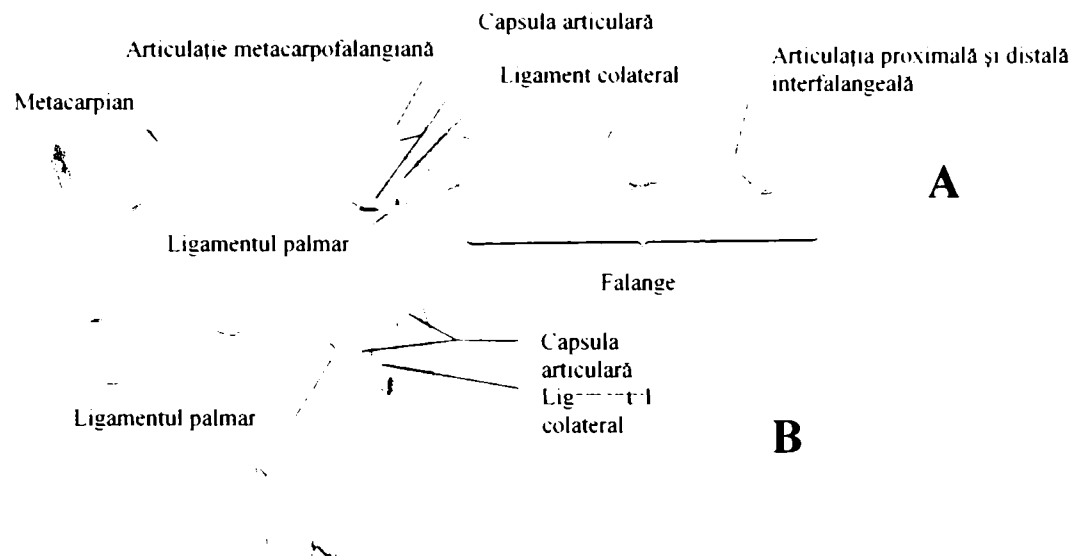


Fig. 3.15. Articulațiile degetelor

A. vedere medială (în extensie), B. vedere medială (în flexie)

Suprafețele articulare sunt reprezentate de capetele rotunde ale metacarpianilor care pătrund în cavitățile puțin adânci de pe baza falangelor proximale.

Mijloacele de unire. Capsula articulară este de forma unui manșon care unește extremitățile oaselor. Ligamentele corespunzătoare sunt: *ligamentele palmare*, *ligamentele colaterale* și *ligamentul metacarpian transvers profund*.

Mișcările. Articulațiile metacarpofalangiene prezintă următoarele mișcări:

a) *Mișcări de flexie și extensie a degetelor.* Ele se execută împrejurul unei axe radioulnare care trece prin capul metacarpianilor. În flexie, prima falangă se înclină pe palma mâinii ca în închiderea pumnului, iar în extensie ea se îndepărtează de aceasta. Aceste mișcări se produc fie izolat, fie simultan în cele trei articulații ale degetelor (metacarpofalangiene, interfalangiene proximale și interfalangiene distale).

b) *Înclinarea marginală*. Prin această mișcare, falanga poate fi dusă în sens ulnar (adducție) în jurul unei axe dorsopalmare ce trece prin capul metacarpianilor. Această mișcare de înclinare este posibilă numai cu degetele în extensie.

c) *Circumducția*. Rezultă din executarea succesivă a mișcărilor descrise anterior.

Articulațiile interfalangiene. Degetele mâinii prezintă câte două articulații: una proximală și alta distală.

Suprafețele articulare. Suprafața proximală este reprezentată prin extremitățile distale ale primei și ale celei de a II-a falange. Este o trohlee ce prezintă pe laturile ei două depresiuni care servesc pentru inserții ligamentare. Suprafața distală este reprezentată de extremitățile proximale ale celei de-a II-a și a III-a falange. Prezintă o creastă anteroposterioară ce răspunde șanțului trohleei și două mici cavități care răspund povârnișurilor trohleene.

Mijloacele de unire sunt reprezentate de o capsulă întărită de un ligament palmar și două ligamente colaterale.

Mișcările. În aceste articulații se pot executa mișcări de flexie, prin care degetele se apropie de palmă, și mișcări de extensie, prin care se îndepărtează. Aceste mișcări se produc în jurul unei axe transversale ce trece prin trohleea extremității distale a falangelor I și II.

3.3. Mușchii membrului superior

Mușchii membrului superior sunt: mușchii umărului, ai brațului, ai antebrațului, ai mâinii, precum și formațiunile anexate lor.

MUȘCHII UMĂRULUI formează o masă musculară, dispusă sub forma unui con cu baza la torace și vârful la humerus. Ei sunt în număr de șase: deltoidul, supraspinosul, infraspinosul, rotundul mare, rotundul mic și subscapularul (figura 3.16) [1], [5], [18], [57], [58], [66], [95], [100], [104].

Mușchiul deltoid este cel mai superficial și cel mai voluminos dintre mușchii umărului. Are formă triunghiulară și învelește articulația scapulohumerală. Inserția deltoidului pe humerus se face sub cea a pectoralului mare. Marginea anterioară a mușchiului formează cu pectoralul mare spațiul deltopectoral, iar marginea posterioară încrucișează mușchii infraspinos, rotund mare, rotund mic și triceps. Vârful se prinde pe tuberozitatea deltoidiană, iar baza răspunde liniei de inserție a trapezului.

Mușchiul supraspinos are originea în fosa supraspinoasă a scapulei și pe fascia cu caracter de aponevroză ce acoperă mușchiul. Fibrele musculare se îndreaptă anterior și lateral trecând peste articulația scapulohumerală și se adună într-un tendon ce se inseră pe fețișoara de inserție superioară de pe tuberculul mare al humerusului. Mușchiul este acoperit de trapez și acoperă fosa supraspinoasă și capsula articulație umărului.

Mușchiul infraspinos ocupă cea mai mare parte a fosei infraspinoase. Originea se află în fosa infraspinoasă prin fibre tendinoase și pe fascia infraspinoasă ce-l acoperă. Fibrele converg într-un tendon ce trece posterior de articulația umărului și se inseră pe fețișoara mijlocie a tuberculului mare al humerusului. Mușchiul este un rotator în afară al humerusului și un tensor al capsulei articulare.

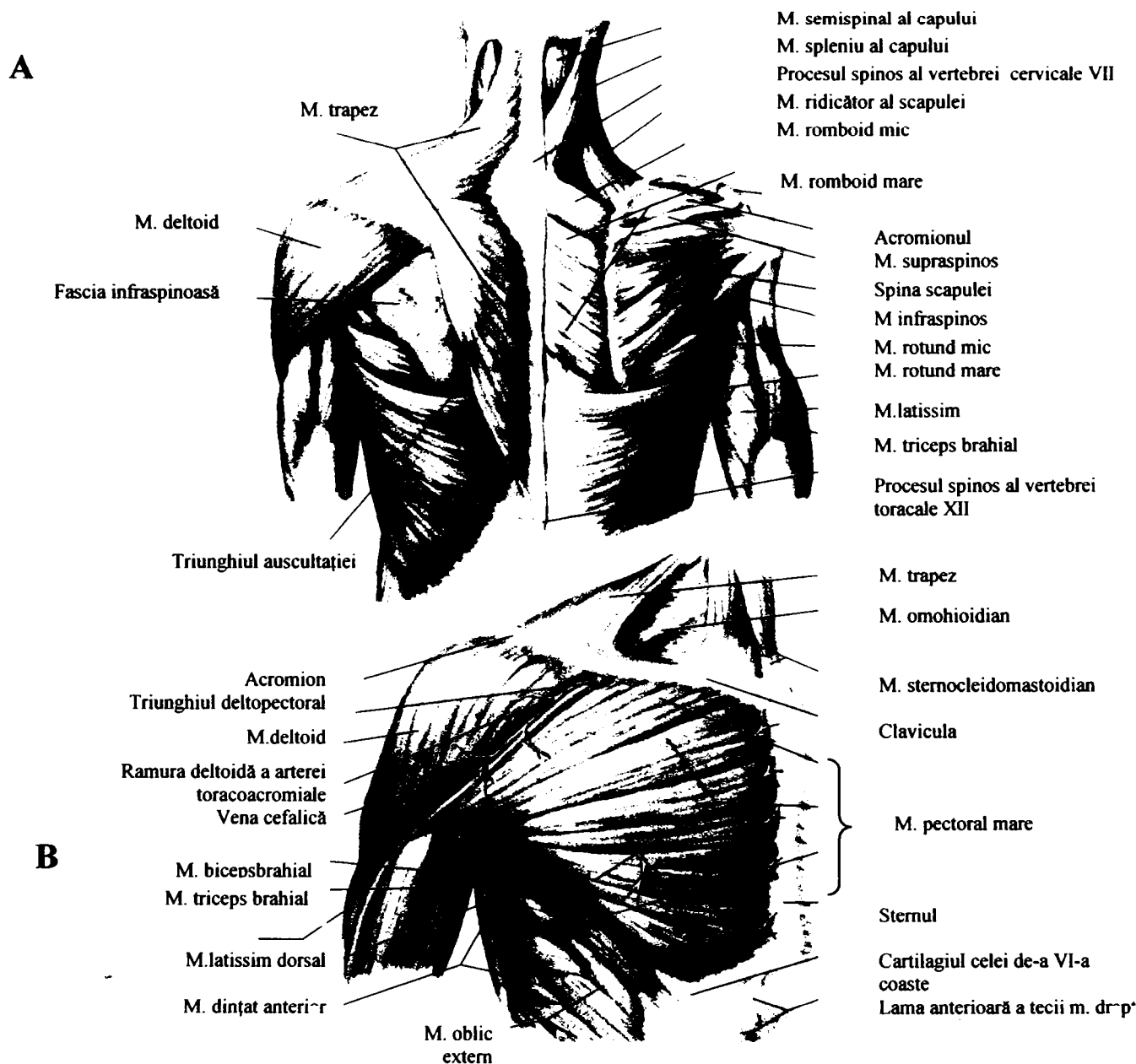


Fig. 3.16. Mușchii umărului

A. vedere posterioară, B. vedere anterioară

Mușchiul rotund mic este situat lateral de mușchiul infraspinos, cu care se confundă la prima vedere. Are originea pe fața posterioară a scapulei, în vecinătatea marginii laterale a acesteia și pe fața profundă a fasciei infraspinoase. Mușchiul se îndreaptă lateral și în sus, trecând înapoia articulației scapulohumerale, de a cărei capsulă aderă și se termină printr-un tendon pe fețișoara inferioară a tuberculului mare al humerusului.

Mușchiul rotund mare este alungit, voluminos și puternic, întins de la unghiul inferior al scapulei, la creasta tuberculului mic al humerusului. Medial pornește de pe unghiul inferior al scapulei și jumătatea inferioară a fâșiei osoase situate de-a lungul marginii laterale a osului, având fibre inserate și pe fața profundă a fasciei infraspinoase.

Mușchiul subscapular este un mușchi triunghiular situat în fosa subscapulară. Are originea în fosa subscapulară; de aici toate fibrele converg lateral într-un tendon ce aderă strâns de capsula articulației scapulohumerale și se inseră pe tuberculul mic al humerusului. Fața posterioară acoperă fosa subscapulară; fața anterioară se aplică parțial pe torace, iar în rest se desprinde de acesta și ia parte la formarea peretelui posterior al axilei.

MUȘCHII BRATULUI sunt așezați în două regiuni: regiunea anterioară, cu mușchii biceps brahial, coracobrahial și brahial; regiunea posterioară, cu mușchiul triceps. Aceste regiuni sunt separate între ele prin septe intermusculare ce provin din fascia brațului. Ei sunt reprezentați în figura 3.17 [1], [5], [18], [58], [66], [95], [100], [104].

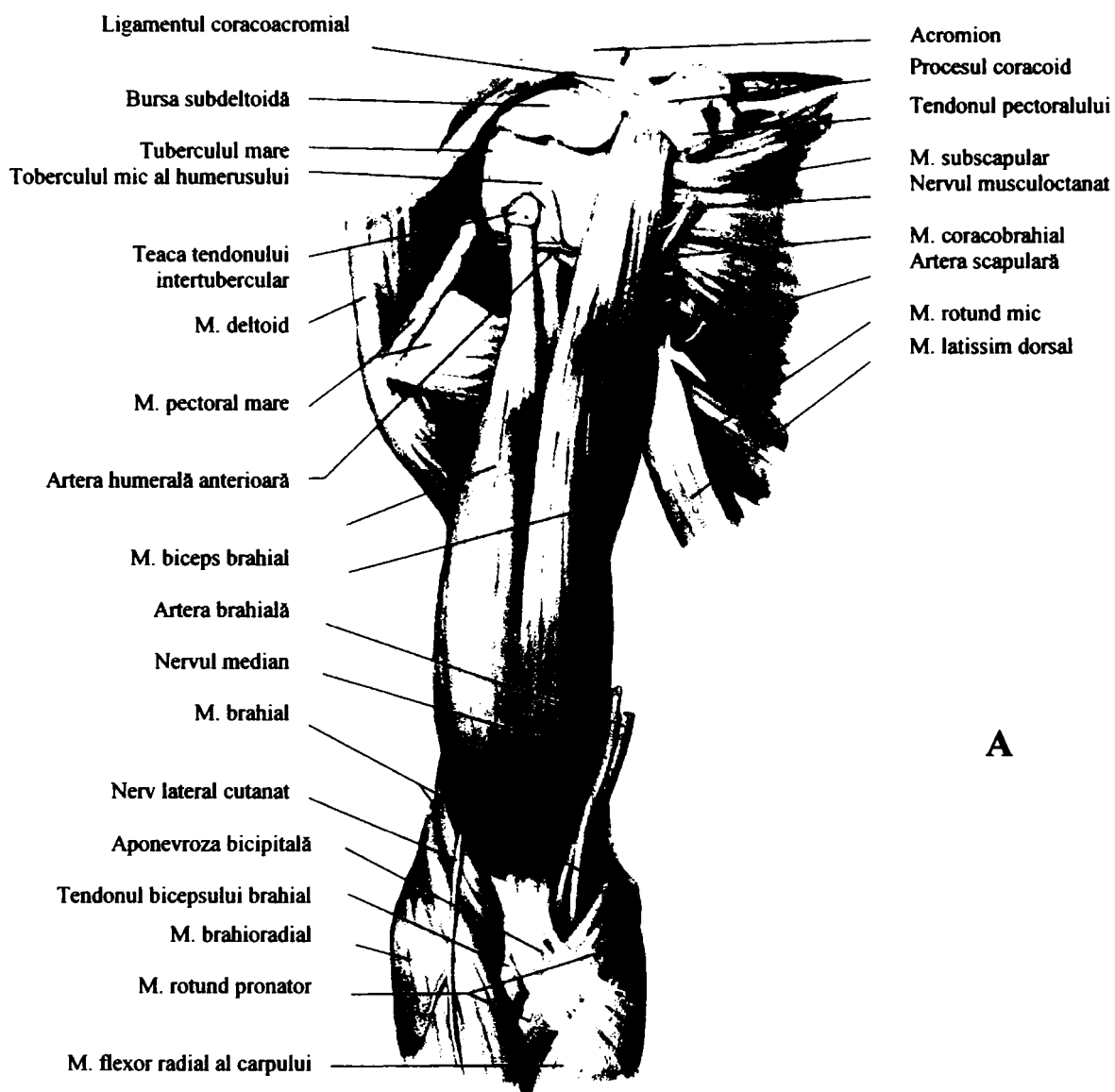
Mușchiul biceps brahial este un mușchi lung, fusiform, cu originea pe scapulă, având două capete distincte: lung și scurt, care se unesc într-un corp muscular ce coboară prin loja anterioară a brațului și se termină pe extremitatea superioară a radiusului. Medial de el există un șanț bicipital care răspunde traiectului arterei brahiale, iar lateral, când mușchiul biceps este contractat, apare șanțul bicipital lateral.

Mușchiul coracobrahial este un mușchi situat medial față de capul scurt al bicepsului. Între mușchiul coracobrahial și mușchiul subscapular se găsește bursa mușchiului coracobrahial. Este un adductor și proiector înainte al brațului.

Mușchiul brahial este un mușchi lățit, situat la partea anterioară și inferioară a brațului, înapoia bicepsului, dă lărgime brațului în partea lui inferioară. Este cel mai puternic flexor al antebrațului pe braț și un tensor al capsulei articulației cotului.

Mușchiul triceps brahial este un mușchi voluminos, format din trei porțiuni: o porțiune lungă și două scurte. Cele trei porțiuni merg în jos și se inseră printr-un tendon comun puternic pe fața posterioară și pe cele două margini ale olecranului. Posterior, el este

acoperit de deltoid și mai jos de piele, anterior, este separat prin nervul radial și prin artera brahială profundă, de humerus. Mușchiul este extensor al antebrăului, tensor al capsulei articulare, extensor și aductor al brațului prin capul lung.



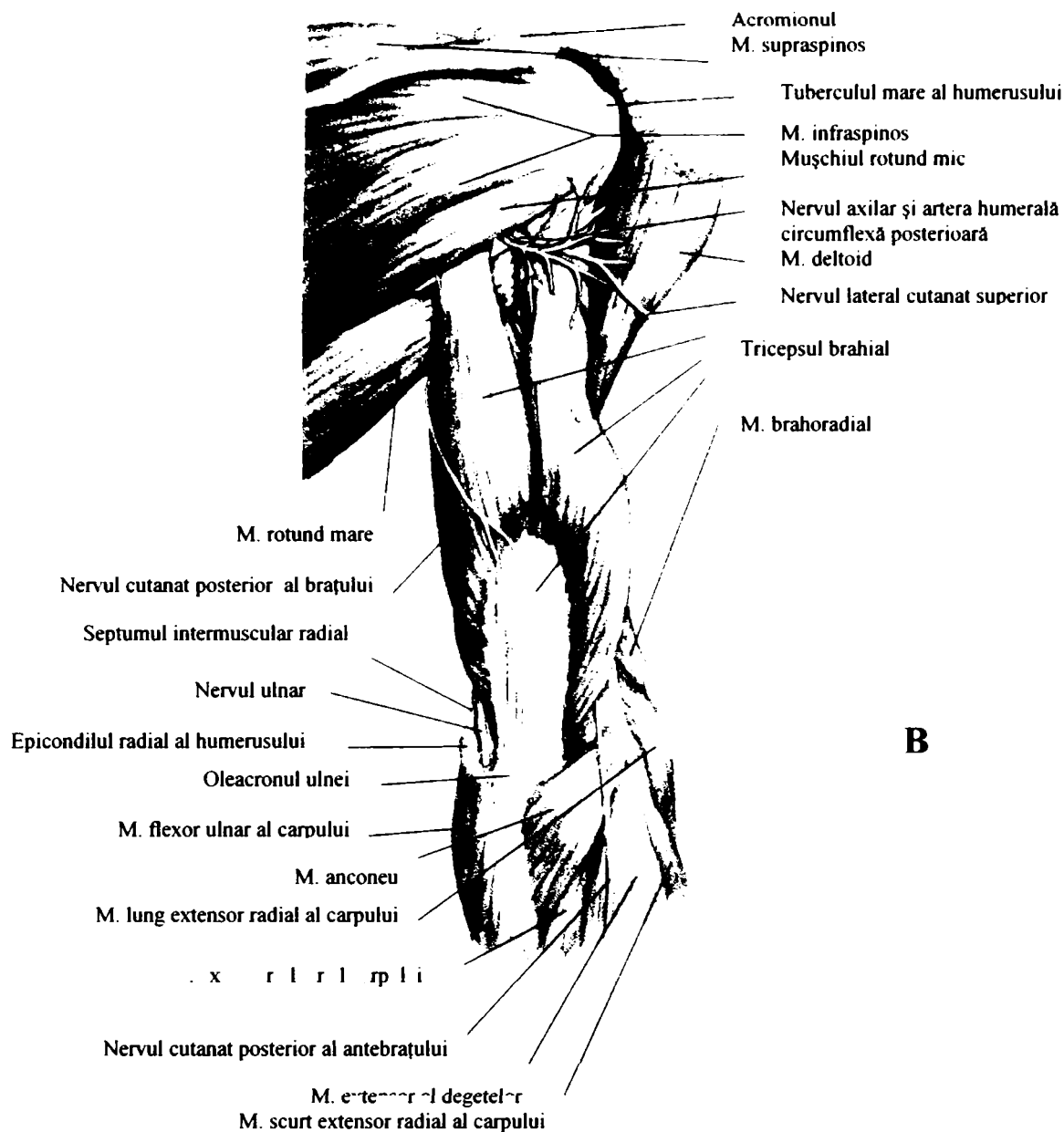


Fig. 3.17. Mușchii brațului

A. vedere anterioară, B. vedere posterioară

MUȘCHII ANTEBRAȚULUI sunt grupați în trei regiuni: anterioară, laterală, și posterioară. Ei sunt reprezentați în figura 3.18. [1], [5], [18], [58], [66], [95], [100], [104].

Regiunea anterioară cuprinde opt mușchi dispuși în patru planuri:

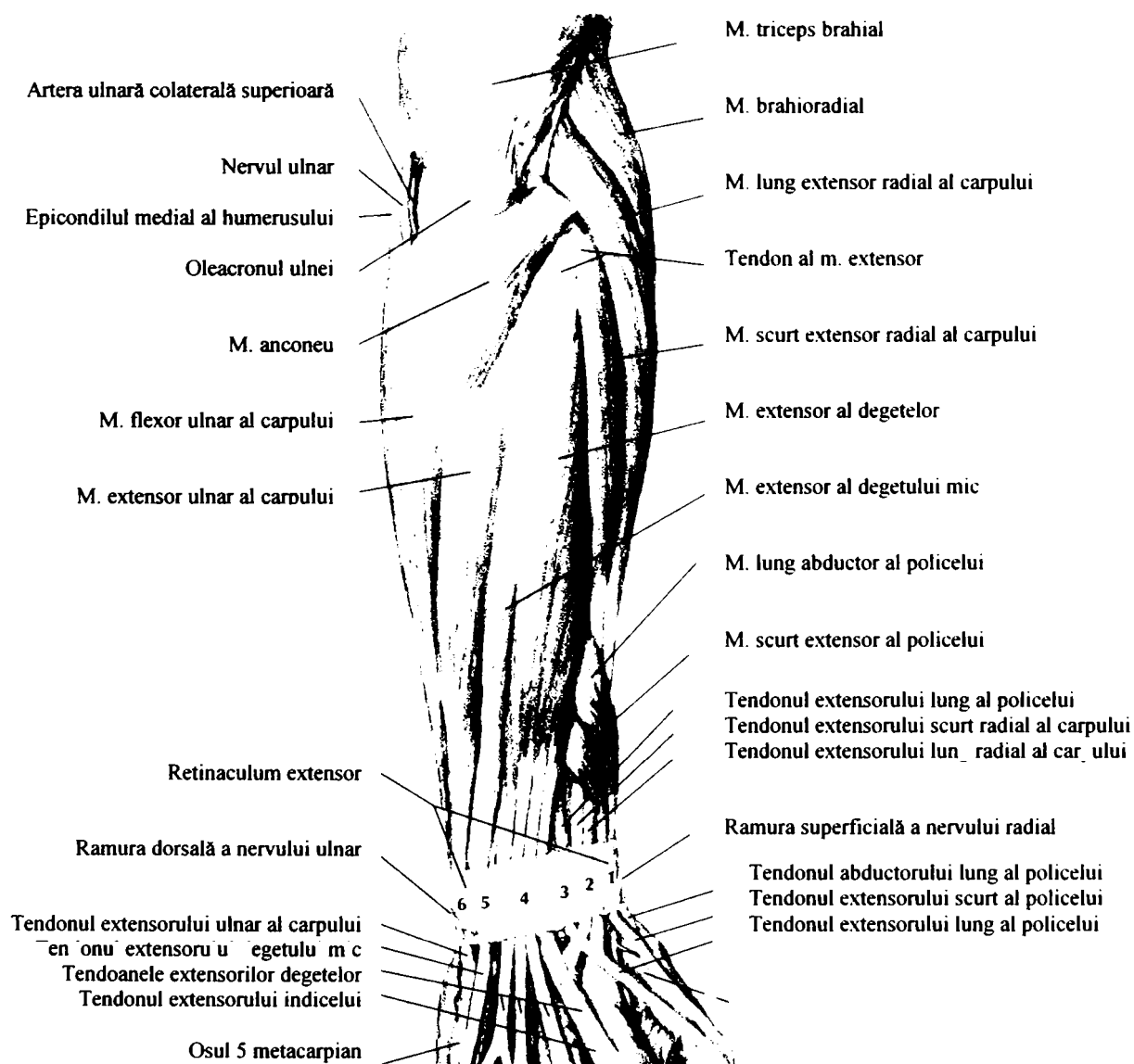
- primul plan este format din: mușchii rotund pronator, flexor radial al capului, palmar lung, flexor ulnar al capului;
- planul al doilea este format din flexorul superficial al degetelor;
- planul al treilea este format din: mușchii flexor profund al degetelor și flexor lung al policelui;
- planul al patrulea este format din mușchiul pătrat pronator.

Mușchiul rotund pronator prezintă două raporturi principale: marginea lui laterală formează cu brahioradialul triunghiul cotului în care pătrunde bicepsul brahial, iar între biceps și rotundul pronator se află artera brahială acoperită de apronervoza mușchiului biceps. Este un pronator al mâinii, iar prin capul humeral, flexor al antebrăului pe braț.

Mușchiul flexor radial a capului are fața superficială acoperită de fascia antebrascială și piele, iar fața profundă acoperă mușchii flexor superficial al degetelor și flexor lung al policelui. Este un flexor al mâinii pe antebrăț, slab flexor al antebrăului pe braț, slab abductor al mâinii și pronator al antebrăului.

Mușchiul palmar lung se întinde de la epicondilul medial la retinaculul flexorilor, fiind situat medial de flexorul radial al carpului. Este un slab flexor al mâinii și al antebrăului.

A



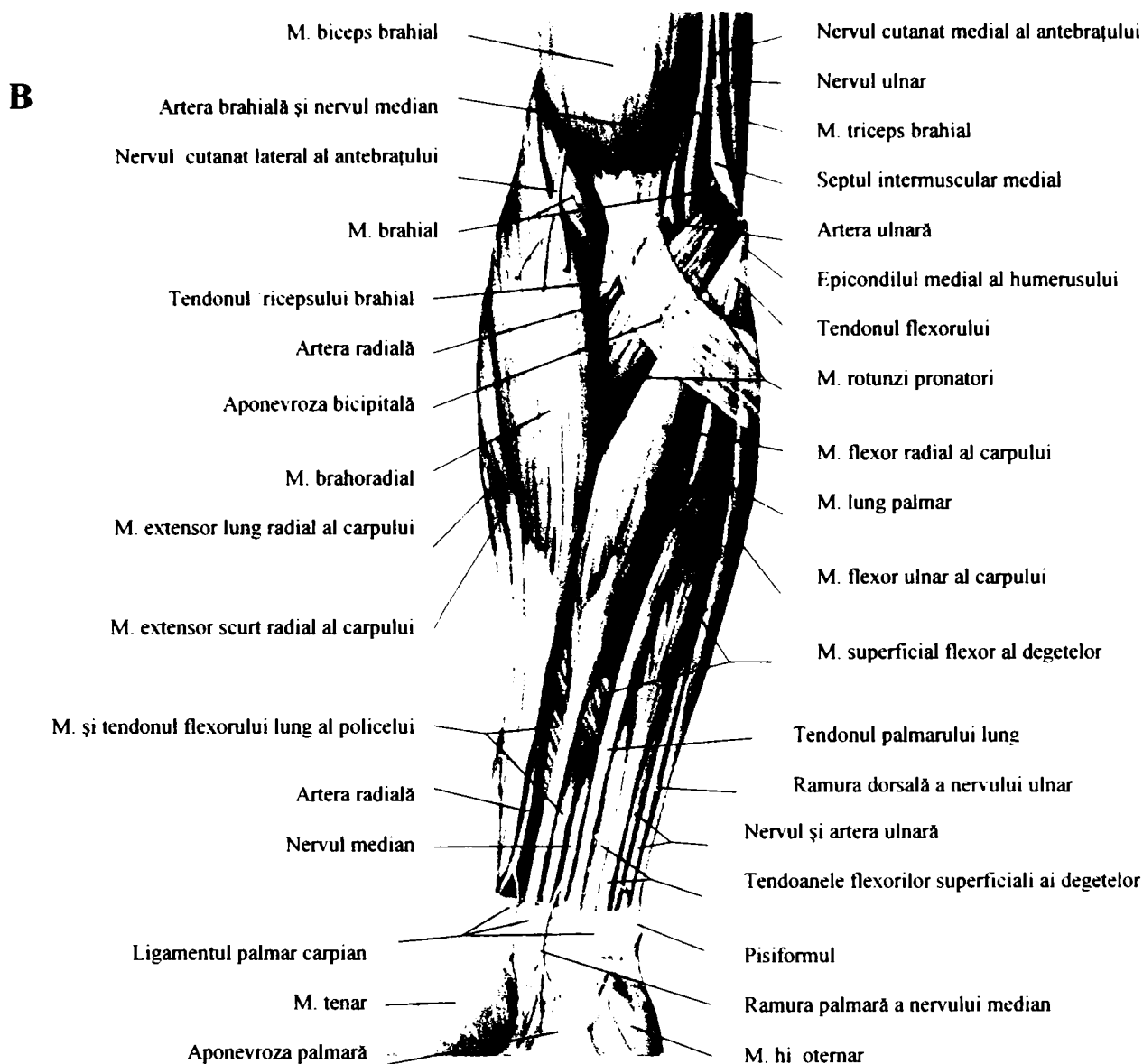


Fig. 3.18. Mușchii antebrațului

A. vedere posterioară, B. vedere anterioară

Mușchiul flexor ulnar al carpului prezintă un traiect paralel cu ulna, de la epicodilul medial la pisiform. Este flexor și aductor al mâinii.

Mușchiul flexor superficial al degetelor formează singur planul al doilea al mușchilor regiunii anterioare a antebrațului. La antebraț mușchiul este așezat pe flexorul profund al degetelor, de care este separat prin nervul median și artera ulnară și este acoperit de planul muscular superficial și piele. La gâtul mâinii, tendoanele trec prin canalul osteofibros al carpului împreună cu cele ale flexorului profund al degetelor și flexorului lung al policelui, precum și cu nervul median. Este un aductor al mâinii și apropie degetele depărtate.

Mușchiul flexor profund al degetelor formează partea medială a stratului al treilea muscular. La antebraț, mușchiul fiind așezat pe ulnă, pe membrana ineroasă și pe pătratul

pronator, este acoperit de flexorul superficial al degetelor și de flexorul ulnar al carpului. La gâtul mâinii și la degete are raporturi identice cu ale flexorului superficial. Este flexor al ultimelor două falange, al mâinii pe antebraț și aductor al mâinii.

Mușchiul flexor lung al policelui este un mușchi situat în același plan cu precedentul, dar lateral de el. La antebraț este acoperit de mușchii planurilor precedente și acoperă radiusul și membrana interosoasă. Marginea lui laterală vine în raport cu capul radial a flexorului superficial al degetelor, iar marginea medială, cu flexorul profund al degetelor, de care este separat printr-un interstițiu. La gâtul mâinii, trece înapoia retinaculului flexorilor, în canalul carpian. La mână trece printre cele două fascicule ale flexorului scurt al policelui. Mușchiul flectează falanga distală pe cea proximală, degetul pe metacarpian și mâna pe antebraț.

Mușchiul pătrat pronator este un mușchi care se întinde între porțiunile distale ale ulnei și radiusului. Mușchiul acoperă scheletul antebrațului și articulația radioulnară distală și este acoperit de flexorul lung al policelui, de flexorul profund al degetelor și de flexorul ulnar al carpului. Este un pronator al mâinii și antebrațului, dar poate interveni secundar și în mișcarea de supinație.

Regiunea posterioară a antebrațului este formată din opt mușchi dispuși pe două planuri:

- planul superficial format din patru mușchi: extensorul degetelor, extensorul degetului mic, extensorul ulnar al carpului și aconeul;
- planul profund format din patru mușchi: lungul abductor al policelui, scurtul extensor al policelui, lungul extensor al policelui și extensorul indexului.

Mușchiul extensor a degetelor prezintă o față posterioară acoperită la nivelul antebrațului de piele și de fascia antebrahială, la gâtul mâinii de retinacul extensorilor, iar la mână de fascia dorsală a mâinii. Prin față sa anterioară extensorul degetelor acoperă mușchiul supinator și mușchii planului profund al antebrațului, articulația radiocarpiană, mușchii interosoși dorsali și falangele. Mușchiul este un aductor al mâini și abductor al degetelor.

Mușchiul extensor al degetului mic este un mușchi situat medial de extensorul degetelor și fuzionat adesea cu acesta. Inserțiile se fac pe epicondilul lateral, fascia antebrahială și pe despărțitoarele fibroase care îl separă de mușchii vecini.

Mușchiul extensor ulnar al carpului este situat medial de precedentul. Proximal se inseră pe epicondilul lateral, pe marginea posterioară a ulnei și pe fascia antebrahială. Este acoperit de fascia antebrahială și piele. Mușchiul este un extensor și adductor al mâinii.

Mușchiul anconeu este un mușchi mic, triunghiular, situat în regiunea cotului, care din punct de vedere anatomic și fiziologic poate fi considerat ca o porțiune a tricepsului brahial. Fața superficială este acoperită de piele și fascicule, fața profundă vine în raport cu articulația cotului și mușchiului supinator. Mușchiul este un extensor al antebrațului.

Mușchiul abductor lung al policelui este cel mai lateral și mai puternic dintre mușchii planului profund. În partea proximală este acoperit de mușchii precedenți; în partea distală a antebrațului devine superficial și este acoperit doar de fascia antebrahială și piele. Mușchiul este abductor al policelui și la mână.

Mușchiul extensor scurt al policelui este situat medial de precedentul și prezintă aceleași raporturi ca acesta. Este extensor și abductor al policelui.

Mușchiul extensor lung al policelui este situat medial de precedentul. La antebraț, mușchiul are aceleași raporturi ca și precedenții. La gâtul mâinii, între tendoanele scurtului extensor și lungului abductor, situate lateral, și tendonul lungului extensor situat medial, se delimitează un triunghi care corespunde la suprafață depresiunii denumite „tabachera anatomică”. Mușchiul extinde falanga distală a policelui, înclinând lateral și extinzând ușor întreaga mână.

Mușchiul extensor al indexului este mușchiul cel mai medial din grupul mușchilor profunzi. La nivelul antebrațului este acoperit de mușchii superficiali, iar la mână, de fascie și piele; acoperă ulna, articulația radiocarpiană, carpul și metacarpul. Mușchiul este extensor al indexului și ajută la extensia mâinii.

Regiunea laterală a antebrațului cuprinde patru mușchi, așezați pe două planuri:

- planul superficial format din trei mușchi: brahioradial, lung extensor radial al carpului și scurt extensor radial al carpului;
- planul profund format dintr-un singur mușchi: mușchiul supinator.

Mușchiul brahioradial este cel mai superficial și cel mai puternic mușchi al grupului lateral. Raporturile principale sunt formate de marginea anterioară. La braț această margine formează cu mușchii brahial și biceps șanțul bicipital lateral, prin care trec nervul radial și artera recurentă radială. Mușchiul este un puternic flexor al antebrațului pe braț.

Mușchiul lung extensor radial al carpului acoperă articulația cotului, scurtul extensor radial al carpului și articulația radiocarpiană. El este acoperit de brahioradial, iar distal este încrucișat superficial de tendoanele lungului abductor, scurtului extensor și lungului extensor al policelui. Este extensor și abductor al mâinii, flectează antebrațul pe braț și contribuie la supinație.

Mușchiul scurt extensor radial al carpului este un mușchi mai scurt și acoperit în parte de precedentul. Este acoperit de mușchiul lung extensor radial al carpului, de care se desparte numai în apropierea inserției distale. Împreună cu acesta este încrucișat superficial de mușchii lung abductor, scurt extensor și lung extensor al policelui. Extensorul scurt acoperă radiusul, mușchiul supinator și mușchiul rotund pronator. Este extensor și abductor al mâinii.

Mușchiul supinator este un mușchi scurt și gros, situat profund față de mușchii precedenți. Mușchiul este profund situat, acoperit fiind de cei doi extensori radiali ai carpului, precum și de mușchii planului superficial al regiunii posterioare. Fața lui profundă acoperă articulația cotului. Este cel mai puternic și mai constant supinator al antebrațului și al mâinii.

MUȘCHII MÂINII. Deși cel mai mic segment al membrului superior, mâna posedă un aparat muscular complex, în raport cu mișcările fine pe care le execută. Are mușchi numai pe fața palmară și în spațiile interosoase, fața dorsală conținând doar tendoalele mușchilor posteriori ai antebrațului. Cei 19 mușchi ai palmei sunt grupați în trei regiuni: o regiune laterală numită eminența tenară, care cuprinde mușchii ce deservește degetul mare; o regiune medială numită eminența hipotenară, cu mușchii ce deservește degetul mic; o regiune mijlocie, cu mușchii interosoși și lombricali. Ei sunt reprezentați în figura 3.19. [1], [5], [18], [58], [66], [95], [100], [104].

Regiunea laterală cuprinde patru mușchi, așezați pe trei planuri:

- primul plan planul întâi format dintr-un singur mușchi: scurt abductor al policelui;
- planul al doilea este format din doi mușchi: opozant al policelui, scurt flexor al policelui;
- planul al treilea format dintr-un singur mușchi: adductor al policelui.

Între mușchii planurilor I și II trece tendonul flexorului lung al policelui. Adductorul răspunde prin fața sa profundă interosoșilor primelor două spații.

Regiunea medială cuprinde patru mușchi, așezați pe trei planuri:

- primul plan format dintr-un singur mușchi: palmar scurt;
- planul al doilea format din doi mușchi: flexorul scurt al degetului mic, abductorul degetului mic;
- planul al treilea format dintr-un singur mușchi: opozantul degetului mic.

Cu excepția palmarului scurt, care este un mușchi cutanat, inserat pe aponevroza palmară, și pe fața profundă a pieii regiunii, ceilalți își au originea pe retinaculul flexorilor, pe

osul pisiform și pe osul cu cârlig, iar inserția pe baza proximală în cazul abductorului și a scurtului flexor, pe marginea medială a metacarpianului al cincilea, pentru opozant.

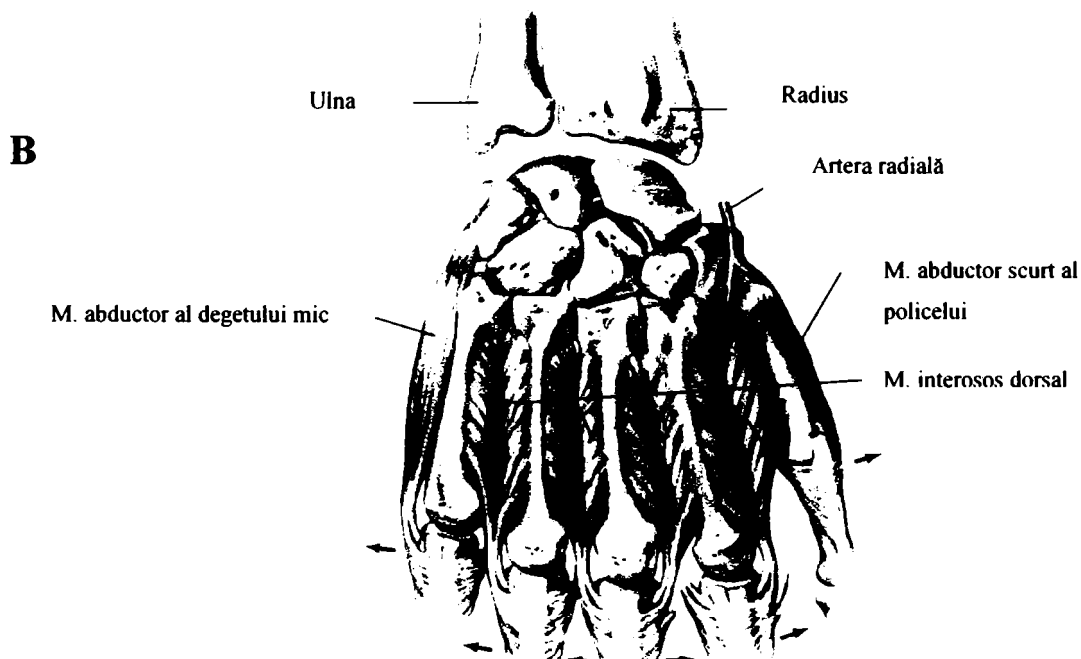
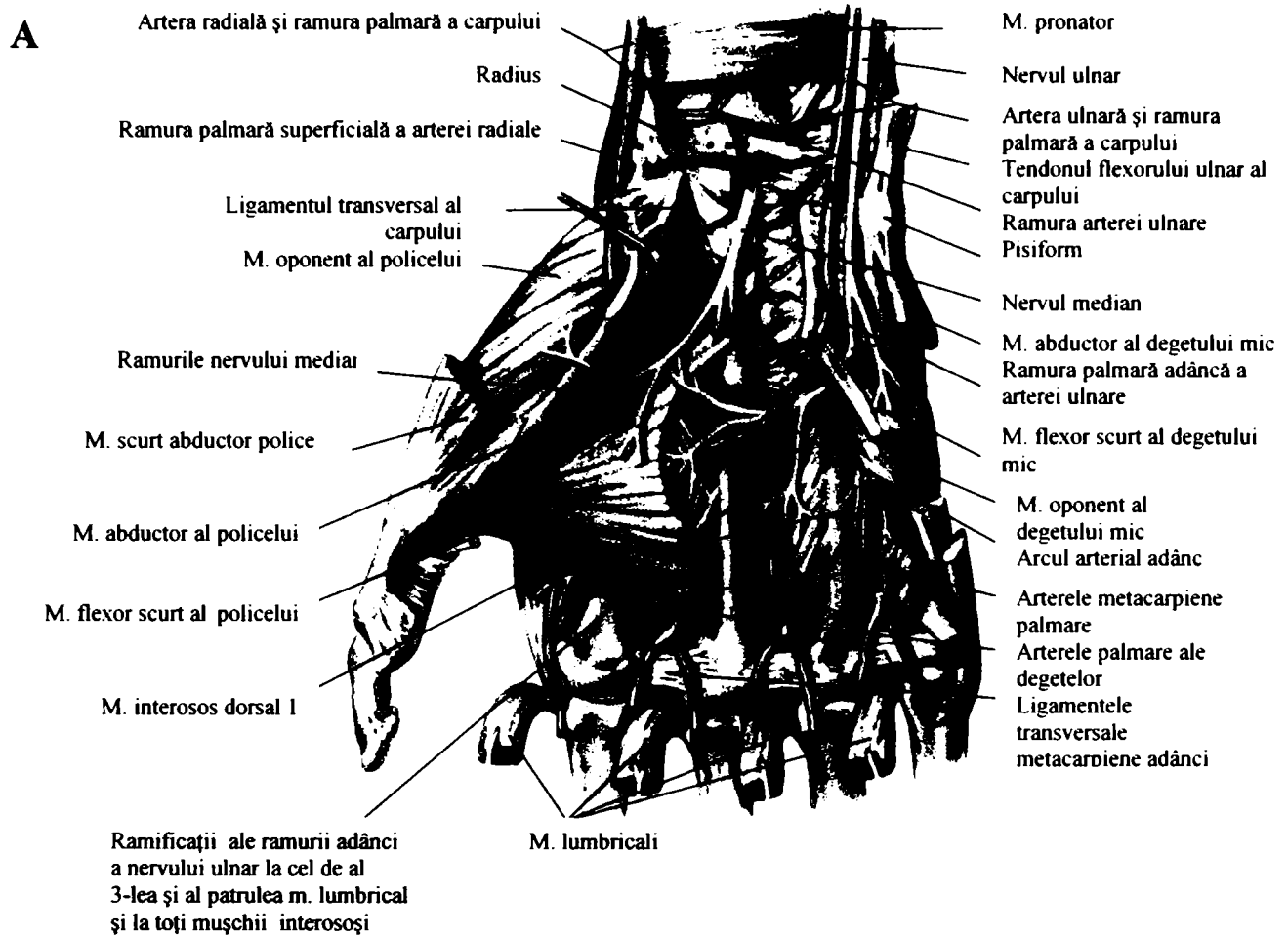


Fig. 3.19. Mușchii mâinii

A. vedere anterioară, B. vedere posterioară

Regiunea mijlocie cuprinde tendoanele mușchilor flexori, mușchii lombricali și mușchii interosoși.

Mușchii lombricali sunt în număr de patru și sunt anexați tendoanelor flexorului profund al degetelor și situați pe același plan cu ele. Originea lor se găsește pe tendoanele flexorului profund al degetelor între care sunt situați. Primii doi se inseră pe câte un singur tendon, și anume pe fața laterală, iar ultimii doi, pe ambele tendoane învecinate.

Mușchii interosoși completează spațiile dintre metacarpiene și după situația lor, sunt de două feluri: palmari și dorsali.

CAPITOLUL IV. MODELAREA GEOMETRICĂ A MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

Apariția tehnicilor de informatizare a adus noi posibilități în procesul de modelare. Deși există numeroase metode de modelare cum ar fi modelarea cu rețele Petri, modelarea prin limbaj VRML, în cazul reprezentării și modelării solidelor, cea mai potrivită tehnică de modelare este modelarea geometrică, existând în prezent numeroase aplicații ale acesteia în grafica pe calculator.

Funcție de structurile de date și de informațiile de model stocate, sistemele 3D sunt clasificate în:

- orientate pe muchii (wireframe);
- orientate pe suprafețe (surface model);
- orientate pe volume (solid model).

Dintre acestea, modelele solide (orientate pe volume) înmagazinează cea mai completă descriere geometrică. Cu toate acestea, modelatoarele de solide sunt încă destul de complicat de utilizat, în general, și sunt limitate atât în complexitatea cât și în acuratețea geometriei.

4.1. Tehnici de descriere a modelelor geometrice

Modelele solide pot fi obținute prin următoarele tehnici mai frecvente [39], [110], [119], [131]:

- ★ prin frontiere (B-rep);
- ★ geometria constructivă a solidelor (CSG);
- ★ prin enumerare spațială (octree);
- ★ prin baleiere (sweeping);
- ★ analitic (ASM - Analytic Solid Model);
- ★ parametric/procedural.

La conceperea lor, formele modelelor solide pot fi gândite în termenii unor forme geometrice elementare (primitive de tipul prismă, cilindru, sferă, con etc.), sau în termenii unor forme elementare din punct de vedere al generării tehnologice.

Modelele de solide trebuie să satisfacă un grup de **cerințe**:

- ★ **validitatea**: să existe un obiect real corespunzător oricărui model posibil de creat;
- ★ **universalitatea**: să se poată crea un model pentru orice obiect 3D;
- ★ **unicitatea interpretării**: unei reprezentări concrete îi corespunde doar un singur obiect;
- ★ **unicitatea expresiei** (neambiguitatea): unui obiect 3D îi corespunde doar un singur model;
- ★ **caracterul complet**: toate operațiile suportate să fie aplicabile tuturor reprezentărilor (să genereze în toate cazurile entități valide ca operanzi pentru toate operațiile);
- ★ **conciziunea**: informația conținută în model să fie minimă.

Modelarea prin frontiere (B-rep)

Modelele 3D construite prin enumerarea fețelor ce separă obiectele, obiecte definite prin „coaja” lor, se numesc **modele prin frontiere B-rep (Boundary representation)**. Modelul memorează și poziția interiorului obiectului față de fețe. Tehnica este avantajoasă pentru vizualizări, dar nu este bine adaptată pentru unele operații analitice, precum calculul centrului de greutate sau al momentelor de inerție.

Modelele prin frontiere au dificultăți în respectarea cerințelor pentru modele solide valide. De exemplu, o problemă o constituie *asigurarea continuității geometrice*, mai ales la aplicarea unor modificări modelului. Pot apărea fețe flotante, cu muchii ce aparțin doar unei fețe. Într-un model corect muchiile se află la intersecția a numai două fețe. O altă problemă este *compatibilitatea*: suprafața generată trebuie să fie fizic posibilă. Sunt excluse auto-intersectările și ambiguitățile în orientare. Normalele celor două fețe ce se întâlnesc într-o muchie trebuie să fie orientate compatibil. Din cauza acestor probleme potențiale, utilizatorul va avea acces doar la nivelul unei interfețe tip CSG.

Modelarea prin geometria constructivă a solidelor (CSG)

Motivația acestei tehnici de modelare este realizarea unui mod interactiv de modelare a solidelor. Modelele complexe se pot crea grupând componente mai simple, denumite sub-obiecte sau primitive. Astfel primitive sunt, de exemplu: cuburi, conuri, cilindri, sfere. În

tehnică, prin **geometria constructivă a solidelor (CSG)**, modelul este reprezentat printr-un arbore (sau graf, pentru modele complexe). La capetele ramurilor arborelui se află obiecte primitive parametrabile, iar în noduri, operatori pe mulțimi sau transformări liniare. Fiecărui nod îi corespunde un sub-obiect. Tehnica CSG este avantajoasă în cazul modificării geometriei, dar nu este adaptată vizualizării. De aceea, uneori se păstrează în memorie două versiuni de model, una CSG și una B-rep pentru vizualizare.

Având în vedere că modelarea geometrică a oaselor este mai greu de realizat prin intermediul acestor tehnici, în figura 4.1. este reprezentat un obiect cu forme geometrice regulate și modelul CSG al acestuia. Modelul rezultă printr-o reuniune și o diferență aplicate pornind de la forme geometrice simple [138].

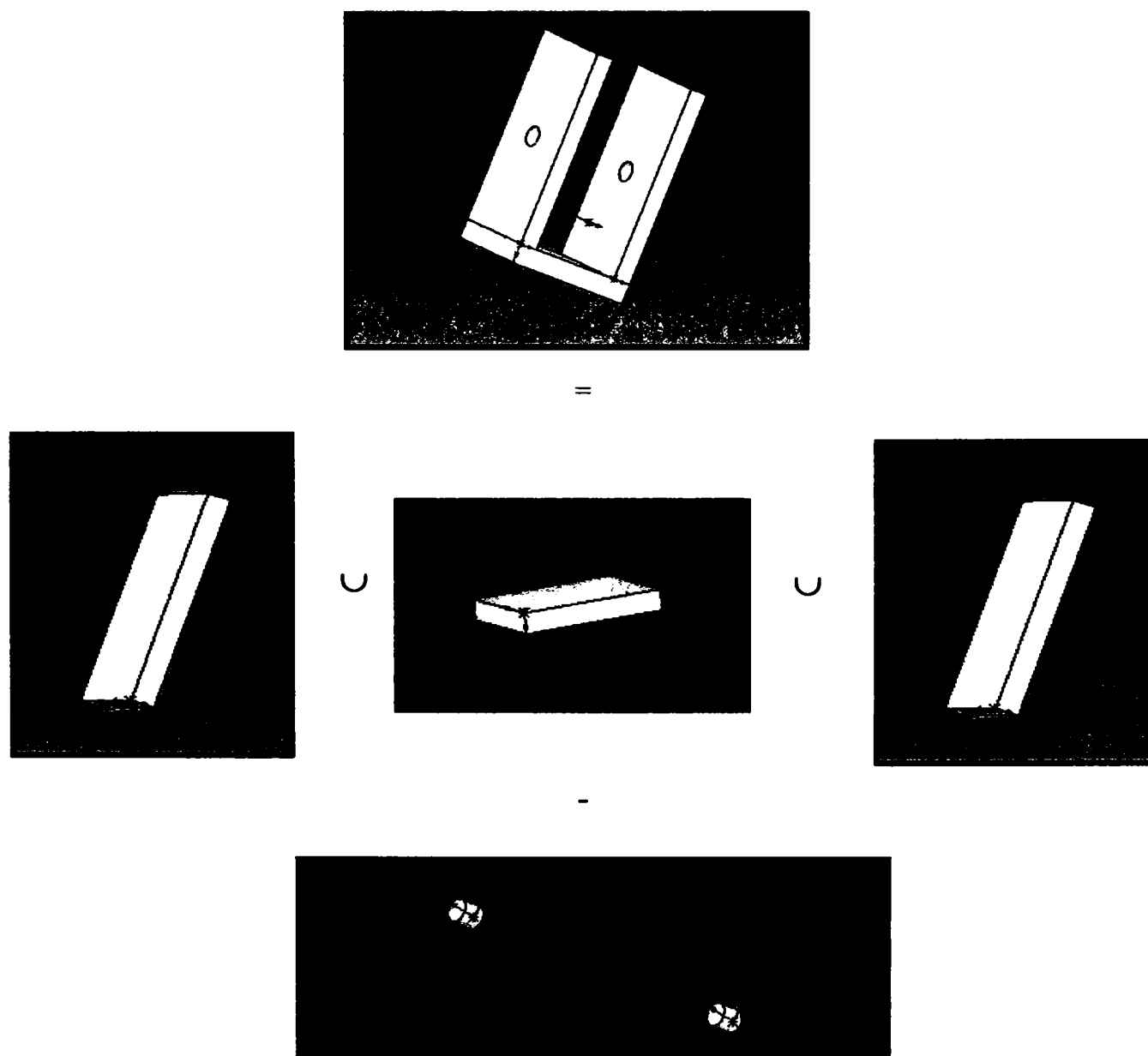


Fig. 4.1. Tehnica de modelare CSG (modele realizate în Solid Works)

Principalele **avantaje** ale modelării CSG sunt validitatea inerentă, unicitatea interpretării, caracterul complet, consecvența și conciziunea.

Principalul **dezavantaj** este complexitatea calculului pentru evaluarea arborelui CSG în vederea vizualizării. Acest lucru face ca editarea interactivă să fie rar întâlnită în sistemele CSG. Un alt dezavantaj este imposibilitatea reprezentării tuturor obiectelor fizice. De asemenea operatorii booleeni au un efect global asupra unui corp solid și din acest motiv anumite operații locale nu pot fi realizate utilizând acești operatori. Din acest motiv mulți dintre modelatori utilizează, în aceste cazuri, tehnica B-rep [20].

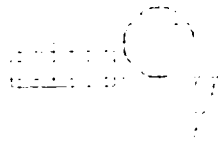
Modelarea prin enumerare (divizare) spațială

Tehnica de modelare prin divizare spațială este o metodă care ia în considerare întregul spațiu pe care îl ocupă un obiect, divizându-l în elemente „atomice” (unitare) volumice, asemănător cazului imaginilor 2D descrise prin mulțimea de pixeli constituenți (bit-mapped). Elementul volumic unitar echivalent unui pixel este denumit **voxel** (volume element). Un obiect solid este descris prin fațete care indică elementele volumice ocupate. Deoarece enumerarea tuturor punctelor volumice ar consuma memorie enormă, se utilizează obiecte unitare speciale. S-a dezvoltat o metodă de divizare recursivă, cunoscută sub numele de **quadtree** în 2D și **octree** în 3D.

Un octree este o structură de date organizate ierarhic care descrie modul de ocupare a unui corp în spațiu și modul de distribuție a elementelor volumice (voxeli) în spațiul tridimensional. Această idee poate fi mult mai ușor demonstrată utilizând un quadtree pentru a reprezenta ocuparea unui spațiu bidimensional de către un obiect. În figura 4.2. este reprezentată o regiune bidimensională care conține câteva obiecte simple, precum și arborele corespunzător obținut în urma diviziunilor succesive.

Arborele este creat începând cu o porțiune pătrată reprezentând întregul spațiu ocupat de obiect. Această porțiune se reprezintă printr-un nod în partea de sus a arborelui. Deoarece regiunea este ocupată de obiect, ea va fi divizată în 4 subregiuni reprezentate de 4 noduri în cadrul arborelui. Figura 4.3. indică schema de ordonare a nodurilor în funcție de poziția subregiunilor.

Fiecare subregiune care este ocupată de obiect este din nou divizată până când dimensiunea subregiunii corespunde rezoluției maxime cerute.



e – spații libere
 r – linie
 b – pătrat
 c – arc de cerc

Fig. 4.2. Reprezentarea quadtree a unor obiecte în plan bidimensional la nivel de pixeli



Fig. 4.3. Schema de ordonare a nodurilor în reprezentarea quadtree

În urma divizărilor succesive se obțin două tipuri de noduri terminale. Unele noduri terminale corespund subregiunilor neocupate de obiecte, iar altele corespund celulelor de dimensiune minimă ocupate de porțiuni ale obiectului. Trebuie ținut seama că, în cazul bidimensional, obiectele sunt reprezentate prin contururile lor și interiorul unui obiect este considerat spațiu neocupat. În cazul tridimensional, obiectele sunt reprezentate de suprafețele lor, caz în care vor fi divizate numai regiunile care conțin porțiuni ale acestor suprafețe.

Un mare **avantaj** al acestei metode este posibilitatea de descriere a obiectelor complexe neregulate, de tipul celor existente în natură.

Modelarea prin baleiere

Tehnica de modelare prin baleiere este o tehnică utilă, în primul rând, pentru obiecte bidimensionale: solide cu grosime constantă sau cu simetrie axială. Solidele din prima clasă rezultă prin baleiere rectilinie (tip extrudare), iar cele din a doua clasă, prin baleiere circulară (corpuri de revoluție).

Baleierea constă în deplasarea unui punct, a unui segment sau a unei suprafețe, pe o anumită traiectorie. Pentru forme complexe, traiectoria este o curbă complexă.

Metoda este utilizată mai ales pentru obținerea unor elemente ce urmează a fi incluse în scheme CSG sau B-rep. Nu există modelatoare pure prin baleiere, din cauza limitelor metodei.

Modelarea analitică (ASM)

Tehnica ASM este asemănătoare formulărilor izoparametrice tridimensionale din analiza cu elemente finite (FEA). Ea este adecvată descrierii modelelor cu forme complexe și calculelor proprietăților volumetrice. Exemple ar fi hiperpeticele parametrice tricubice (generalizare a peticelor bidimensionale, bicubice). Un hiperpetic este o aplicație a unui domeniu cubic unitar parametric descris de u , v și w , într-un solid descris de x , y și z în spațiul modelului (cartezian). Orice obiect va putea fi reprezentat ca un ansamblu de hiperpetice cvasi-disjuncte, prin divizarea sa convenabilă.

Modelarea prin instanțierea primitivelor

Metoda prin instanțierea primitivelor se bazează pe reprezentarea parametrică a obiectelor singulare. Un obiect va fi descris de modelul generator al întregii clase (familii) și de valorile parametrilor ce definesc obiectul particular (instanța). Pentru prelucrări mecanice sau operații analitice, metoda este avantajoasă pentru descrierea porțiunilor din obiecte, dar interfața cu utilizatorul este complexă.

4.2. Tehnici de modelare utilizând curbe

Una dintre principalele probleme legate de proiectarea obiectelor este proiectarea formei acestora. În cazul unor forme simple, este suficientă utilizarea unor entități analitice cum sunt: puncte, segmente de dreaptă, cercuri, arce de cerc, conice etc. Pentru forme mai

complexe, acest tip de reprezentare prezintă dezavantajul că orice modificare a obiectului, de exemplu prin rotire, scalare sau deformare, este aproape imposibil de realizat. Din acest motiv, este mult mai avantajos să se fixeze niște puncte de referință și să se genereze curbe între ele, care să aproximeze forma obiectului. Astfel de entități sintetice sunt curbele Bézier și curbele spline [10], [39], [93], [119], [131].

Abordarea uzuală a examinării reprezentărilor parametrice începe, de regulă, cu o descriere a curbelor tridimensionale și continuă cu generalizarea acestora la suprafețe. Deoarece proprietățile curbelor se extind și la suprafețe, se impune în primul rând tratarea acestora și extinderea procedurilor stabilite la cazul suprafețelor. În plus, acestea își au propriul lor loc în grafica computerizată.

O **curbă parametrică** este definită printr-o mulțime discretă de puncte cunoscute ca **puncte de control** împreună cu un set de **funcții de bază** sau **funcții de combinare**. Această metodă de specificare a curbei este complet diferită față de cea matematică normală, care are forma unei funcții implicite.

Funcțiile de bază folosite pentru a trasa și aranja punctele de control într-un segment de curbă pot fi reprezentate de orice mulțime formată dintr-un număr oarecare de funcții de bază cu proprietăți diferite utilizate în grafica computerizată pentru a controla forma unei curbe printr-o interfață interactivă. Dintre acestea curbele Bézier sunt folosite cu succes atât datorită simplității lor cât și din cauză că obiectele pot fi cu ușurință reprezentate dacă sunt utilizate suprafețele Bézier. Curbele Bézier au anumite dezavantaje care pot fi înlăturate folosind curbele B-spline [30], [50], [84].

Considerând patru puncte de control, P_0, \dots, P_3 , acestea pot fi prelucrate de un algoritm pentru a genera o curbă. Există câte o funcție de bază definită pe domeniul în care variază parametrul u pentru fiecare punct de control, iar curba $Q(u)$ este creată folosind punctele de control pentru a trasa funcțiile de bază. Astfel:

$$x(u) = \sum_{i=0}^3 P_{xi} \cdot B_i(u) \quad (4.1)$$

specifică faptul că se obține componenta pe x a lui $Q(u)$ prin însumarea proiecțiilor pe Ox ale fiecărui punct de control trasat prin valoarea funcției de bază în u . Analog:

$$y(u) = \sum_{i=0}^3 P_{y_i} \cdot B_i(u) \quad (4.2)$$

și:

$$z(u) = \sum_{i=0}^3 P_{z_i} \cdot B_i(u) \quad (4.3)$$

sau mai exact:

$$Q(u) = \sum_{i=0}^3 P_i \cdot B_i(u) \quad (4.4)$$

Specificarea unui segment de curbă (sau a unei porțiuni de suprafață) printr-o mulțime de puncte de control este baza unei metode de design interactiv în proiectarea asistată de calculator, după pozițiile cunoscute ale acestor puncte fiind trasată și vizualizată curba. Dacă forma sa nu este satisfăcătoare, se specifică o nouă mulțime de puncte și operațiile se reiau. Se pot trasa astfel segmente de curbe care se utilizează ulterior la construirea unei curbe formată dintr-un număr de segmente de curbă unite între ele pe baza unor condiții de continuitate.

În grafica pe calculator apare tendința de a folosi curbele cubice. Aceasta se datorează faptului că ele prezintă o suficientă flexibilitate a formei pentru cele mai multe aplicații, dar și faptului că o curbă de ordin mai mare introduce și costuri mai mari. Ele sunt, de altfel, adevărate curbe spațiale, spre deosebire de cele pătratice care sunt conținute într-un plan. O curbă formată din segmente pătratice poate fi numai un set de segmente bidimensionale pe porțiuni. Această situație nu este satisfăcătoare atunci când asemenea segmente sunt utilizate pentru a modela corpuri tridimensionale [25], [26], [84], [127].

Când o curbă este compusă din segmente de curbă, proprietățile ce exprimă continuitatea depind de modul în care au fost unite segmentele. Simpla unire a două segmente printr-un capăt comun implică continuitatea geometrică G^0 . Dacă vectorii tangenți la fiecare segment de curbă în capătul comun au aceeași direcție și module diferite atunci curba are continuitatea geometrică G^1 . Dacă vectorii tangenți sunt identici, curba prezintă continuitate de gradul întâi sau continuitate C^1 .

În general, continuitatea parametrică C^n este definită astfel:

Dacă direcțiile și mărimile derivatelor $\frac{d^n Q(u)}{dt^n}$ sunt egale pentru cele două segmente la capătul comun, atunci curba prezintă continuitatea C^n .

În spațiul 3D, se poate descrie parametric orice curbă în spațiu, folosind un parametru u , curba cubică fiind dată de:

$$\begin{aligned} x(u) &= a_x u^3 + b_x u^2 + c_x u + d_x \\ y(u) &= a_y u^3 + b_y u^2 + c_y u + d_y \\ z(u) &= a_z u^3 + b_z u^2 + c_z u + d_z \end{aligned} \quad (4.5)$$

unde: $0 \leq u \leq 1$.

Există multiple motive pentru a folosi în grafica pe calculator exprimarea parametrică în locul funcțiilor implicite și anume:

- Punctele de pe o curbă pot fi precizate direct, în loc să fie necesară rezolvarea unor ecuații neliniare sub formă implicită pentru fiecare punct în parte;
- Curbele parametrică (și suprafețele) pot fi transformate cu ușurință, aplicarea unei transformări liniare reprezentării parametrică a curbei realizând chiar o transformare a curbei;
- Majoritatea aplicațiilor de design folosesc curbe complexe (și/sau suprafețe) care nu pot fi exprimate prin funcții implicite simple, pe când reprezentarea parametrică permite descrierea pe porțiuni, iar o curbă sau o suprafață poate fi dată printr-un set de polinoame pe porțiuni. (Polinoamele de grad mare pot descrie curbe complexe, dar necesită un număr mare de coeficienți, ceea ce poate introduce oscilații nedorite în curbă).

Formularea Bézier a unei curbe cubice implică specificarea unei mulțimi de puncte de control, din care este obținut polinomul cubic. Această formă rezultă pornind de la anumite funcții de bază sau de combinare.

O metodă simplă de obținere, presupune rescrierea ecuațiilor (4.5) ca o singură ecuație vectorială:

$$\mathbf{Q}(u) = \mathbf{a}u^3 + \mathbf{b}u^2 + \mathbf{c}u + \mathbf{d} \quad (4.6)$$

acesta fiind modul normal de exprimare a unui polinom cubic parametric. Folosind funcțiile de bază Bézier sau funcțiile de combinare Bernstein:

$$(1-u)^3 \quad 3u(1-u)^2 \quad 3u^2(1-u) \quad u^3 \quad (4.7)$$

polinomul este exprimat prin aceste funcții și patru puncte de control:

$$\mathbf{Q}(u) = \mathbf{P}_0(1-u)^3 + \mathbf{P}_1 3u(1-u)^2 + \mathbf{P}_2 3u^2(1-u) + \mathbf{P}_3 u^3 \quad (4.8)$$

sau sub forma matriceală:

$$\mathbf{Q}(u) = \mathbf{U} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{P} = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Formularea matriceală este utilă când se urmărește implementarea hardware a problemei reprezentării curbilor spațiale prin polinoame de gradul 3.

Dacă este necesar să se reproducă forma unei curbe oarecare, se poate proceda în felul următor:

1. Se aproximează forma curbei formând un poligon de control;
2. Se folosește acest poligon pentru a desena curba Bézier asociată;
3. Se ajustează punctele de control;
4. Se repetă operațiile 1 și 2 până când forma obținută este satisfăcătoare.

Revenind la funcția de bază (4.4), lucrând cu polinoame de gradul 3, rezultă patru funcții de bază, corespunzătoare, fiecare termen al sumei fiind produsul dintre un punct de control P_i și o funcție de combinare $B_{i,3}$ care este un polinom de gradul trei.

Pentru o valoare particulară a lui u se însumează valorile obținute de la fiecare din cele patru funcții de combinare. P_0 are influența cea mai mare pentru $u=0$ ($B_{1,3}$, $B_{2,3}$ și $B_{3,3}$ sunt toate nule în acest punct). Pe măsură ce u crește către P_1 , B_0 și B_1 determină în principal forma curbei, $B_{2,3}$ și $B_{3,3}$ neavând vreo influență. Punctele P_1 și P_2 au efect maxim când $u=1/3$ respectiv $2/3$.

De remarcat este faptul că prin mutarea oricărui punct de control este influențată, în mai mică sau mai mare măsură, forma tuturor părților curbei. Acest mod global de control asupra formei curbei este **dezavantajul** major al curbelor Bézier.

Un alt punct important este faptul că reprezentarea parametrică permite curbe multiplu parametrice. De exemplu, dacă $P_0=P_3$ atunci curba rezultantă va fi o buclă închisă.

Mulțimea de funcții de bază sau de combinare date pentru polinoamele cubice:

$$\begin{aligned} B_{0,3}(u) &= (1-u)^3 & B_{1,3}(u) &= 3u(1-u)^2 \\ B_{2,3}(u) &= 3u^2(1-u) & B_{3,3}(u) &= u^3 \end{aligned} \quad (4.10)$$

este un caz particular de funcție de bază de grad n .

Astfel:

$$Q(u) = \sum_{i=0}^3 P_i \cdot B_{i,n}(u) \quad (4.11)$$

unde:

$$B_{i,n}(u) = C(n,i) \cdot u^i \cdot (1-u)^{n-1} \quad (4.12)$$

coeficientul binomial fiind:

$$C(n,i) = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (4.13)$$

Se remarcă faptul că numărul de puncte de control crește la $n+1$. Mărirea numărului de puncte de control introduce dificultăți prin mărirea gradului funcțiilor de combinare, aceste dificultăți reprezentând un motiv pentru care se preferă curbele B-spline. Avantajele unor curbe de ordin mai mare provin din posibilitatea asigurării unui grad convenabil de continuitate între segmentele de curbă. Dar, pe lângă costurile sporite de calcul la utilizarea curbelor de ordin mai mare, mai există și dezavantajul că, în aceste cazuri, corelația între poligoanele caracteristice formate de punctele de control și curbă devine mai slabă. De aceea, cel mai frecvent utilizate sunt cubicele pentru că sunt și rezonabil de simple, dar și suficient de flexibile pentru un design interactiv [8], [73], [110].

Pe baza celor prezentate este important să se sesizeze aspectele practice ale reprezentării unei curbe prin puncte de control. Cea mai importantă observație, în ceea ce privește interfața cu utilizatorul, este aceea că mutarea unui punct de control dă o modificare intuitivă a formei curbei. Adică, curba mimează forma poligonului de control.

O proprietate importantă din punct de vedere al conceperii algoritmilor ce realizează curbe (și suprafețe) este aceea că o curbă este întotdeauna închisă în înfășurătoarea convexă formată de poligonul de control. Ea provine din faptul că suma funcțiilor de bază are valoarea 1 pentru orice valoare a lui u .

Curbele fiind definite ca și combinații liniare de puncte de control, ele pot fi transformate prin orice transformare afină în spațiu (rotație, translație, etc.), prin aplicarea transformării potrivite mulțimii punctelor de control.

Proprietăți ale curbelor Bézier

Pe baza celor menționate se remarcă unele **proprietăți ale curbelor Bézier**:

- Gradul polinomului este întotdeauna cu unu mai mic decât numărul punctelor de control. În grafica pe calculator cele mai interesante s-au dovedit a fi cele de gradul trei.
- Curba urmărește forma poligonului de control și este conținută în înfășurătoarea convexă formată de punctele de control.
- Punctele de control nu exercită control local. Mutarea oricăruia dintre punctele de control afectează întreaga curbă în mai mică sau mai mare măsură.
- Primul și ultimul punct de control sunt capetele segmentului de curbă.
- Vectorii tangenți la curbă în capete coincid cu prima și ultima latură a poligonului de control.
- Curba nu oscilează față de oricare linie dreaptă mai des decât poligonul de control - aceasta este cunoscută sub numele de proprietatea diminuării variației.
- Curba poate fi transformată aplicând orice transformare afină (adică orice combinație de transformări liniare) punctelor sale de control.

Două neajunsuri majore ale curbelor Bézier (efectul global al modificării poziției punctelor de control și relația dintre gradul curbei și numărul de puncte de control) pot fi înlăturate prin folosirea **curbelor B-spline** [2], [73], [81], [84], [98], [113], [116], [117].

Ca și o curbă Bézier, o curbă B-spline nu trece prin punctele de control. Ea este polinomială pe bucăți, constând dintr-un număr oarecare de segmente de curbă. Pot exista curbe B-spline de orice grad formate din segmente definite pe anumite intervale, de la un

interval la altul schimbându-se coeficienții. Pentru un singur segment se poate compara formularea B-spline cu cea Bézier folosind aceeași notație matriceală.

Formularea B-spline este:

$$\mathbf{Q}_i(\mathbf{u}) = \mathbf{U} \cdot \mathbf{B}_s \cdot \mathbf{P}_i = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{6} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{i-3} \\ P_{i-2} \\ P_{i-1} \\ P_i \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

unde $\mathbf{Q}_i(\mathbf{u})$ este segmentul i al curbei, iar \mathbf{P}_i este o matrice ce conține un set de patru puncte dintr-o succesiune de puncte de control. Același lucru se poate scrie și sub forma:

$$Q_i(u) = \sum_{k=0}^3 P_{i-3+k} \cdot B_{i-3+k}(u) \quad (4.15)$$

unde i este numărul segmentului, iar k este indicele punctului de control local. Valoarea lui u într-un segment de curbă este $0 \leq u \leq 1$. El este un parametru local ce definește un singur segment de curbă B-spline.

Astfel, folosind această notație, se observă că o curbă B-spline este formată dintr-o serie de $m-2$ segmente de curbă notate convențional cu Q_3, Q_4, \dots, Q_m , definite prin $m+1$ puncte de control P_0, P_1, \dots, P_m , $m \geq 3$. Fiecare segment de curbă este definit prin patru puncte de control și fiecare punct de control influențează patru și numai patru segmente de curbă. Aceasta este proprietatea controlului local al curbelor B-spline, constituind și principalul avantaj asupra curbelor Bézier.

Un singur segment de curbă Bézier este supus unui control global deoarece mutând un punct de control se afectează întreaga curbă. Într-o curbă compusă B-spline, mutarea unui punct de control afectează numai câteva segmente de curbă. În mod corect, comparația ar trebui făcută între curbe Bézier multisegment și curbe B-spline. Diferența este că, pentru a menține continuitatea segmentelor Bézier, deplasarea punctelor de control trebuie să satisfacă restricțiile impuse, pe când punctele de control ale unei curbe B-spline pot fi mutate în orice fel.

O curbă B-spline prezintă continuitate pozițională și continuitate a derivatelor de ordinul întâi și doi, deoarece funcțiile de bază sunt ele însele polinoame de clasă C^2 . O

combinație liniară de astfel de funcții de bază va fi de asemenea continuă C^2 . Se definește întregul set de segmente ca o curbă B-spline în u :

$$Q(u) = \sum_{i=0}^m P_i \cdot B_i(u) \quad (4.16)$$

unde i reprezintă indicii punctelor de control care nu sunt locale, iar u este, în acest caz, un parametru global.

Proprietăți ale curbelor B-spline

Unele dintre proprietățile curbelor Bézier se aplică și în cazul curbelor B-spline. Astfel se pot menționa:

- Curba urmărește forma poligonului de control și este obligată să respecte înfășurătoarea convexă a punctelor de control.
- Curba prezintă proprietatea diminuării variației.
- Curba este transformată aplicând orice transformare afină punctelor sale de control.

În plus, ele au o proprietate specifică:

- Curbă B-spline este controlată local, datorită faptului că un punct de control este legat de patru segmente (în cazul unei cubice) iar prin modificarea poziției sale sunt influențate doar aceste segmente.

4.3. Reprezentarea scheletului osos al membrului superior uman cu ajutorul curbelor

Utilitatea curbelor Bézier și spline a fost demonstrată de nenumărate aplicații cu finalitate în CAD, existând mai multe software-uri profesionale integrate în astfel de sisteme.

Dintre toate tehnicile de modelare prezentate anterior, pentru reprezentarea scheletului osos al membrului superior s-a ales programul **AutoCad** care conține o opțiune de editare prin intermediul curbelor spline [9], [84], [119].

Pentru crearea curbelor spline propriu-zise, AutoCad pune la dispoziție comanda SPLINE. Curbele spline pot fi obiecte bidimensionale sau tridimensionale. În prima fază trebuie specificate punctele de ajustare (vertexurile) prin care trece curba. Acestea determină poziția punctelor de control ale curbei spline. Punctele de control conțin informațiile care

stabilesc traseul curbei. Comanda SPLINE din AutoCAD desenează curbe b-spline raționale, neuniforme (curbe NURBS - Non-Uniform Rational B-Spline).

Comanda **SPLINE** oferă următoarele opțiuni:

Object/**<Enter first point>**. Opțiunea prestabilită a promptului principal solicită punctul de început al curbei spline. După ce se specifică un punct de început, AutoCad solicită un al doilea punct. Obiectele spline necesită specificarea a cel puțin trei puncte.

Object. Această opțiune permite convertirea poliliniilor ajustate la curbe de tip spline, în obiecte spline propriu-zise. După selectarea opțiunii, AutoCad va cere să se specifice o curbă ajustată de tip spline.

Close/Fit Tolerance/**<Enter point>**. După ce a fost specificat cel de-al doilea punct al curbei spline, AutoCad afișează acest prompt. Opțiunea prestabilită presupune specificarea altor puncte ale curbei spline desenată. Dacă se apasă Enter, AutoCad solicită date referitoare la tangenta în punctele de început și de sfârșit, apoi închide comanda.

Close. Această opțiune asigură coincidența începutului și sfârșitului curbei spline și partajarea informațiilor referitoare la punct și la tangentă. Când se închide o curbă spline, AutoCad solicită o singură dată informațiile referitoare la tangentă.

Fit Tolerance. Această opțiune controlează precizia cu care curba urmărește punctele de ajustare. Valoarea toleranței de ajustare este exprimată în unitățile desenului curent. Cu cât este mai mică toleranța, cu atât curba spline este mai apropiată de punctele de ajustare. Dacă valoarea toleranței este 0, curba spline va trece exact prin punctele de ajustare.

Undo. Cu toate că această opțiune nu apare în cadrul promptului, se poate tasta U după fiecare punct, pentru a anula ultimul segment.

Editarea unei curbe spline se face cu ajutorul comenzii SPLINEDIT care permite atât editarea punctelor de control ale curbei spline, cât și a punctelor de ajustare. Aceste puncte sunt utilizate de AutoCad pentru a calcula poziția punctelor de control ale curbei. Pot fi adăugate și alte puncte de control sau de ajustare sau pot fi mutate cele existente. Există de asemenea posibilitatea modificării ponderii (influenței) punctelor de control și toleranței curbei spline.

De obicei, punctele de control nu sunt poziționate pe curba spline (cu excepția punctelor de început și de sfârșit), dar ele determină forma curbei. AutoCad folosește punctele de ajustare pentru a calcula poziția punctelor de control, după care nu mai are nevoie de ele. Totuși, dacă se elimină punctele de ajustare ale curbei spline, nu mai pot fi folosite opțiunile de editare oferite de comanda SPLINEDIT pentru a modifica ulterior forma curbei.

Când se selectează o curbă spline pentru editare, AutoCad îi afișează punctele de control, la fel ca în cazul editării prin prindere (care nu este accesibilă prin intermediul comenzii SPLINEDIT). Comanda SPLINEDIT acționează asupra unei singure curbe spline la un moment dat.

Comanda **SPLINEDIT** are următoarele opțiuni:

Fit Data. Permite editarea eventualelor puncte de ajustare ale curbelor spline, caz în care AutoCad afișează un alt prompt, cu opțiunile, descrise în lista următoare.

Close. Închide o curbă spline deschisă. În cazul curbelor spline la care punctul de început nu coincide cu punctul de sfârșit, adaugă o curbă de închidere între punctele de început și de sfârșit. Pentru o curbă spline la care punctul de început coincide cu punctul de sfârșit, opțiunea Close modifică informațiile celor două puncte, astfel încât tangentele lor să devină continue. Când curbă spline este închisă, opțiunea Close este înlocuită cu opțiunea Open.

Open. Deschide o curbă spline închisă. Dacă este folosită pentru o curbă spline la care punctul de început nu coincidea cu punctul de sfârșit înainte de închidere, opțiunea Open elimină curbă de închidere și informațiile referitoare la tangenta din punctele de început și de sfârșit. În cazul unei curbe spline la care punctele de început și de sfârșit coincideau înainte de închidere, opțiunea Open șterge doar informațiile referitoare la tangenta din aceste puncte.

Move Vertex. Permite mutarea punctelor de control ale curbei spline. Se selectează punctul care trebuie editat, trecând la punctul următor sau la cel anterior punctului curent.

Refine. Afișează subopțiuni care permit adăugarea punctelor de control sau modificarea ponderii punctelor de control existente. Se pot adăuga puncte de control în zonele în care se dorește un control mai fin al curbei. În urma unei astfel de operații, sunt eliminate datele de ajustare ale curbei spline. Pentru a restaura aceste date, se poate anula efectul opțiunii Refine selectând opțiunea Undo înainte de a închide comanda SPLINEDIT.

Pentru **Refine** există următoarele opțiuni:

- **Add control point** care permite adăugarea unui singur punct de control la curbă spline. AutoCad plasează noul punct de control cât mai aproape posibil de punctul selectat pe curbă spline. Adăugarea unui punct de control nu modifică forma curbei.
- **Elevate Order** care mărește gradul polinomial al funcției spline, ceea ce conduce la adăugarea unor puncte de control distribuite uniform de-a lungul curbei. Această opțiune nu modifică forma curbei. Odată mărit, gradul polinomial nu mai poate fi redus.

- **Weight** care controlează tensiunea care împinge curba către un punct de control.
- **Reverse** care schimbă sensul curbei spline.
- **Undo**. Anulează efectele ultimei opțiuni a comenzii SPLINEDIT.
- **Exit** care închide comanda SPLINEDIT.

În continuare, sunt prezentate subopțiunile **Fit Data**, folosite la editarea datelor de ajustare ale curbei spline. Când se selectează opțiunea Fit Data, casetele de tip prindere se modifică pentru a evidenția punctele de ajustare. Există:

- **Add**: adaugă puncte de ajustare suplimentare, care modifică forma curbei; punctele de ajustare adăugate respectă toleranța curentă a curbei.
- **Close**: realizează aceeași funcție ca și opțiunea Close pentru punctele de control, dar se aplică punctelor de ajustare.
- **Open**: realizează aceeași funcție ca și opțiunea Open pentru punctele de control, dar se aplică punctelor de ajustare; înlocuiește opțiunea Close în cazul în care curba spline este închisă.
- **Delete**: elimină unele puncte de ajustare și redesenează curba spline corespunzător punctelor de ajustare rămase.
- **Move**: permite mutarea punctelor pentru ajustarea unei curbe spline; se poate selecta punctul pe care vrem să-l edităm trecând la punctul următor sau la cel anterior punctului curent; nu se pot modifica informațiile de ajustare folosind editarea prin puncte de prindere.
- **Purge**: elimină toate datele de ajustare ale unei curbe spline.
- **Tangents**: permite modificarea informațiilor referitoare la tangentele din punctele de început și de sfârșit ale unei curbe spline.
- **Tolerance**: modifică toleranța punctelor de ajustare și redesenează curba spline; o curbă spline își pierde datele de ajustare atunci când se modifică toleranța și se mută un punct de control sau când se deschide/închide curba.
- **Exit**: determină revenirea la promptul de editare a punctelor de control.

Utilizând comenzile menționate s-au obținut modelele bidimensionale ale elementelor membrului superior uman (figurile 4.4. – 4.8).

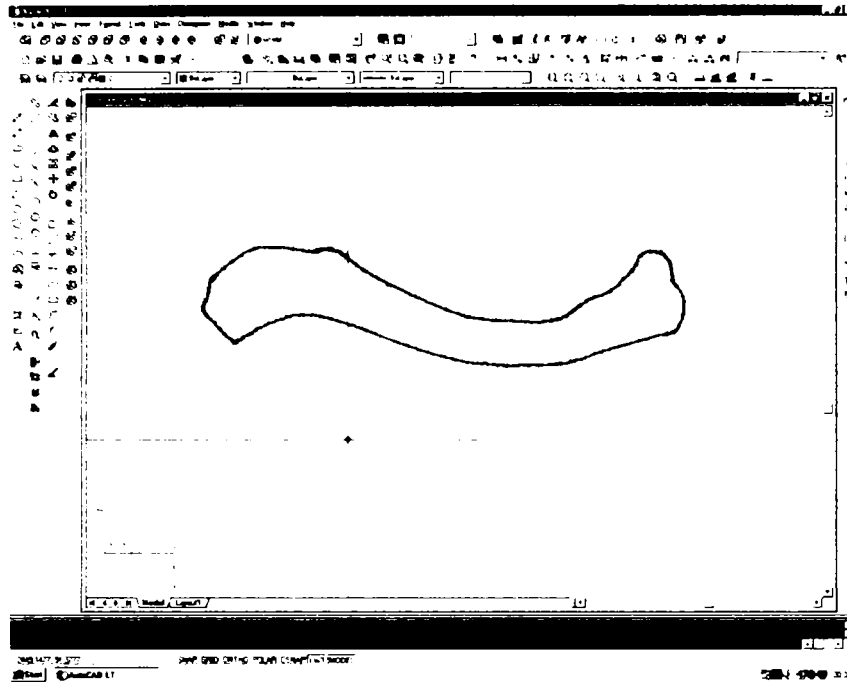


Fig. 4.4. Reprezentarea claviculei

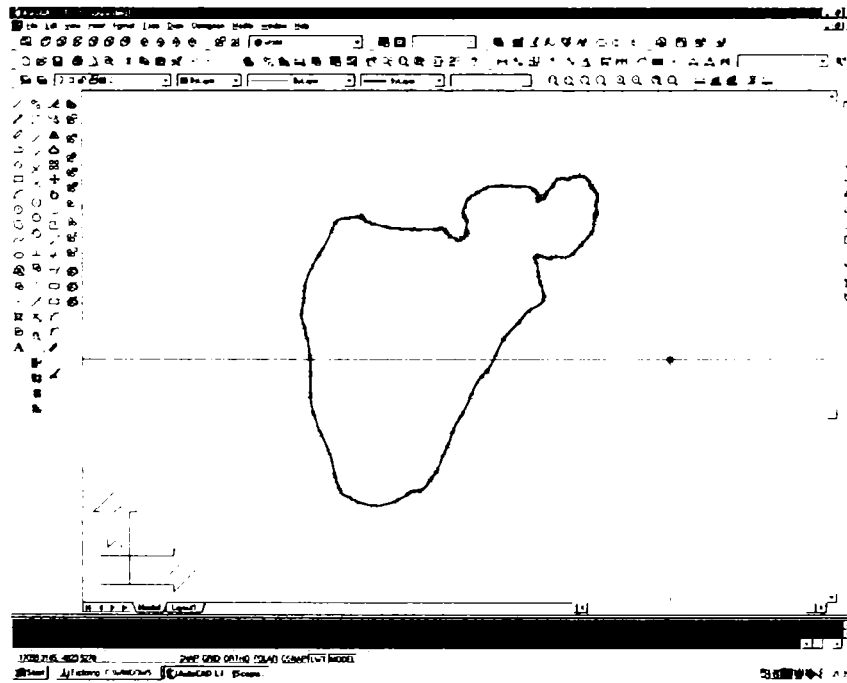


Fig. 4.5. Reprezentarea scapulei

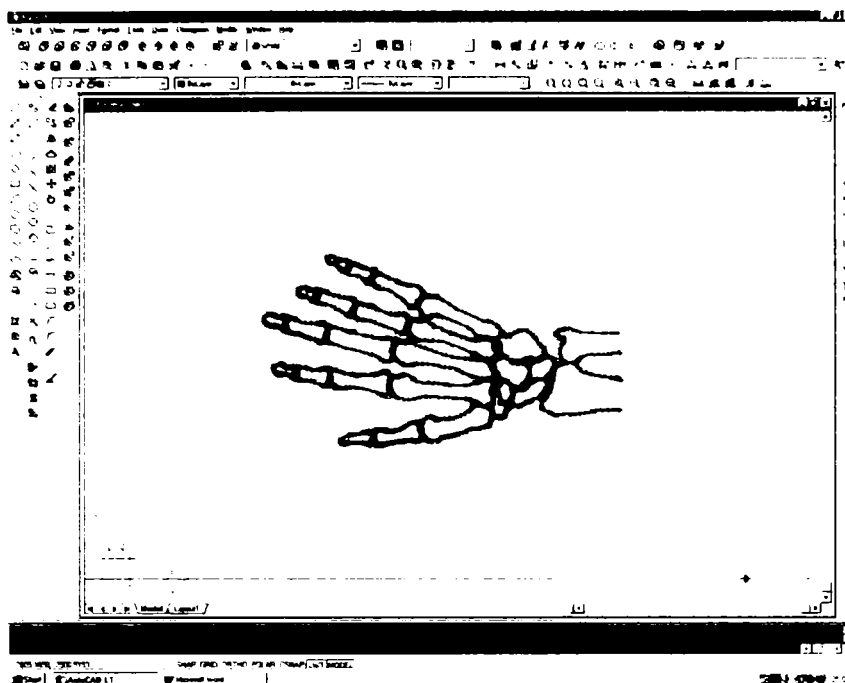
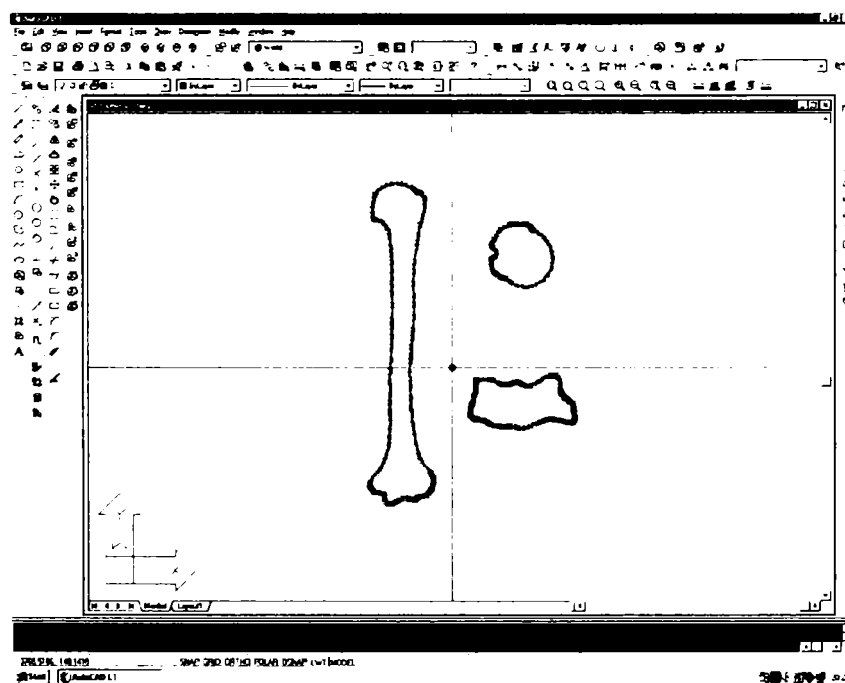


Fig. 4.6. Reprezentarea mâinii



**Fig. 4.7. Reprezentarea humerusului,
a capului humeral și a condilului humeral**

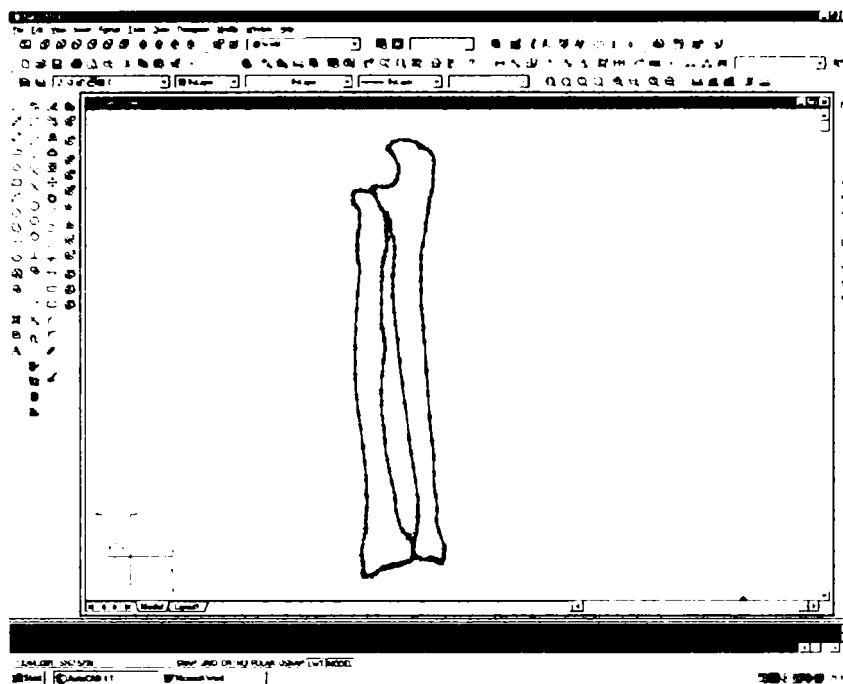


Fig. 4.8. Reprezentarea radiusului și a ulnei

Pentru realizarea modelului membrului superior uman s-a utilizat și un alt program, **MATLAB** (Matrix LABORatory), dedicat calculului numeric și reprezentărilor grafice în domeniul științific. Performanțele deosebite și timpul de instruire redus fac din acest pachet de programe unul din cele mai agreate medii de lucru pentru o mare diversitate de utilizatori [46], [101], [135].

El integrează analiza numerică, calculul matriceal, procesarea semnalelor și reprezentările grafice, într-un mediu ușor de învățat și folosit, în care enunțurile problemelor și rezolvările acestora sunt exprimate în modul cel mai natural posibil, așa cum sunt scrise matematic, fără a fi necesară programarea tradițională.

Cea mai importantă caracteristică a MatLab-ului este ușurința cu care poate fi extins. MatLab-ul include aplicații specifice, numite TOOLBOX-uri reprezentând colecții extinse de funcții MatLab (fișiere cu extensia .m) care dezvoltă mediul de programare de la o versiune la alta, pentru a rezolva probleme din domenii variate. Structural, MatLab-ul este realizat sub forma unui nucleu de bază, cu interpretor propriu, în jurul căruia sunt construite TOOLBOX-urile.

MatLab-ul lucrează cu două tipuri de ferestre: o fereastră de comenzi și o fereastră pentru reprezentări grafice. Fiecare comandă din meniul principal furnizează un meniu

specific, în cadrul acestuia selecția putându-se face fie cu mouse-ul fie cu ajutorul săgeților prin, deplasarea în zone active.

Selectând comanda **F**ile din meniul principal se poate deschide o fereastră de editare sau o fereastră grafică nouă selectând **N**ew sau se poate deschide o fereastră dialog pentru a selecta un fișier care va deveni fișier de lucru selectând **O**pen **M**-file.

Look **F**or **S**elected și **O**pen **S**elected analizează fișierele pentru selectare și deschide pe cel selectat. **S**ave **W**orkspace **A**s... deschide o fereastră de dialog pentru a salva datele din spațiul de lucru într-un fișier. **P**rint și **P**rinter **S**etup sunt comenzi de tipărire a documentului.

Exit **M**atlab are ca efect părăsirea aplicației.

Selectarea comenzii **F**ile urmată de comenzile **N**ew și **F**igure sau numai de **N**ew **F**igure, determină trecere într-o fereastră grafică nouă.

Selectând comanda **E**dit din meniul principal al ferestrei grafice, apoi selectând comanda **C**opy **M**etafile sau **C**opy **B**itmap se copiază figura curentă în format *meta* respectiv *bitmap* în Clipboard.

În fereastra grafică pot fi reprezentate funcții 2D sau 3D, imagini, animație etc.

MatLab-ul lucrează fie în modul linie de comandă, fie cu programe conținute în fișiere. Aceste două moduri formează împreună un mediu de programare. Fișierele ce conțin instrucțiuni MatLab se numesc fișiere *.m* și sunt programe MatLab. Un fișier *.m* constă dintr-o succesiune de instrucțiuni MatLab, cu posibilitatea apelării altor fișiere *.m* și a apelării recursive. Un fișier *script* este un fișier extern care conține o secvență de comenzi MatLab care se execută prin apelarea numelui său. Fișierele Script sunt folosite pentru rezolvarea unor probleme care cer comenzi succesive atât de lungi, încât ar putea deveni greoaie pentru lucrul în mod interactiv, adică în modul linie de comandă.

Pentru realizarea modelelor oaselor membrului superior, precum și a membrului superior în totalitate, s-au creat următoarele fișiere: *mana2D.m*, *mana3D.m*, *brat.m*, *oase.m*, *humerus.m*, *scapula.m*, *clavicula.m*, *curba3D.m*, *GenerareFrame.m*, *film.m*.

În fișierul *mana2D.m* s-a realizat desenarea mâinii utilizând funcția **getcurve** din pachetul SplineToolbox din MatLab cu sintaxa:

$$[xy, spcv] = \text{getcurve} \quad (4.17)$$

Funcția din secvența “function[spcv]= **getcurve**” creează interactiv o curbă spline, afișând o fereastră cu grid unde sunt dispuse punctele selectate de utilizator. Astfel

utilizatorul, cu ajutorul mouse-ului, dă click-uri pe puncte din interiorul ferestrei grid-ului, linia frântă conectând toate punctele și afișându-le. Când utilizatorul a terminat, curba spline "spcv" preia secvența de puncte, XY, calculează (via *cscvn*) și desenează. Funcția *cscvn* are sintaxa:

$$curve = cscvn(points) \quad (4.18)$$

naturală sau periodică interpolează curbe spline, returnând un parametru, sau o curbă spline, în *ppforme* punând secvența de puncte.

În acest fișier s-au desenat, de asemenea, conturul mâinii, nervurile cu ajutorul funcției *getcurve* prin puncte, iar elipsele ca cea din exemplul de mai jos.

```
Ex: %Elipsa de jos
a0x = x(7);
a0y = y(7);
a0z = 0.05;
alx = (x(7) + x(16)) / 2;
aly = y(7) - 0.02;
alz = 0.1;
a2x = x(16);
a2y = y(16);
a2z = 0.05;

xe = [a0x alx a2x ];
ye = [a0y aly a2y ];
ze = [a0z alz a2z ];

Curba3D(3, xe, ye, ze);
```

În fișierul *brat.m* s-a realizat desenarea mâinii și a brațului cu ajutorul funcției *getcurve* analog ca și în fișierul *mana2D.m*, dar ambele apelând funcțiile *curba*, *curba3D* din fișierele *curba.m*, respectiv *curba3D.m*:

```
function curba (nr, x, y)
while 1
    for j=1:nr
        if x(j)<w(1) | x(j)>w(2) | y(j)<w(3) | y(j)>w(4), break, end
        xy(:,j) = [x(j);y(j)];
        if j>1
            set(pts,'Xdata',xy(1,[j-1 j]),'Ydata',xy(2,[j-1 j]))
        else
            set(pts,'Xdata',x(j),'Ydata',y(j))
        end
        drawnow
    end
    if j>1, break, end
end
```

În fișierul *GenerareFrame.m* s-a realizat captarea frame-urilor cu ajutorul funcției **getframe** cu sintaxa:

$$F = \text{getframe}; \quad (4.19)$$

variabila *varFilm(i)* fiind salvată în fișierul *film.m*.

De obicei **getframe** este utilizată în interiorul unei bucle (de exemplu for) pentru a asambla într-un tablou cadrele în mișcare:

```
for i = 1:20
    Brat(i);
    varFilm(i) = getframe;
end;
saveFile = 'test.mat';
save test.mat varFilm;
```

Mișcarea brațului poate fi vizualizată și cu ajutorul fișierului executabil *film.exe*.

În fișierele *humerus.m*, *clavicula.m*, *scapula.m*, *oase.m*, s-au desenat oasele prin puncte cu ajutorul funcției **getcurve** și apelul funcției **curba** cu variabile aferente.

Pentru exemplificare se prezintă în continuare structura fișierului **humerus.m**:

<pre>function [spcv] = getcurve(i) axesm mercator w = [-8 8 -12 12 -15 15]; % start with the unit square clf, hold on, grid on, rotate3d on%, perspective on %rotate(axis(w), [0 0 0], 45, [0 0 0]); %view([0 0 6]) %stanga 1 xi = -5; yi = -4; zi = 0; x0 = -4.75; y0 = -3.5; z0 = 0; x1 = -4.6; y1 = -2;</pre>	<pre>z1 = 0; x2 = -4.65; y2 = 1; z2 = 0; x3 = -4.6; y3 = 3; z3 = 0; xf = -4.65; yf = 4; zf = 0; bx = [xi x0 x1 x2 x3 xf]; by = [yi y0 y1 y2 y3 yf]; bz = [zi z0 z1 z2 z3 zf]; Curba3D(6, bx, by, bz); %stanga 2 xi = -3.9; yi = -4; zi = 0; x0 = -4.2;</pre>	<pre>y0 = -3; z0 = 0; x1 = -4.2; y1 = -1.5; z1 = 0; x2 = -4.2; y2 = -1; z2 = 0; x3 = -4.25; y3 = 3; z3 = 0; xf = -3.7; yf = 3.8; zf = 0; bx = [xi x0 x1 x2 x3 xf]; by = [yi y0 y1 y2 y3 yf]; bz = [zi z0 z1 z2 z3 zf]; Curba3D(6, bx, by, bz);</pre>
--	---	---


```

%stanga 3
xi = -3.7;
yi = 3.8;
zi = 0;
x0 = -3.6;
y0 = 4.4;
z0 = 0;

x1 = -4.2;
y1 = 4.8;
z1 = 0;

xf = -4.5;
yf = 4.7;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 4
xi = -4.5;
yi = 4.7;
zi = 0;

x0 = -4.67;
y0 = 4.4;
z0 = 0;

xf = -4.65;
yf = 4;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%stanga 5
xi = -5;
yi = -4;
zi = 0;
x0 = -4.95;
y0 = -4.3;
z0 = 0;

x1 = -4.75;
y1 = -4.3;
z1 = 0;

xf = -4.65;
yf = -4.2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

```

```

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 6
xi = -4.65;
yi = -4.2;
zi = 0;
x0 = -4.55;
y0 = -4.3;
z0 = 0;

x1 = -4.45;
y1 = -4.2;
z1 = 0;

x2 = -4.2;
y2 = -4.5;
z2 = 0;

x3 = -4.15;
y3 = -4.45;
z3 = 0;

x4 = -4.1;
y4 = -4.2;
z4 = 0;

xf = -4.13;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
x4 xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
y4 yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
z4 zf];

Curba3D(7, bx, by,
bz);
%stanga 7
xi = -4.13;
yi = -4.1;
zi = 0;

x0 = -4.08;
y0 = -4.15;
z0 = 0;
x1 = -3.98;
y1 = -4.15;
z1 = 0;

xf = -3.9;
yf = -4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

```

```

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 8
xi = -4.5;
yi = 4.7;
zi = 0;

x0 = -4.1;
y0 = 4.6;
z0 = 0;

x1 = -3.8;
y1 = 4.3;
z1 = 0;
xf = -3.65;
yf = 4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 9
xi = -4.5;
yi = 4.7;
zi = 0;

x0 = -4.6;
y0 = 4.4;
z0 = 0;

x1 = -4.5;
y1 = 3.7;
z1 = 0;

x2 = -4.5;
y2 = 0.3;
z2 = 0;

x3 = -4.45;
y3 = 0;
z3 = 0;

xf = -4.5;
yf = -3;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
%stanga 10
xi = -4;

```

```

yi = 4.5;
zi = 0;

x0 = -4.15;
y0 = 4.25;
z0 = 0;

x1 = -4.25;
y1 = 4;
z1 = 0;

xf = -4.25;
yf = 3;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 11
xi = -5;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = -4.95;
y0 = -3.95;
z0 = 0;

x1 = -4.75;
y1 = -4;
z1 = 0;

xf = -4.65;
yf = -4.2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 12
xi = -4.47;
yi = -4.2;
zi = 0;
x0 = -4.25;
y0 = -4;
z0 = 0;

xf = -4.13;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

```

```

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%stanga 13
xi = -4.69;
yi = -4.1;
zi = 0;

x0 = -4.55;
y0 = -4;
z0 = 0;

xf = -4.4;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%stanga 14
xi = -4.23;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = -4.1;
y0 = -4.05;
z0 = 0;

x1 = -4;
y1 = -3.9;
z1 = 0;

xf = -4;
yf = -3.75;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%stanga 15
xi = -4.5;
yi = -3;
zi = 0;

x0 = -4.55;
y0 = -3.45;
z0 = 0;

xf = -4.65;
yf = -4.05;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

```

```

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%stanga 16
xi = -4.5;
yi = -3;
zi = 0;

x0 = -4.35;
y0 = -3.45;
z0 = 0;

xf = -4;
yf = -3.9;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%stanga 17
xi = -4.65;
yi = -4.05;
zi = 0;

x0 = -4.35;
y0 = -3.9;
z0 = 0;

xf = -4;
yf = -3.9;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 1
xi = 5;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = 4.75;
y0 = -3.5;
z0 = 0;

x1 = 4.6;
y1 = -2;
z1 = 0;

x2 = 4.65;
y2 = 1;
z2 = 0;

x3 = 4.6;
y3 = 3;
z3 = 0;

```

```

xf = 4.65;
yf = 4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
%dreapta 2
xi = 3.9;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = 4.2;
y0 = -3;
z0 = 0;

x1 = 4.2;
y1 = -1.5;
z1 = 0;

x2 = 4.2;
y2 = -1;
z2 = 0;

x3 = 4.25;
y3 = 3;
z3 = 0;

xf = 3.7;
yf = 3.8;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
%dreapta 3
xi = 3.7;
yi = 3.8;
zi = 0;

x0 = 3.6;
y0 = 4.4;
z0 = 0;

x1 = 4.2;
y1 = 4.8;
z1 = 0;

```

```

xf = 4.5;
yf = 4.7;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 4
xi = 4.5;
yi = 4.7;
zi = 0;

x0 = 4.67;
y0 = 4.4;
z0 = 0;

xf = 4.65;
yf = 4;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 5
xi = 5;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = 4.95;
y0 = -4.3;
z0 = 0;
x1 = 4.75;
y1 = -4.3;
z1 = 0;

xf = 4.65;
yf = -4.2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 6
xi = 4.65;
yi = -4.2;
zi = 0;

x0 = 4.55;
y0 = -4.3;
z0 = 0;

```

```

x1 = 4.45;
y1 = -4.2;
z1 = 0;

x2 = 4.2;
y2 = -4.5;
z2 = 0;

x3 = 4.15;
y3 = -4.45;
z3 = 0;

x4 = 4.1;
y4 = -4.2;
z4 = 0;

xf = 4.13;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
x4 xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
y4 yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
z4 zf];

Curba3D(7, bx, by,
bz);
%dreapta 7
xi = 4.13;
yi = -4.1;
zi = 0;

x0 = 4.08;
y0 = -4.15;
z0 = 0;

x1 = 3.98;
y1 = -4.15;
z1 = 0;

xf = 3.9;
yf = -4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 8
xi = 4.5;
yi = 4.7;
zi = 0;

x0 = 4.5;
y0 = 4.3;
z0 = 0;

```

```

x1 = 3.8;
y1 = 4;
z1 = 0;
xf = 3.65;
yf = 4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 9
xi = 4.2;
yi = 4.1;
zi = 0;

x0 = 4.25;
y0 = 3.8;
z0 = 0;

x1 = 4.35;
y1 = 3.5;
z1 = 0;

x2 = 4.5;
y2 = 0.3;
z2 = 0;
x3 = 4.45;
y3 = 0;
z3 = 0;

xf = 4.5;
yf = -3;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
%dreapta 10
xi = 4.2;
yi = 4.1;
zi = 0;

x0 = 4.4;
y0 = 3.9;
z0 = 0;

xf = 4.67;
yf = 4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];

```

```

by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 11
xi = 5;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = 4.95;
y0 = -3.95;
z0 = 0;
x1 = 4.75;
y1 = -4;
z1 = 0;

xf = 4.65;
yf = -4.2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 12
xi = 4.47;
yi = -4.2;
zi = 0;

x0 = 4.25;
y0 = -4;
z0 = 0;

xf = 4.13;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 13
xi = 4.69;
yi = -4.1;
zi = 0;

x0 = 4.55;
y0 = -4;
z0 = 0;

xf = 4.4;
yf = -4.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];

```

```

by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 14
xi = 4.23;
yi = -4;
zi = 0;

x0 = 4.1;
y0 = -4.05;
z0 = 0;

x1 = 4;
y1 = -3.9;
z1 = 0;

xf = 4;
yf = -3.75;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%dreapta 15
xi = 4.5;
yi = -3;
zi = 0;
x0 = 4.55;
y0 = -3.45;
z0 = 0;

xf = 4.65;
yf = -4.05;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 16
xi = 4.5;
yi = -3;
zi = 0;

x0 = 4.35;
y0 = -3.45;
z0 = 0;

xf = 4;
yf = -3.9;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];

```

```

by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%dreapta 17
xi = 4.65;
yi = -4.05;
zi = 0;

x0 = 4.35;
y0 = -3.9;
z0 = 0;

xf = 4;
yf = -3.9;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
%os rotund sus
xi = -0.9;
yi = 2;
zi = 0;

x0 = -0.65;
y0 = 2.7;
z0 = 0;

x1 = 0;
y1 = 3;
z1 = 0;

x2 = 0.65;
y2 = 2.7;
z2 = 0;

xf = 0.9;
yf = 2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2
xf];
by = [yi y0 y1 y2
yf];
bz = [zi z0 z1 z2
zf];

Curba3D(5, bx, by,
bz);
%os rotund jos
xi = -0.9;
yi = 2;
zi = 0;

x0 = -0.65;
y0 = 2.7;
z0 = 0;

x1 = 0;
y1 = 3;
z1 = 0;

x2 = 0.65;
y2 = 2.7;
z2 = 0;

xf = 0.9;
yf = 2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2
xf];
by = [yi y0 y1 y2
yf];
bz = [zi z0 z1 z2
zf];

Curba3D(5, bx, by,
bz);
%os rotund jos
xi = -0.9;
yi = 2;
zi = 0;

x0 = -0.65;
y0 = 1.3;
z0 = 0;

x1 = 0;
y1 = 1;
z1 = 0;

x2 = 0.65;
y2 = 1.3;
z2 = 0;

xf = 0.9;
yf = 2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2
xf];
by = [yi y0 y1 y2
yf];
bz = [zi z0 z1 z2
zf];

Curba3D(5, bx, by,
bz);
%lateral os
xi = 0;
yi = 3;
zi = 0;

x0 = -0.1;
y0 = 3.1;
z0 = 0;

x1 = -0.5;
y1 = 3;
z1 = 0;

x2 = -1;
y2 = 2;
z2 = 0;

x3 = -0.7;
y3 = 1.25;
z3 = 0;

xf = -0.6;
yf = 1.2;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
%lateral os
xi = -0.9;
yi = 1.5;

zi = 0;

x0 = -1;
y0 = 1.52;
z0 = 0;

x1 = -1;
y1 = 1.6;
z1 = 0;

x2 = -1.15;
y2 = 2;
z2 = 0;

x3 = -1.15;
y3 = 2.3;
z3 = 0;

x4 = -1.1;
y4 = 2.5;
z4 = 0;

xf = -0.75;
yf = 2.7;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
x4 xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
y4 yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
z4 zf];

Curba3D(7, bx, by,
bz);
%lateral os
xi = -0.75;
yi = 2.7;
zi = 0;

x0 = -0.7;
y0 = 3.1;
z0 = 0;

x1 = -0.1;
y1 = 3.25;
z1 = 0;

xf = -0.1;
yf = 3.1;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
%sa
xi = -2.2;
yi = -0.6;

```

```

zi = 0;
x0 = -1.5;
y0 = -0.3;
z0 = 0;

x1 = -1;
y1 = -0.6;
z1 = 0;

x2 = -0.8;
y2 = -0.4;
z2 = 0;

x3 = 0.3;
y3 = -1;
z3 = 0;

x4 = 2;
y4 = -0.5;
z4 = 0;
x5 = 2.2;
y5 = -0.3;
z5 = 0;

xf = 2.4;
yf = -0.5;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
x4 x5 xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
y4 y5 yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
z4 z5 zf];

Curba3D(8, bx, by,
bz);
%l1l1l

xi = 2.4;
yi = -0.5;
zi = 0;

x0 = 2.6;
y0 = -1.4;
z0 = 0;

xf = 2.4;
yf = -2.5;
zf = 0;
bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
xi = 2.4;
yi = -2.5;
zi = 0;

x0 = 2.2;
y0 = -2.8;
z0 = 0;

x1 = 0.5;
y1 = -2.2;
z1 = 0;

xf = -1.5;
yf = -2.8;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
xi = -1.5;
yi = -2.8;
zi = 0;

x0 = -1.8;
y0 = -2.85;
z0 = 0;

x1 = -2.1;
y1 = -2.8;
z1 = 0;

xf = -2.4;
yf = -2.4;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 xf];
by = [yi y0 y1 yf];
bz = [zi z0 z1 zf];

Curba3D(4, bx, by,
bz);
xi = -2.4;
yi = -2.4;
zi = 0;

x0 = -2.2;
y0 = -1.8;
z0 = 0;

x1 = -2.45;
y1 = -1.5;
z1 = 0;
x2 = -2.2;
y2 = -1.2;
z2 = 0;

x3 = -2.1;
y3 = -0.9;
z3 = 0;

xf = -2.2;

yf = -0.6;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2 x3
xf];
by = [yi y0 y1 y2 y3
yf];
bz = [zi z0 z1 z2 z3
zf];

Curba3D(6, bx, by,
bz);
xi = -2.2;
yi = -0.6;
zi = 0;

x0 = -1.7;
y0 = -1.5;
z0 = 0;

x1 = -1.3;
y1 = -1.6;
z1 = 0;

x2 = -1.15;
y2 = -1.4;
z2 = 0;

xf = -1;
yf = -0.6;
zf = 0;

bx = [xi x0 x1 x2
xf];
by = [yi y0 y1 y2
yf];
bz = [zi z0 z1 z2
zf];

Curba3D(5, bx, by,
bz);
xi = -1.3;
yi = -1.6;
zi = 0;

x0 = -1.2;
y0 = -2.1;
z0 = 0;

xf = -1.5;
yf = -2.8;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);
xi = 2.6;

```

<pre> yi = -1.4; zi = 0; x0 = 3; y0 = -1.7; z0 = 0; x1 = 3.1; y1 = -2.5; z1 = 0; x2 = 2.7; y2 = -2.4; z2 = 0; xf = 2.45; yf = -2.4; zf = 0; bx = [xi x0 x1 x2 xf]; by = [yi y0 y1 y2 yf]; bz = [zi z0 z1 z2 zf]; Curba3D(5, bx, by, bz); %%hasuri 7 foi %h1 xi = 2.7; yi = -1.43; zi = 0; xf = 2.55; yf = -2.38; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h2 xi = 2.8; yi = -1.48; zi = 0; xf = 2.65; yf = -2.39; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); </pre>	<pre> %h3 xi = 2.9; yi = -1.55; zi = 0; xf = 2.75; yf = -2.42; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h4 xi = 3; yi = -1.72; zi = 0; xf = 2.85; yf = -2.45; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h5 xi = 3.1; yi = -1.95; zi = 0; xf = 2.95; yf = -2.50; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h6 xi = 3.15; yi = -2.2; zi = 0; xf = 3.05; yf = -2.52; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); </pre>	<pre> %hasura stanga %h1 xi = -2.0; yi = -1.1; zi = 0; xf = -2.2; yf = -2.7; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h2 xi = -1.9; yi = -1.2; zi = 0; xf = -2.1; yf = -2.8; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h3 xi = -1.8; yi = -1.4; zi = 0; xf = -2.0; yf = -2.85; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; Curba3D(2, bx, by, bz); %h4 xi = -1.7; yi = -1.5; zi = 0; xf = -1.9; yf = -2.85; zf = 0; bx = [xi xf]; by = [yi yf]; bz = [zi zf]; </pre>
--	--	--

```

Curba3D(2, bx, by,
bz)
%h5

xi = -1.6;
yi = -1.55;
zi = 0;

xf = -1.8;
yf = -2.85;
zf = 0;

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

Curba3D(2, bx, by,
bz)
%h6

xi = -1.5;
yi = -1.6;
zi = 0;

xf = -1.7;
yf = -2.84;
zf = 0;

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

Curba3D(2, bx, by,
bz)
%h7

xi = -1.4;
yi = -1.61;
zi = 0;

xf = -1.6;
yf = -2.81;
zf = 0;

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

Curba3D(2, bx, by,
bz)
%h7

xi = -1.3;
yi = -1.61;
zi = 0;

xf = -1.5;
yf = -2.81;
zf = 0;

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

Curba3D(2, bx, by,
bz)
%h7

xi = -1.2;
yi = -1.95;
zi = 0;

xf = -1.4;
yf = -2.61;
zf = 0;

bx = [xi xf];
by = [yi yf];
bz = [zi zf];

Curba3D(2, bx, by,
bz)

%%%%%%%%%%%%%%

xi = -6;
yi = -6;
zi = 0;

x0 = -6;
y0 = 0;
z0 = 0;

xf = -6;
yf = 5;
zf = 0;

bx = [xi x0 xf];
by = [yi y0 yf];
bz = [zi z0 zf];

Curba3D(3, bx, by,
bz);

pts =
line('Xdata',NaN,'Ydata',NaN, 'Color',
'r');

hold on;

```


Prin lansarea acestui fișier se obțin modele din figura 4.9.

Similar, prin lansarea celorlalte fișiere menționate, se obțin modelele din figurile 4.10. și 4.11.

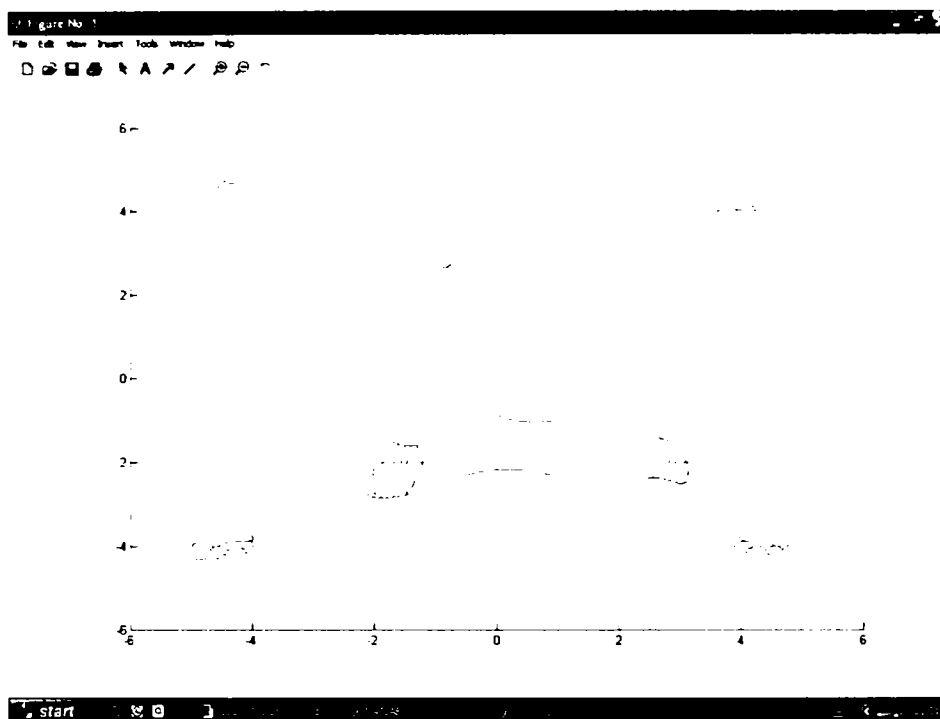


Fig. 4.9. Modelul humerusului

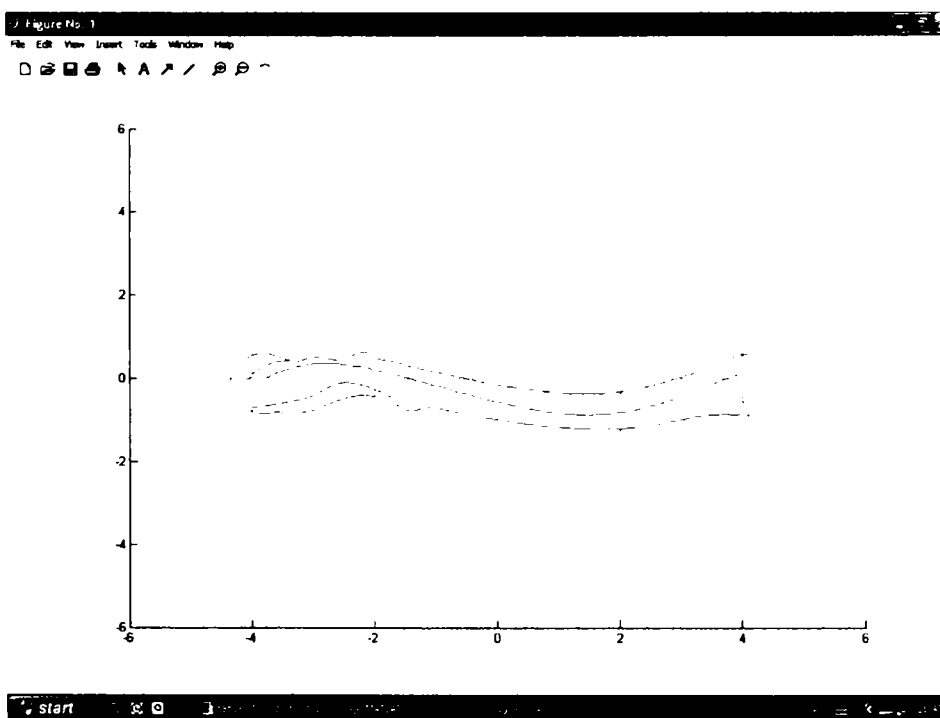


Fig. 4.10. Modelul claviculei

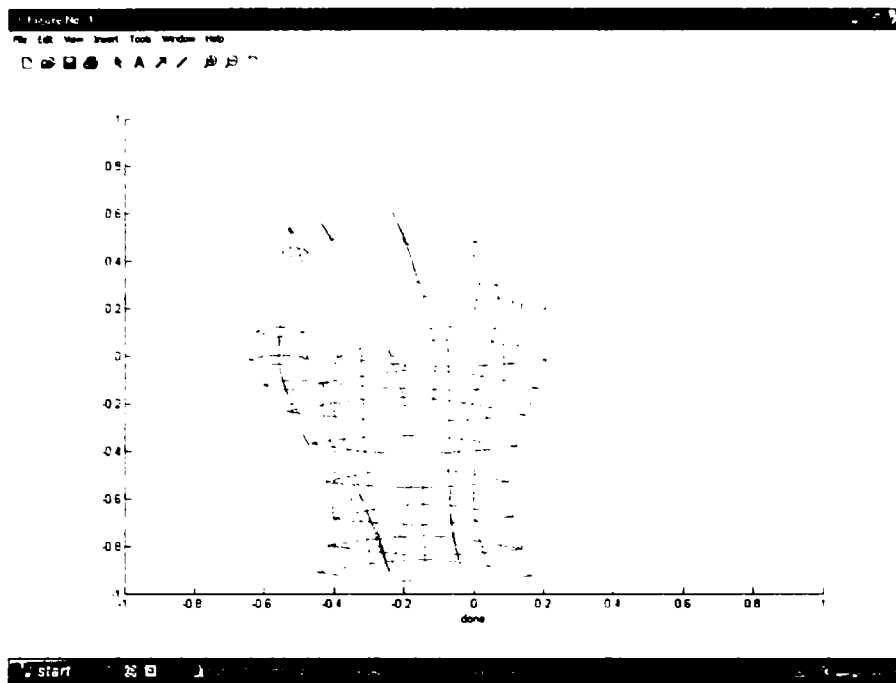


Fig. 4.11. Modelul mâinii

Prin lansarea fișierului *film.exe* se realizează o mișcare de flexie și extensie a antebrațului modelat în MatLab. Un cadru al acestui film este prezentat în figura 4.12.

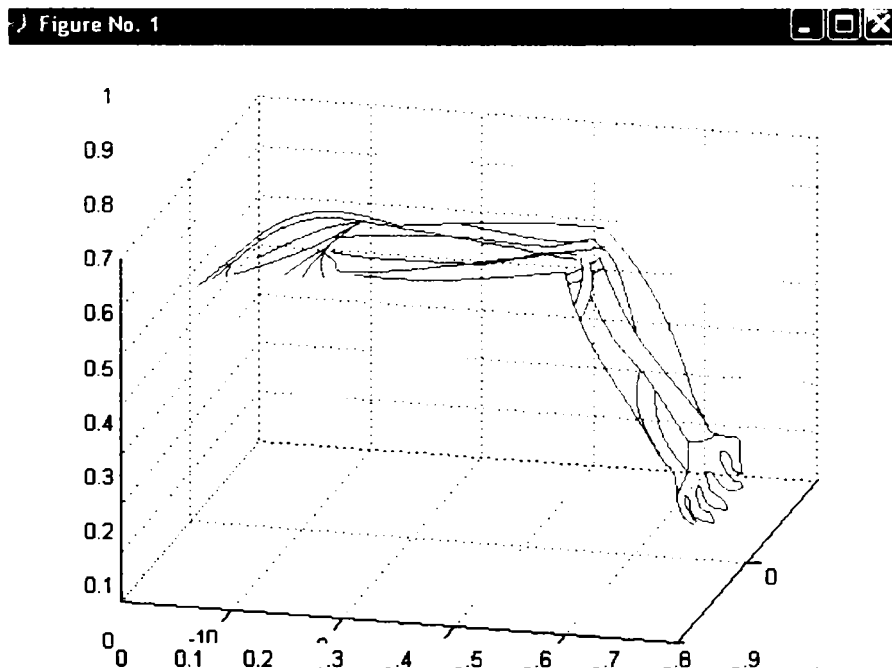


Fig. 4.12. Cadru din mișcarea de flexie-extensie a antebrațului

4.4. Obținerea suprafețelor pornind de la curbe

În proiectarea asistată pe calculator, se utilizează două clase de suprafețe: **plane** și **curbe (petice)** [19], [39], [73], [131].

Suprafețele **plane**, cu toate că au limitări, permit realizarea de modele robuste rezonabil de complexe. Modelele fațetate utilizează poligoane plane pentru a reprezenta inclusiv suprafețe curbe prin discretizare cu un grad de aproximare acceptat. Prin procesul de tessellare se realizează generarea informațiilor pentru interiorul unui petic, adică generarea unor puncte ce pot fi, apoi, unite pentru a rezulta un model wireframe, sau grupate pentru a forma poligoane (fațete), de obicei triunghiulare pentru o precizie suficient de bună.

Peticele (patches) realizează o descriere geometrică a unor suprafețe curbe. Peticele pot fi definite implicit, prin funcții de forma $f(x,y,z) = 0$, sau parametric. Reprezentarea parametrică este mai utilă în CAD. Fiecare coordonată este tratată ca o funcție de doi parametri, s și t sau u și v , de regulă cu limite normalizate: $s, t \in [0, 1]$.

Din punct de vedere al modului de generare, se evidențiază două clase de suprafețe:

- obținute prin interpolare;
- obținute prin baleiere.

În prima clasă se înscriu, de exemplu, suprafețele generate prin aplicație biliniară, lofting simplu sau dublu (Coons), peticele Bézier și cele bicubice, iar în a doua clasă se încadrează suprafețele obținute prin: extrudare, sweeping și cele de revoluție.

Suprafețele complexe ale modelelor sunt realizate din mai multe petice alăturate. În acest caz se pun mai multe probleme pentru ca suprafețele să fie fizic realizabile:

- **compatibilitatea** (coerența): normalele la suprafață de-a lungul muchiilor comune să fie orientate corespunzător pentru cele două petice;
- **autointersectarea**: peticele să nu se autointersecteze și nici să se intersecteze între ele;
- **continuitatea**: funcționalitatea și estetica cer continuitate de ordin superior (și pentru derivate).

Tratarea segmentelor de curbă cubică parametrică poate fi generalizată la porțiunile de suprafață cubică biparametrică. Un punct de pe porțiunea de suprafață este dat printr-o funcție de doi parametri, iar pentru fiecare parametru este folosită o mulțime de funcții de bază. O suprafață cubică Bézier e definită astfel:

$$Q(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{ij} \cdot B_i(u) \cdot B_j(v) \quad (4.20)$$

Formularea matriceală pentru reprezentarea unei porțiuni de suprafață prin puncte de control, este:

$$\mathbf{P}(u, v) = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{B}^T \cdot \begin{bmatrix} v^3 \\ v^2 \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

unde:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

În majoritatea aplicațiilor este necesar ca din mai multe porțiuni de suprafață să se modeleze suprafața exterioară complexă a unui corp oarecare. Pentru aceasta trebuie ca suprafața realizată să fie continuă, ceea ce în mod firesc impune anumite restricții. Realizarea continuității de gradul întâi între două porțiuni de suprafață se obține printr-o generalizare a restricțiilor impuse la unirea segmentelor de curbă, abordarea cea mai simplă fiind cea geometrică.

Se consideră că principalul motiv pentru care porțiunile dreptunghiulare sunt predominante în sistemele CAD este faptul că prima lor aplicație a fost în design-ul automobilelor la definirea părților exterioare ale caroseriei. Aceste părți au o geometrie rectangulară și este natural să fie divizate în dreptunghiuri mai mici [68], [128].

Evaluarea unei porțiuni de suprafață B-spline bicubică se realizează prin relația:

$$Q(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot B_{ij}(u, v) \quad (4.23)$$

unde P_{ij} este un șir de puncte de control, iar $B_{ij}(u, v)$ e o funcție de bază de două variabile. Aceasta poate fi generată prin:

$$B_{ij}(u, v) = B_i(u) \cdot B_j(v) \quad (4.24)$$

unde $B_i(u)$ și $B_j(v)$ sunt funcțiile cubice B-spline anterior definite.

Astfel:

$$Q(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot B_i(u) \cdot B_j(v) \quad (4.25)$$

La fel ca și la curbele B-spline, se consideră că o porțiune de suprafață B-spline este formată din mai multe segmente dreptunghiulare. În spațiul parametrilor există două secvențe de noduri, funcții de u și respectiv, de v , care considerate împreună formează un tablou.

Cel mai simplu mod de abordare consideră porțiuni de suprafață B-spline uniforme, la care grila valorilor de nod prezintă intervale egale pe direcțiile parametrilor u și v [22].

4.5. Realizarea modelelor 3D ale membrului superior uman

Tehnicile computerizate de modelare și simulare au avut o evoluție foarte rapidă, extinzându-se de la aplicațiile media la industria de automobile, armată, diferite ramuri ale științei ca medicina, ingineria, fizica și bineînțeles, educația. Potențialul pe care combinația dintre cunoștințele din biologie, inginerie și grafica pe calculator o poate avea, înțelegerea problemelor legate de repararea deficiențelor motorii ale scheletului uman, precum și evidența clinică a bolilor osoase reprezintă esența cercetărilor din biomecanică.

Ca și în alte științe, integrarea modelelor experimentale și analitice în biomecanică este critică în dobândirea cunoștințelor și înțelegerea răspunsului diferitelor oase ale scheletului la acțiunea factorilor mecanici. Experimentele furnizează date care ulterior pot fi interpretate în diferite contexte. Aceste investigații sunt influențate în mod deosebit de realizările în domeniul tehnicilor de prelucrare grafică, prelucrare a imaginilor, mecanică computațională, genetică și biologie moleculară. Integrarea acestor tehnici va duce la furnizarea unor date importante pentru cercetările legate de scheletul uman, traumele și bolile acestuia.

În aplicațiile medicale, atenția cercetătorilor se îndreaptă spre utilizarea combinației între reconstrucția 3D și mediile virtuale în scopul pregătirii medicilor, respectiv pentru a

ajuta chirurgii să planifice procedurile specifice fiecărui pacient, mai ales în leziunile complexe ce impun chirurgia plastică, chirurgia ortopedică și chirurgia restauratorie. Modelele 3D sunt foarte utile în simularea fracturilor și fixarea acestora cu implante precum și pentru înțelegerea modului în care structurile musculoscheletale umane răspund forțelor exterioare perturbatoare. Datorită complexității acestor structuri și a insuficienței datelor biologice și anatomice despre ele, există numeroase posibilități de comportare a acestora în diferite condiții. Tehnicile de modelare computerizată aplicate corpului uman oferă posibilitatea analizării acestuia, fără a interveni fizic [30], [34], [36], [88], [115], [119], [124].

Grafica pe calculator, în special cea tridimensională cuprinde în prezent un număr foarte mare de aplicații în diferite domenii, de la jocuri și desene animate, la domenii practice ca proiectarea CAD (Computer Aided Design) a componentelor mecanice. În acest sens, grafica 3D este probabil cea mai importantă componentă a graficii computerizate. Chiar dacă unele aspecte sunt întâlnite numai într-un număr restrâns de domenii, tehnicile de modelare parametrică a suprafețelor sunt utilizate aproape în exclusivitate în inginerie.

Programele de grafică, ca și celelalte programe, conțin o serie de instrucțiuni codate care se transmit diferitelor dispozitive. Cele mai importante programe de grafică conțin un set de subrutine utilizate pentru a produce imagini pe ecran. Ele conțin de asemenea o serie de primitive grafice, realizate cu ajutorul unor algoritmi pentru crearea liniilor, elipselor, dreptunghiurilor, cercurilor, arcelor, poligoanelor și textului. În plus, acestea trebuie să includă facilități de modificare ca: funcții care permit mărirea sau micșorarea imaginilor, plasarea lor în diferite porțiuni ale ecranului, rotirea lor, schimbarea culorilor, iluminarea cu diferite intensități, aplicarea unor efecte de animație etc.

Se prezintă o clasificare succintă a resurselor software utilizate în biomecanică. Astfel există [7], [52], [55], [92], [103], [119], [126]:

1. **Programe de analiză a mișcării** care cuprind următoarele categorii: de calibrate prin care se pot modifica prin intermediul unor algoritmi, coordonatele unei imagini în date spațiale (3D) precum și poziția corpului rigid, de analiză a mișcării, etc. Astfel de programe sunt: C3D Tools, MatLab, Biomech etc.
2. **Programe de simulare cinematică și dinamică:** MatLab, SIMU5, SPACELIB, SIMM etc. Cercetătorii au elaborat și propriile pachete software, utilizate în special în laboratoarele de biomecanică. Astfel SIMM (Software for Interactive Musculoskeletal Modeling) este utilizat în peste 70 de laboratoare de biomecanică din întreaga lume. Acest pachet software creează un cadru general pentru

dezvoltarea unei game foarte extinse de modele necesare studiului mișcărilor omului și animalelor.

3. **Programe de analiză numerică:** MathWorks, Netlib etc.
4. **Programe pentru imagistică și morfologie** cu următoarele funcții: calculul proprietăților de masă și inerție, analiza structurii osoase, imagistică etc. Ca exemple putem aminti Slice și Morph.
5. **Programe de modelare cu element finit:** Spatch, BioProc etc. Motivele pentru care acestea au avut o dezvoltare foarte rapidă sunt: acuratețea reprezentării geometriei oaselor, posibilitatea variației parametrilor, posibilitatea ca modelele FE să fie combinate cu algoritmi de remodelare, posibilitatea ca modelele FE să fie utilizate în alte tipuri de analize.
6. **Programe de tip CAD:** Computer-aided-geometric-design (CAGD), computer-aided-design (CAD), computer-aided-manufacturing (CAM), Solid Works, utilizate în modelarea diferitelor componente osoase sau musculare ale organismului uman.

Nici o discuție legată de dispozitive grafice sau programele grafice nu poate fi făcută fără a se face referire la dispozitivele proiectate în scopul obținerii imaginilor (în acest caz imagini anatomice) și transformarea lor în date digitale. Un astfel de dispozitiv este computerul tomograf care este utilizat pentru a cuantifica geometria diferitelor organe.

Modelele realizate cu ajutorul calculatorului, pe baza radiografiilor sau a imaginilor obținute prin intermediul tomografiei computerizate (CT), sunt tot mai mult utilizate în intervențiile chirurgicale reparatorii, cu referire la analiza și proiectarea unei varietăți foarte largi de proceduri de reconstrucție intervențională. Aceste simulări computerizate ale reconstrucțiilor pot fi aplicate clinic în osteotomie, înlocuirea totală a ligamentelor și realizarea grefelor prin metode chirurgicale. Implantele ortopedice proiectate pentru fiecare pacient în parte au devenit tot mai utilizate și necesare în practica ortopedică. De asemenea, protezele individualizate sunt deseori necesare în procedurile de salvare a membrului mai ales în cazul cancerului, a înlocuirilor totale a ligamentelor și a artritelor reumatoide juvenile.

Se vor prezenta câteva modele 3D ale elementelor membrului superior uman prin intermediul curbilor spline, a suprafețelor și pe baza investigației de tomografie computerizată.

◆ Pentru realizarea **capătului distal al humerusului** prin porțiuni de suprafețe Spline s-a utilizat programul Spatch [52] care permite construirea formelor complexe pornind de la curbele Spline. Fereastra principală a acestui program conține cinci elemente: bara de meniuri, bara de unelte, bara de vizualizare, bara de stare și regiunea de lucru.

În figura 4.13 este reprezentată bara de instrumente cu cele cinci grupuri de butoane.

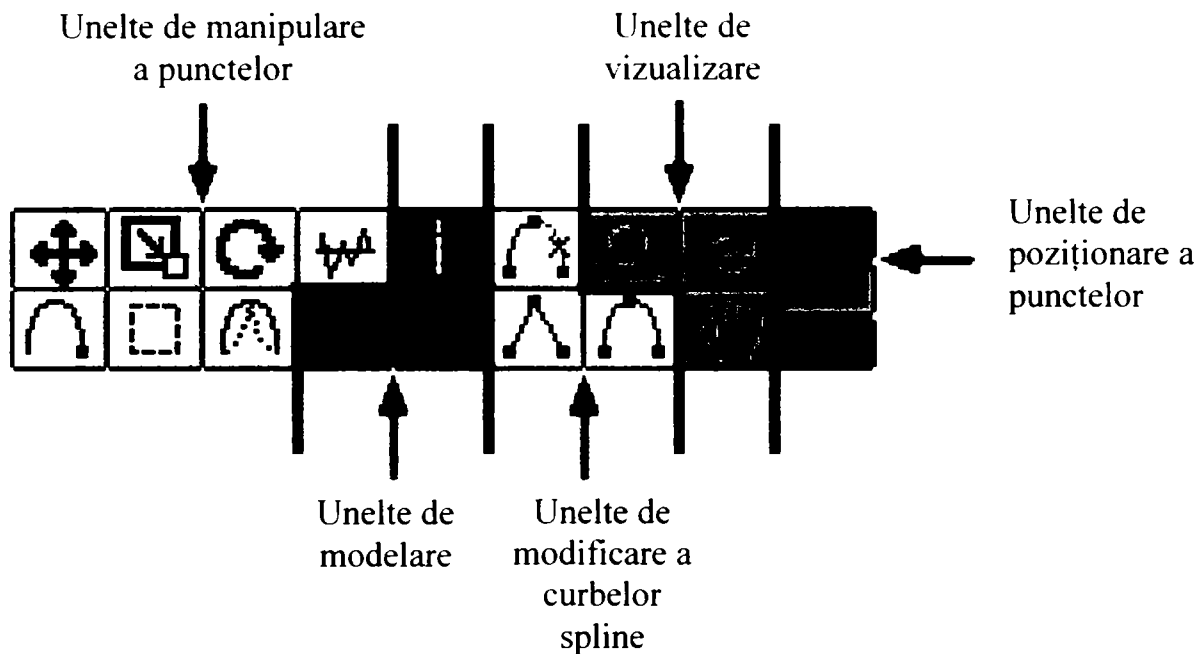


Fig. 4.13. Bara de instrumente a programului Spatch

Cele cinci categorii de butoane sunt:

- **de manipulare a punctelor** (roz) care conține: **Add Point** prin care se poate adăuga un nou punct curbei, **Translate** pentru mutarea unui punct sau a unui grup de puncte, **Scale** care mărește sau micșorează selecția, **Rotate** prin care se poate roti selecția în jurul unei axe, **Add Noise** utilă pentru reprezentarea obiectelor într-o formă mai reală față de cea generată de computer, **Group** care permite selectarea a mai multor puncte în scopul manipulării lor simultan și **Smooth** prin care se poate modifica gradul de curbare a unei curbe spline.
- **de vizualizare** (verde) permite schimbarea modului de vizualizare a modelului din regiunea de lucru, conținând: **Zoom** (lupă), **Pan** (mână) și **Pivot** (săgeți circulare); aceste unelte nu modifică modelul, ci doar modul de vizualizare.
- **de poziționare a punctelor** (X, Y, Z - colorate) prin care dacă butonul este gri, punctele nu pot fi mutate după direcția corespunzătoare, iar dacă butonul

este roșu, verde sau albastru în funcție de axă, punctele pot fi mutate după direcția respectivă.

- **de modelare** (albastru) care conține: **Lathe** care dintr-o curbă 2D generează un obiect 3D și în plus poate uni mai multe astfel de obiecte într-un obiect complex, **Extrude** prin care se poate realiza un duplicat al unei curbe și stabili o conexiune între punctele celor două curbe și **Clone** care face un duplicat al selecției curente.
- **de modificare a curbelor spline** (gri) care operează asupra selecției curente și care conține următoarele butoane: **Delete Edge** pentru a șterge porțiuni ale curbei, **Peak** prin care curbele care trec prin punctele selectate se transformă în linii frânte și **Round** prin care liniile frânte se transformă din nou în curbe.

Pentru realizarea unui model 3D cu ajutorul programului Spatch trebuie parcurse următoarele etape:

- construirea formelor cu ajutorul **curbelor spline**, care se pot închide sub forma unor bucle, realizându-se astfel o rețea de suprafețe care poate fi modificată fie prin adăugarea, fie prin excluderea unor puncte;
- utilizarea comenzii **Rendering** pentru obținerea modelului 3D.

Important la acest program este faptul că se pot obține forme complexe pornind de la câteva puncte de control.

Pentru realizarea modelului capătului distal al humerusului s-au parcurs etapele menționate mai sus, obținându-se modelul din figura 4.14. Acesta a fost modelat prin două secțiuni tridimensionale (articulară și nonarticulară) suprapuse. Suprafața articulară a fost obținută cu ajutorul a 22 puncte de control.

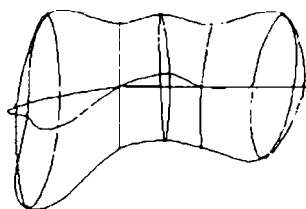


Fig. 4.14. Modelul capătului distal al humerusului

Prin renderizare s-a obținut modelul din figura 4.15.a.

O altă variantă mai nouă a programului, numită Hamakazu, are anumite facilități suplimentare ca: posibilitatea modificării culorilor în diferite zone ale modelului, posibilitatea de a lucra simultan cu mai multe cadre, posibilitatea de renderizare în timp real, etc. Modelul capătului distal al humerusului, obținut prin utilizarea acestui program este prezentat în figura 4.15.b.

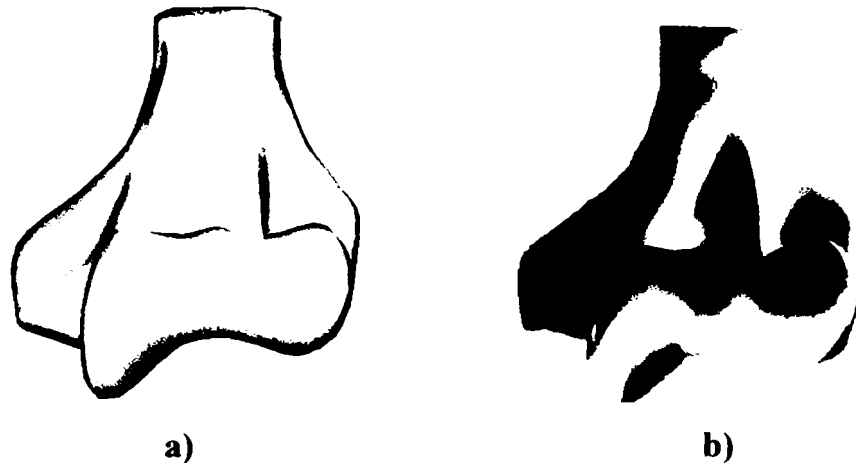


Fig. 4.15. Modelul capătului distal al humerusului
a) în Spach, b) în Hamakazu

◆ Pentru obținerea **modelului 3D al membrului superior uman** s-a pornit de la dimensiunile măsurate pe modele din ghips și cu ajutorul imaginilor din atlasele de anatomia omului [1], [95],[100].

Modelarea formelor neregulate necesită anumite tehnici de realizare a caracteristicilor corpului solid, cum ar fi: reliefurile, tăieturile, găurile etc.

Membrul superior a fost modelat pe părțile sale componente: humerus, radius, ulna și mâna, care ulterior au fost asamblate prin articulația de la cot și cea de la mâna.

Fiecare componentă a fost modelată utilizând comenzile specifice programului Solid Works [138], trasând mai multe secțiuni paralele prin os, prin unirea cărora s-a obținut forma finală. Secțiunile s-au realizat inițial prin comanda **Sketch**, ce realizează schițe și oferă următoarele opțiuni:

- ✓ **Line** care permite crearea de linii între două puncte de parametrii prestabiliți;
- ✓ **Centerpoint Arc** care creează un arc între două puncte și un centru al acestuia;
- ✓ **Tangent Arc** care permite crearea unui arc, tangent la o entitate schițată anterior;
- ✓ **Circle** care permite crearea unui cerc;

- ✓ **Ellipse** care permite crearea unei elipse;
- ✓ **Spline** care permite crearea de curbe de tip spline, ce trece prin punctele de control specificate și care are următoarele subopțiuni:
 - **Insert Spline Point** care permite inserarea unor puncte de control curbei spline;
 - **Simplify spline** care permite eliminarea unor puncte de control nedorite ale curbei;
 - **Moving Frame** care permite mutarea punctelor de control ale curbei spline;
- ✓ **Centerline** care permite crearea unei axe în raport cu care sunt posibile comenzi ulterioare cum ar fi: oglindirea (**mirror**), rotirea (**revolve**) și altele.

Pentru realizarea solidului sunt necesare comenzi, cum ar fi:

- ✓ **Extrude** care permite crearea de solide prin extrudarea unei secțiuni (sketch), după una sau două direcții și are ca subopțiuni:
 - **Blind** care permite specificarea unei anumite adâncimi de extrudare, condiție limită de extrudare;
 - **Offset From Surface/Translate Surface** prin care se poate opta pentru o translație față de o suprafață de referință, care nu este schiță, fiind modul de executare a extrudării;
 - **Draft** care permite o extrudare sub un unghi exterior sau interior.

Pentru tăierea sau adăugarea de solide, necesare modelării, se poate opta pentru:

- **Cut-Extrude** care permite tăierea solidelor prin eliminarea părții, după una sau două direcții;

- **Loft-Boss** care permite crearea solidelor prin translatarea între diferite secțiuni.

Comanda poate utiliza curbe de ghidare pentru controlul direcției.

- ✓ **Revolve** care permite crearea solidelor prin rotirea unei secțiuni în jurul unei axe (centerline) după una sau două direcții. Are ca opțiune:

- **Thin Feature** care pentru obținerea unui solid cu goluri (perete, coajă etc.)

Orice modificare necesară se face prin revenirea la **Sketch**, efectuând diferite modificări parametrice. Ștergerea se face utilizând comanda **Delete**.

Fiecare componentă a sistemului osos al membrului superior a fost realizată în modulul **Part**, iar pentru asamblare se folosește modulul **Assembly**.

Modelele 3D a brațului sunt prezentată în figura 4.16, după ce au fost importate în programul ProEngineering (de unde pot fi extrase date referitoare la masă, volum, centru de greutate, momente de inerție etc.) [88], [92].

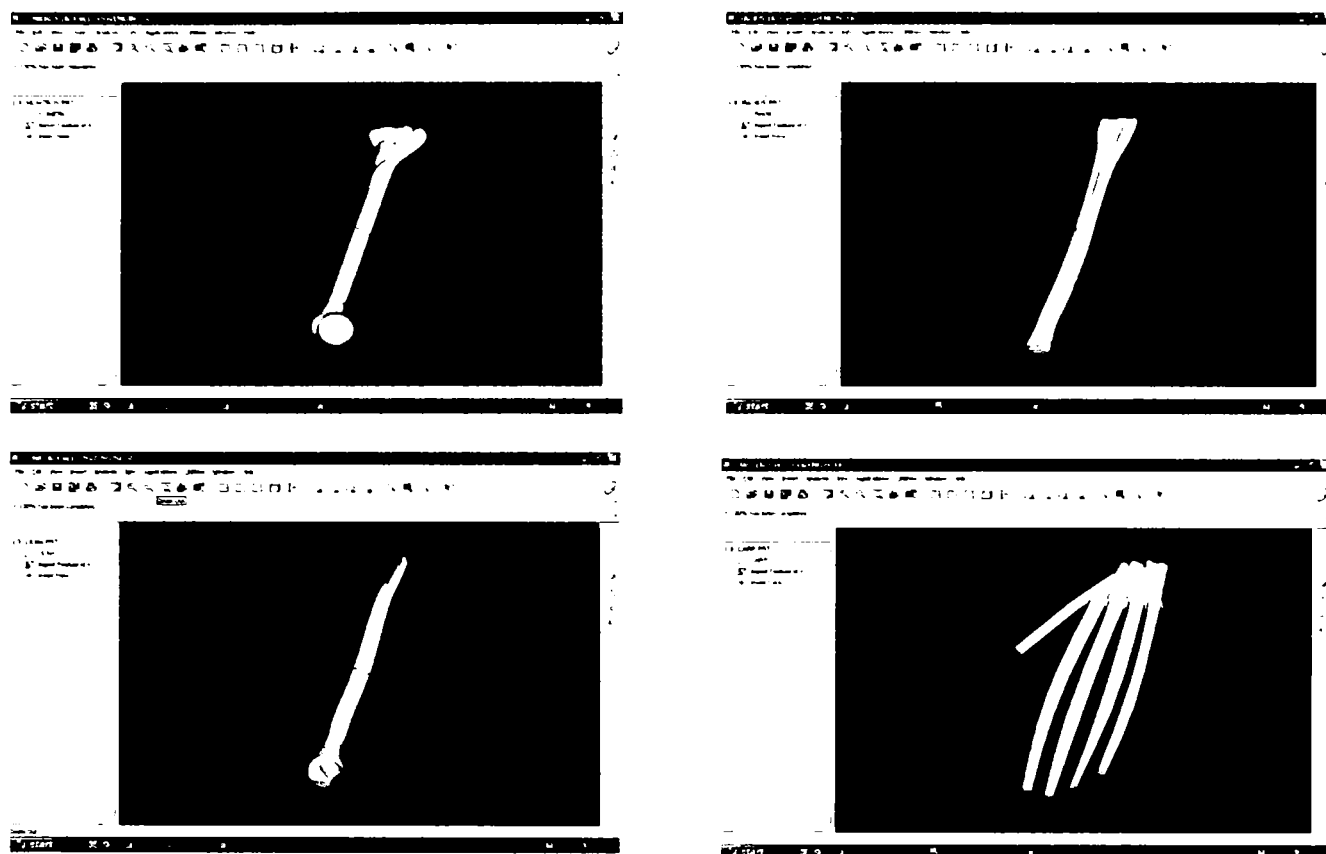


Fig. 4.16. Modele 3D ale oaselor membrului superior

În figurile 4.17-4.19 sunt reprezentate diferite modelele 3D realizate din segmentele osoase ale membrului superior.

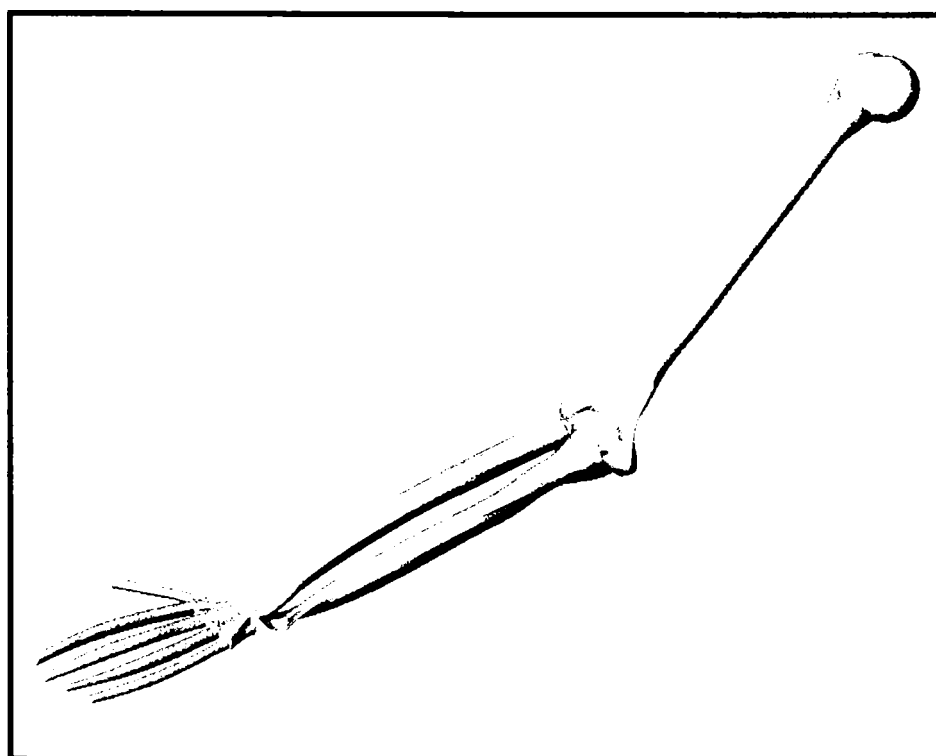


Fig. 4.17. Modelul membrului superior în supinație

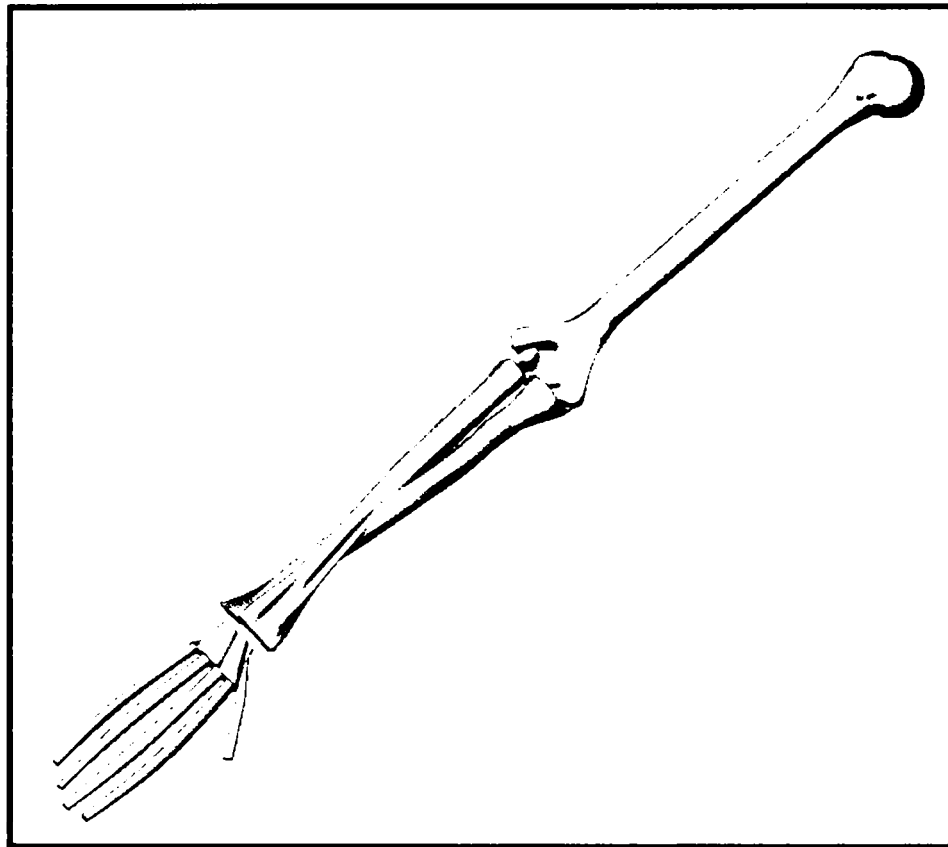


Fig. 4.18. Modelul membrul superior în pronație

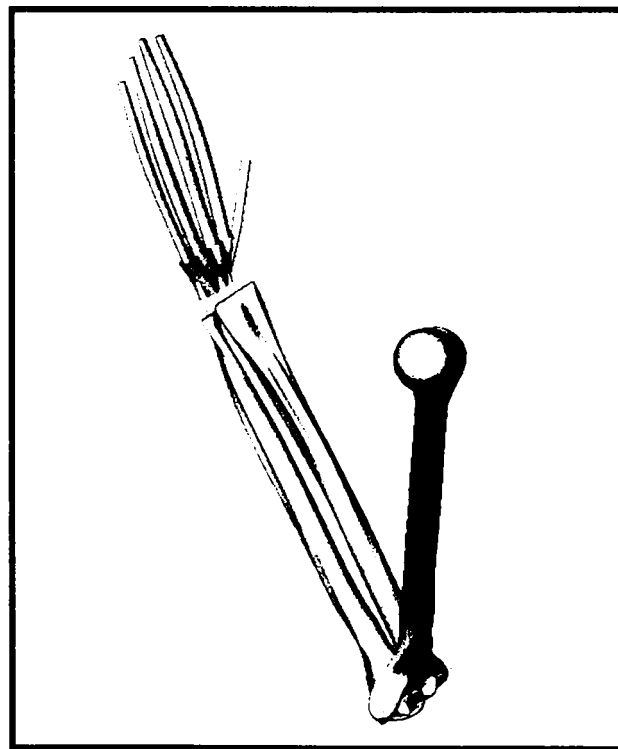


Fig. 4.19. Modelul membrului superior în flexie

Pornind de la modelele elementelor osoase ale membrului superior uman și utilizând același program, ținând seama de aspectele anatomice ale membrului superior prezentate în capitolul III, s-au obținut modelele membrului superior cu mușchi.



Fig. 4.20. Modelul membrului superior, cu mușchi (vedere anterioară)

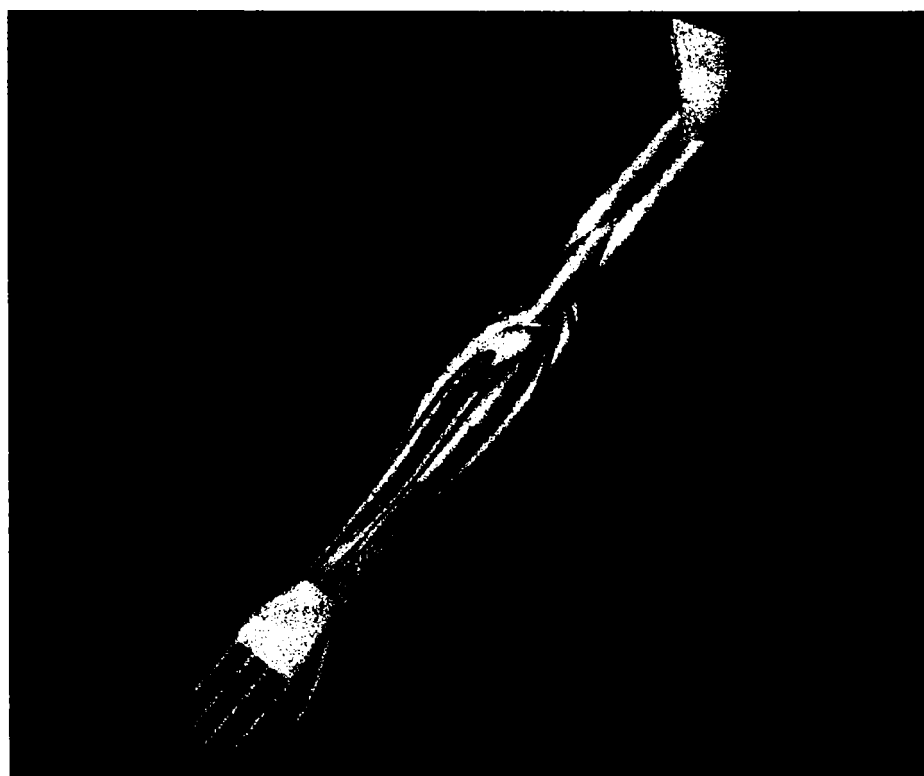


Fig. 4.21. Modelul membrului superior, cu mușchi (vedere posterioară)

◆ Pentru obținerea unor modele 3D foarte apropiate de cele reale, s-a utilizat o metodă modernă de investigație, **tomografia computerizată** [21], [45], [56]. Ea reprezintă o metodă de imagistică în care, cu ajutorul unui fascicol colimat de raze X, se produce imaginea unui plan selectat din regiunea de interes. Ea se bazează pe două principii: măsurarea atenuării unui fascicol de raze X care străbat un corp, calculul coeficientului de absorbție (densității) și reconstrucția imaginii unui obiect în funcție de diversele sale proiecții.

Imaginea CT este o matrice de elemente individuale, sub formă de tablouri rectangulare, cu m coloane și n linii. Volumul studiat este descompus în elemente numite *voxeli*. Imaginea matriceală este descompusă în imagini elementare, *pixeli*, care reprezintă suprafața de pe latura mică a voxel-ului.

Producerea unei imagini CT necesită o serie de operații care încep cu poziționarea bolnavului și spre deosebire de radiologia convențională unde imaginea este rezultatul impresiunii directe a filmului radiologic în funcție de absorbția de raze X prin structura de examinat, în CT formarea imaginii este un proces care are trei etape distincte: scanarea cu fascicol de raze X colimat, reconstrucția imaginii și conversia imaginii numerice în imagine vizibilă.

Pe parcurs, au existat mai multe tehnologii CT dintre care cea mai performantă este CT multislice. După scanare, computerul procesează datele, coeficienții de atenuare fiind organizați în matrice. Din coeficientul de atenuare se obține unitatea de densitate care reprezintă coeficientul de atenuare codificat artificial, pe baza unor densități cunoscute. Prin CT se realizează atât aprecierea exactă a topologiei și morfologiei lezionale, cât și diferențierea de alte entități cu localizare învecinată.

Pentru realizarea **modelului 3D al humerusului drept cu ajutorul CT**, s-a utilizat un computer tomograf General Electric. Protocolul de investigație a fost de tip Reformat Bone (cu fereastră), cu distanța dintre secțiuni de 1 mm, modul de reconstrucție Plus, cu o dimensiune a matricei de 512x512. Examinarea CT a fost de tip spiral și s-au obținut 231 de imagini sursă. Pe baza acestora s-au realizat reconstrucțiile 3D .

În figura 4.22. se reprezintă tomograma (imaginea de orientare), corespunzătoare seriei 1 de imagini.

În figura 4.23. sunt reprezentate câteva din cele 231 de imagini sursă necesare reconstrucției 3D a humerusului.



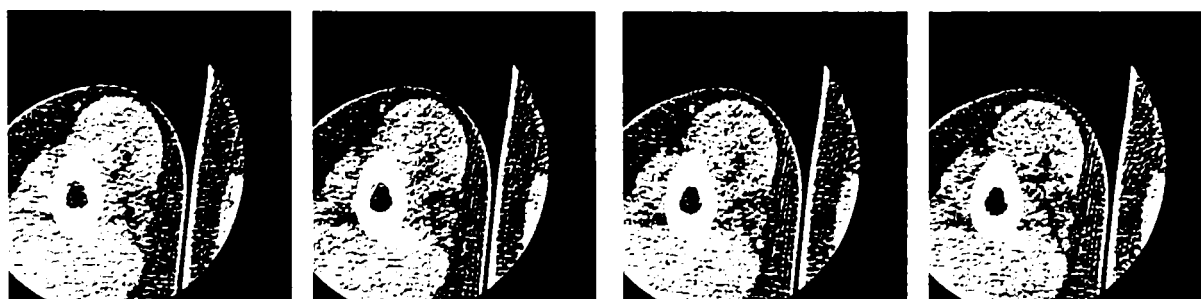
Fig. 4.22. Tomograma zonei examinate



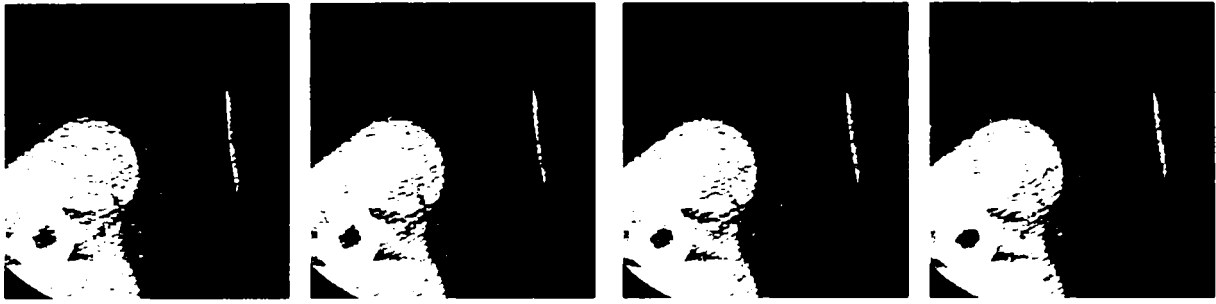
Imaginile 1-4



Imaginile 51-54



Imaginile 101-104



Imaginile 151-154



Imaginile 201-204

Fig. 4.23. Imagini sursă

Seria 102 reprezintă Retro Recon (Bone) și conține 234 de imagini de tipul celei reprezentate în figura 4.24.

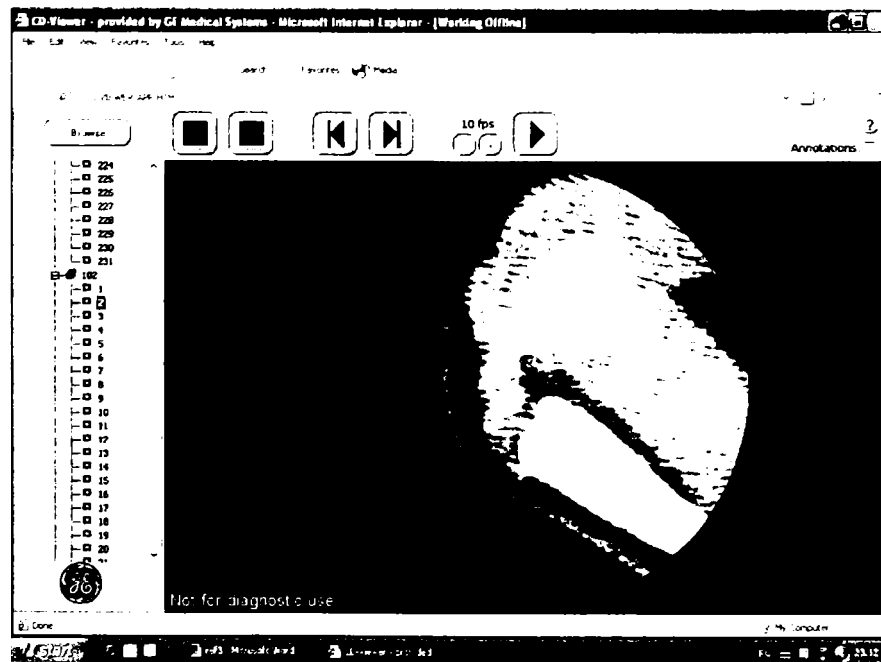


Fig. 4.24. Retro Recon, seria 102, imaginea 2

Reconstrucția 3D a humerusului s-a realizat prin intermediul programului DICOM DIR, pe baza seriilor 746 – 749, fișierele imagine având extensia *.dcm*. Modelul obținut este reprezentat în figura 4.25.

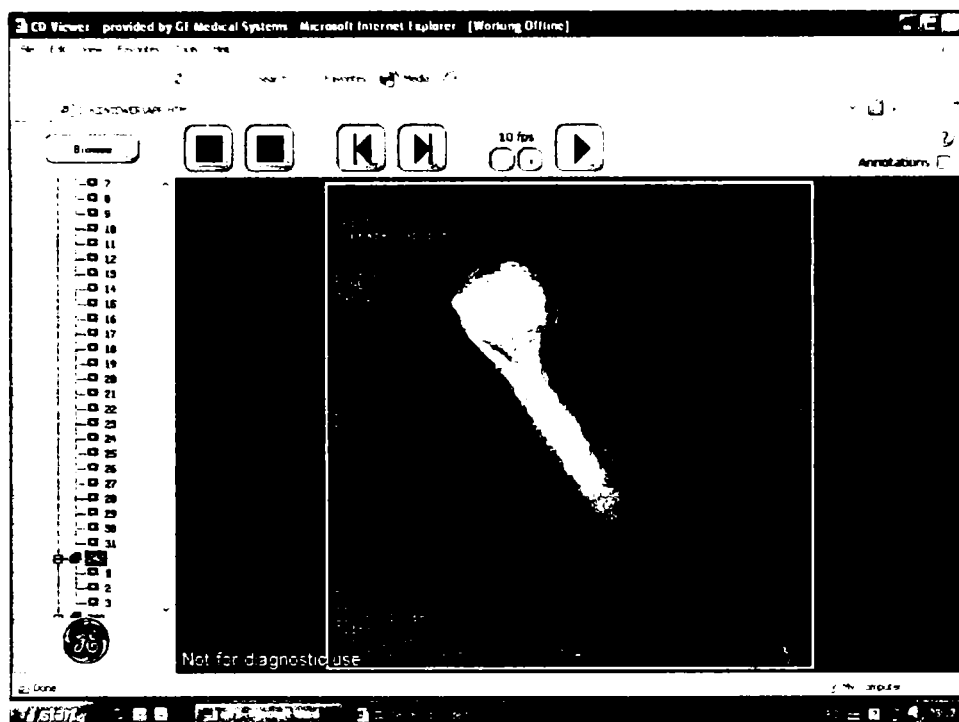


Fig. 4.25. Modelul 3D al humerusului

Problema care se pune este utilizarea fișierelor obținute prin tomografie computerizată în alte programe, datorită faptului că programele cu care lucrează computer tomografele sunt dedicate sistemelor medicale. Standardul pentru aceste sisteme se numește DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) și a fost creat pentru compatibilizarea și vizualizarea imaginilor medicale. Deosebirea față de alte tipuri de fișiere este că fișierele DICOM conțin o zonă de antet care stochează informații despre pacient (nume, tipul scanării, dimensiunea imaginii, etc.) și datele corespunzătoare imaginii. O altă caracteristică a acestor fișiere este că ele pot fi compresate în scopul reducerii dimensiunilor imaginii.

Standardul DICOM este cel mai cunoscut standard pentru utilizarea imaginilor scanate din spitale. În funcție de utilizarea acestor imagini, ele trebuie convertite în diferite alte formate de fișiere care pot fi citite în sistemele clasice [56], [6], [62].

Ca exemplu de conversie a unui fișier de tip *.img* în alte formate clasice (*.tif*, *.jpg*, etc.), se va prelua dintr-o tomogramă un astfel de fișier. Pentru conversie se va folosi programul MRICro.

Prima etapă este importul fișierului cu extensia *.img*. Aceasta se face din meniul

Import, cu ajutorul comenzii **Conversion Wizard: convert all files in a folder**. O astfel de imagine importată este reprezentată în figura 4.26.

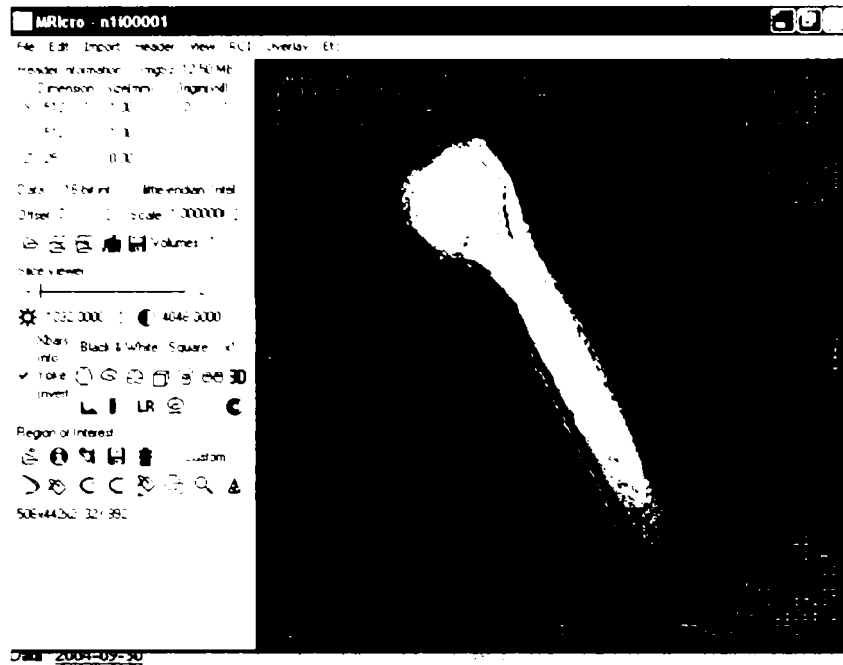


Fig. 4.26. Tomografie computerizată importată în MRicro

După ce a fost importată, figura poate fi salvată ca fișier *.tif*, *.jpeg*, *.bmp*, etc. Se pot vizualiza și marca zonele care prezintă interes din punct de vedere patologic. Comanda prin care se stabilește zona de interes este ROI (region of interest).

Conversia fișierelor *.dcm*, bidimensionale în fișiere de tip *.img* se realizează conform schemei din figura 4.27.

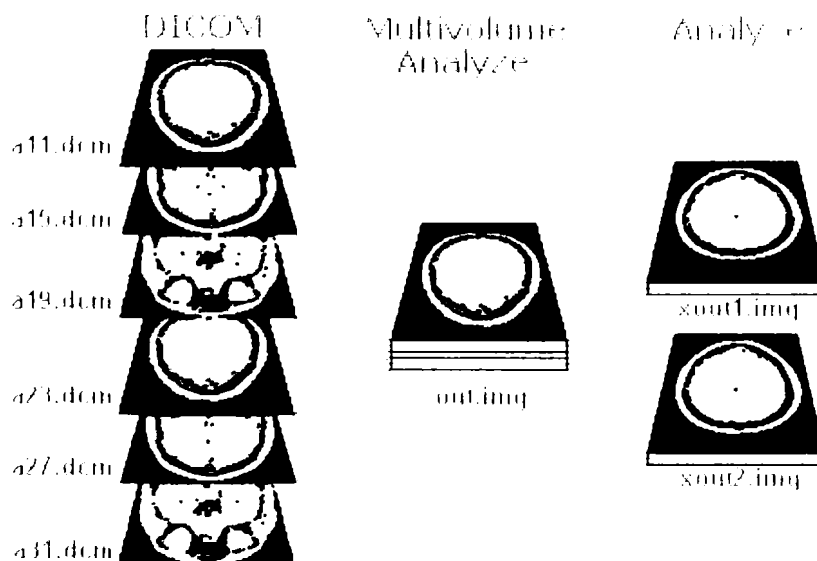


Fig. 4.27. Schema de conversie a fișierelor 2D, .dcm în fișiere .img

Pentru aceasta se alege din meniul **Import**, comanda **Convert DICOM/Genesis/Interfile/Siemens/Picker to Analyze**. Se completează datele în fereastra din figura 4.28, se face selecția fișierelor și se obține un fișier 3D cu extensia *.img*. Ulterior din acest fișier se pot obține imaginile sursă în format *.img*.

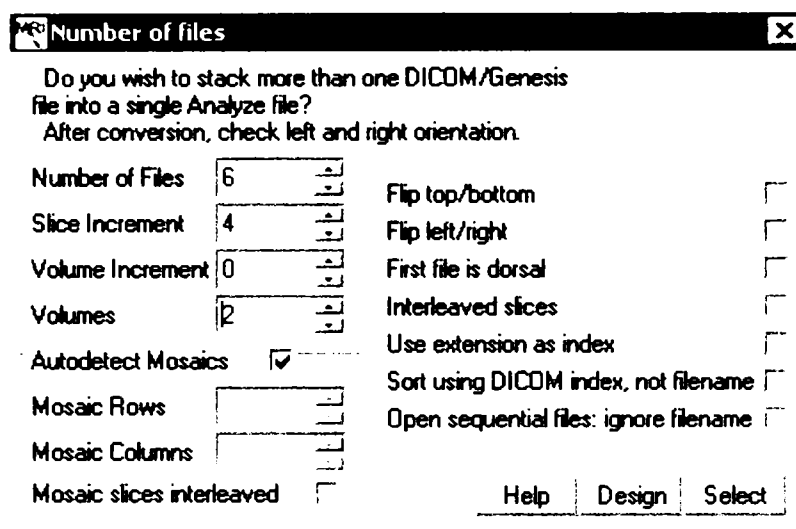


Fig. 4.28. Fereastra de conversie a fișierelor 2D, *.dcm* într-un fișier *.img*

◆ O altă metodă de investigație prin care se obțin modele apropiate de cele reale este **tehnica rezonanței magnetice**. Ea permite obținerea unor imagini multiplanare din organismul uman, fără utilizarea razelor X (Roentgen), în orice plan de coordonate. Pe baza imaginilor obținute se face diagnosticarea cu precizie a numeroase afecțiuni. Investigația vizualizează până la cele mai mici detalii, nervi sau structuri vasculare fine, tumori etc., astfel putându-se depista leziuni foarte mici de până la 2 mm. Pentru investigație, pacientul este introdus în interiorul unui magnet, pe un suport, în poziție orizontală. Semnalele de radio-frecvență emise de aparat sunt captate de organism și apoi reemise (fenomenul de rezonanță). Ele sunt captate apoi de niște antene speciale fixate în zona de investigat, urmând a fi prelucrate de un calculator performant și transformate în imagini. În acest fel se obțin imagini (secțiuni) ale zonei investigate în multiple planuri.

Deosebirea față de computer tomografie constă în faptul că în imagini apar, pe lângă țesuturile osoase, și cele musculare, necesare la stabilirea unor traume cum ar fi osteoporoza, tumorile, etc. [62].

Pentru realizarea **modelului mâinii prin tehnica rezonanței magnetice** s-a utilizat un echipament General Electric. Pe baza unui număr de 27 de imagini sursă s-a obținut modelul 3D din figura 4.29.



Fig. 4.29. Imaginea RMI a mâinii drepte

V. MODELUL CINEMATIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

5.1. Lanțuri cinematice

Activitățile motorii nu rezultă din activitatea izolată a unor mușchi, oase sau articulații, ci prin punerea în mișcare a lanțurilor cinematice alcătuite din elemente de schelet unite prin articulații.

Două segmente mobile adiacente sunt conectate printr-o *cuplă cinematică*: humerusul cu oasele antebrațului, antebrațul cu mâna, etc. În mecanică se descriu trei tipuri de cuple cinematice: de translație, de rotație și elicoidale. În biomecanica corpului uman nu se întâlnesc deloc cuple de translație, cele elicoidale sunt rare (articulația gleznei) și apar doar în combinații cu alte tipuri, cele mai numeroase fiind cuple de rotație. Dealtfel, mișcările cuplelor cinematice ale corpului omenesc sunt, în general, mișcări de rotație [6], [17], [33], [51].

Cuplele cinematice sunt legate între ele prin elemente osoase realizând lanțuri cinematice, care pot fi deschise sau închise. Un *lanț cinematic deschis* are capătul liber. Într-o aruncare, de exemplu, membrul superior acționează ca un lanț cinematic deschis. Un *lanț cinematic închis* are ambele capete fixate. În poziția atârnat sau atârnat cu sprijin, de exemplu, membrul superior acționează ca un lanț cinematic închis. Există în corpul omenesc trei tipuri de lanțuri cinematice principale: al trunchiului, gâtului și capului; al membrului superior și al membrului inferior [90], [122].

Grupele musculare care definesc un lanț cinematic realizează *lanțuri musculare*. Cum majoritatea mișcărilor omului sunt mișcări complexe, alcătuite din îmbinarea acțiunilor statice și dinamice, lanțurile musculare au traiecte diferite și se întretaie. În timpul acțiunilor succesive statice și dinamice, lanțurile musculare îndeplinesc tot succesiv activități statice și dinamice.

Nu există lanțuri musculare strict active sau strict pasive, ci numai lanțuri care acționează fie static, fie dinamic. În orice poziție și în orice mișcare participă deci, toate lanțurile musculare care deservește lanțul cinematic în acțiune.

Lanțurile musculare ale membrelor superioare permit realizarea unor mișcări de mare amplitudine, finețe și precizie. La realizarea acestora intră în acțiune un număr mare de lanțuri musculare. Uneori, în alcătuirea acestor lanțuri musculare intră numai porțiuni din anumiți mușchi. Fenomenul este posibil datorită capacității scoarței cerebrale de a stabili legături temporare între diferitele zone neuronale. În condiții speciale, lanțurile musculare ale membrului superior pot realiza și sprijinul corpului omenesc.

De remarcat că la membrul superior raportul dintre greutatea lanțului flexorilor și lanțului extensorilor este de 1:1, iar raportul dintre greutatea scheletului și a musculaturii de 327,7:1000. Greutatea lanțurilor musculare rotatoare înăuntru și în afară reprezintă la membrele superioare o treime din greutatea întregii lor musculaturi [4], [5], [100].

5.2. Principii generale de anatomie funcțională și biomecanică a aparatului locomotor

Ca orice organism viu, corpul omenesc dispune de posibilități complexe de comportare biomecanică și adaptare funcțională, posibilități ce nu pot fi integral interpretate matematic. Totuși, pentru studiul anatomofuncțional și biomecanic al diverselor mișcări sunt indispensabile unele precizări cu caracter mai general, care pot fi considerate, convențional, principii generale [6], [13], [24], [36], [103]. Acestea sunt:

1. Orice mișcare începe fie prin stabilizarea în poziție favorabilă, fie prin mobilizarea centrului de greutate al corpului.
2. Pornind de la centura musculară a centrului de greutate, acțiunea mobilizatoare a segmentelor se realizează de la centru spre periferie.
3. Când membrele superioare sau inferioare acționează ca lanțuri cinematice deschise, mușchii care intră în acțiune au punct fix de inserție pe capetele lor centrale și acționează asupra segmentelor prin capetele lor periferice.
4. Când membrele superioare sau inferioare acționează ca lanțuri cinematice închise, mușchii care intră în acțiune au punct fix pe capetele lor periferice.
5. Când membrele acționează ca lanțuri cinematice deschise, grupele musculare agoniste se contractă izotonic și mișcarea rezultă prin apropierea capetelor musculare de inserție.

6. Când membrele acționează ca lanțuri cinematice închise, grupele musculare agoniste se contractă izotonic sau izometric succesiv sau sub ambele forme.

7. Viteza de execuție a mișcărilor este dependentă de raportul invers proporțional dintre intensitatea de acțiune a agoniștilor și antagoniștilor.

8. La sfârșitul mișcării, mușchii antagoniști se transformă în mușchi neutralizatori. Cu cât viteza de execuție este mai mare, cu atât intervenția antagoniștilor la sfârșitul mișcării este mai intensă.

9. Menținerea poziției se realizează prin egalizarea intensității de acțiune a agoniștilor și antagoniștilor și intrarea tuturor lanțurilor musculare în condiții de activitate statică.

10. Intervenția forțelor exterioare, în special a forțelor gravitaționale, inversează rolul grupelor musculare.

11. În unele situații, folosirea forțelor exterioare inversează rolul grupelor musculare numai după ce acestea au declanșat mișcarea.

12. În cadrul acțiunilor lanțurilor cinematice închise, pârghiile osteoarticulare acționează, în general, ca pârghii de gradul I.

13. În cadrul acțiunilor lanțurilor cinematice deschise, pârghiile osteoarticulare acționează, în general, ca pârghii de gradul III.

14. Perfecționarea se atinge prin realizarea mișcărilor cu maxim de eficiență, folosindu-se la minim forțele interioare și la maxim forțele exterioare. Astfel interpretată, perfecționarea exercițiilor fizice apare ca o formă superioară a adaptabilității organismului omenesc la mediu.

5.3. Membrul superior ca lanț cinematic

Membrul superior reprezintă nu numai o înlănțuire de segmente care realizează un tot funcțional deosebit de valoros actelor de muncă și de creație, ci și o prelungire a corpului omenesc, care, considerată în totalitatea ei, se caracterizează printr-o patologie specifică și deci, printr-o serie aparte de aspecte semiotice. Centura membrului superior, umărul, brațul, cotul, antebrațul, gâtul mâinii și mâna pot să acționeze împreună în cursul diferitelor mișcări fie ca un lanț cinematic deschis, fie ca unul închis.

Ca **lanț cinematic deschis**, membrul superior acționează în poziția ortostatică în următoarele mișcări:

- ridicarea și coborârea brațelor prin lateral, prin înainte, prin înapoi sau prin orice altă direcție intermediară;
- rotația internă și externă;
- circumducția;
- apucarea;
- împingerea;
- aruncarea;
- lovirea.

În cadrul acțiunilor ca lanț cinematic deschis, gradele de libertate ale segmentelor membrilor superioare se însumează, ceea ce atrage amplificarea posibilităților de mișcare. Astfel, pârghia brațului dispune de trei grade de libertate, pârghia antebrațului de două grade de libertate (unul în planul transversal de flexie-extensie a cotului și unul în plan vertical de pronație-supinație), iar mâna dispune de două grade de libertate din articulația gâtului mâinii, două grade de libertate din articulațiile metacarpofalangiene, câte un grad de libertate din articulațiile interfalangiene și trei grade de libertate ale coloanei policiene [24], [90], [100].

Ca **lanț cinematic închis**, membrul superior acționează în următoarele poziții și mișcări:

- susținerea corpului în pozițiile atârnat cu sprijin și stând pe mâini, precum și în toate mișcările care se execută din aceste poziții;
- cățărarea;
- căderea în mâini.

Mișcarea de ridicare și de coborâre, ca și mișcarea de circumducție a brațelor, este dependentă în primul rând de lanțul cinematic: centură - umăr - braț. Apucarea este dependentă de lanțul: antebraț - gâtul mâinii - mână. Împingerea, apucarea, lovirea, susținerea corpului, cățărarea și căderea în mâini antrenează, în mod obligatoriu, toate segmentele membrilor superioare.

În cursul *mișcării de abducție* cele două extremități ale humerusului suferă o deplasare în sens invers: în timp ce extremitatea inferioară urcă, cea superioară coboară. Mișcarea de abducție se face până când marea tuberozitate se lovește de porțiunea superioară a cadrului glenoidian. În acest moment suprafața articulară a capului humeral părăsește aproape cavitatea glenoidă și intră în contact, în mare parte, cu porțiunea inferioară a capsulei articulare. Mișcarea se efectuează în jurul unei axe biomecanice anteroposterioare care trece prin partea inferioară externă a capului humeral, puțin înăuntrul gâtului anatomic.

Mișcarea de adducție se face în sens invers. În ortostatism, rolul important în efectuarea ei îi revine greutateii membrului superior și acțiunii gravitației, mișcarea fiind controlată tot de mușchii abductori, care prin contracția lor izometrică, dirijează apropierea membrului superior de trunchi. Mișcarea de adducție este oprită de lovirea membrului superior de trunchi.

Mișcarea de proiecție înainte și înapoi de produce în jurul axei transversale care trece prin centrul mării tuberozități și prin centrul cavității glenoide, capul humeral basculează înapoi (în mișcarea de proiecție înainte) și înainte (în mișcarea de proiecție înapoi), în timp ce extremitatea inferioară a humerusului se deplasează în sens invers, pe un arc de cerc dispus sagital.

Amplitudinea proiecției înainte este de 95° , iar cea a proiecției înapoi de 20° . În total, mișcarea de proiecție înainte și înapoi se poate deci efectua în articulația scapulohumerală cu o amplitudine de 115° . Amplitudinea acestei mișcări se poate mări prin intervenția centurii scapulare și a coloanei vertebrale și poate să ajungă la valori de 180° pentru proiecția înainte și de 35° pentru proiecția înapoi.

Mișcarea de rotație înăuntru și în afară se execută în jurul unei axe verticale care trece prin capul humerusului, deci în jurul axei anatomice lungi a humerusului. În mișcarea de rotație înăuntru, capul humeral, care este îndreptat oblic în sus, înapoi și înăuntru față de corpul humerusului, alunecă dinspre înainte spre înapoi pe cavitatea glenoidă, cele două tuberozități deplasându-se înainte și înăuntru.

În *mișcarea de rotație în afară*, capul humeral alunecă dinapoi spre înainte pe cavitatea glenoidă; cele două tuberozități ale extremității superioare ale humerusului se deplasează în afară și înapoi. Amplitudinea lor este de 80° pentru rotația externă și 95° pentru rotația internă. Pentru a atinge 95° rotație internă, trebuie ca antebrațul să treacă înapoia trunchiului, ceea ce presupune și intervenția unui grad oarecare de proiecție înapoi a brațului.

Mișcarea de circumducție însumează mișcărilor precedente, care se execută în jurul celor trei axe. Capul humeral descrie un cerc mic, urmând conturul cavității cotiloide, în timp ce extremitatea inferioară a humerusului descrie un cerc mare, dar în sens invers.

Articulația humerocubitoradială este o trohleartroză cu un singur grad de libertate și permite numai executarea mișcărilor de flexie-extensie.

Flexia-extensia se execută în plan sagital în jurul unei axe transversale care se suprapune practic liniei biepicondiliene.

Prin *mișcarea de flexie*, antebrațul se apropie de braț. Amplitudinea ei activă normală este de aproximativ de 150°. În faza finală a mișcării de flexie, mâna nu se orientează spre umăr, ci spre torace, deoarece axa antebrațului nu se suprapune axei brațului, ci este dirijată față de acesta înăuntru.

Prin *mișcarea de extensie*, antebrațul se îndepărtează de braț, ajungând în ultima fază a mișcării să-l prelungească. Amplitudinea activă de extensie se suprapune celei de flexie și este tot de 150°.

Antebrațul este astfel structurat încât să permită efectuarea mișcării de pronație și de supinație, mișcare care reprezintă o importantă componentă a mișcărilor membrului superior.

În *supinație*, antebrațul se răsucește în afară, iar în *pronație*, antebrațul se răsucește înăuntru.

Mișcările de pronație și supinație sunt mișcări de rotație care se execută în jurul unei axe verticale ce trece prin mijlocul cupușoarei radiale, se îndreaptă diagonal în jos, atinge marginea medială a apofizei stiloide cubitale și se îndreaptă spre baza celui de al 5-lea deget.

Amplitudinea medie normală a pronației-supinației active este de 180°. Amplitudinea pronației-supinației pasive este de 190°, deci diferența dintre mobilitatea pasivă și cea activă, este de 10°.

Mișcările gâtului mâinii se efectuează în jurul unui centru, care poate fi considerat că este osul mare, pivotul central în jurul căruia se deplasează celelalte oase carpiene.

Flexia-extensia se execută în planul sagital în jurul unei axe transversale, care trece prin capul osului mare. Mișcările de flexie active și pasive au o amplitudine de 90°. Mișcările de extensie active au o amplitudine de 75°, iar cele pasive de 85°.

Mișcarea de înclinare radială și înclinare cubitală se face în jurul unei axe antero-posterioare, care trece prin centrul osului mare. Mișcările de înclinație radială active au o amplitudine de 15°, iar cele pasive de 20°. Mișcările de înclinație cubitală active au o amplitudine de 40°, iar cele pasive de 45°.

Mișcarea de circumducție rezultă din trecerea succesivă prin pozițiile de flexie, abducție, extensie, adducție sau invers. Mișcarea nu reprezintă un cerc, ci o elipsă, deoarece flexia și extensia sunt mai ample decât înclinarea laterală.

Pentru exemplificarea câtorva dintre mișcările membrului superior s-a utilizat programul **3DS MAX 6** [97], [138]. Acesta permite, pe lângă asamblarea diferitelor

componente osoase, realizarea animației specifice fiecărei mișcări. Astfel, au fost realizate mișcările de abducție-adducție a brațului, flexie-extensie a antebrăului, circumducție a mâinii, etc. Meniurile utilizate sunt prezentate în figura 5.1.

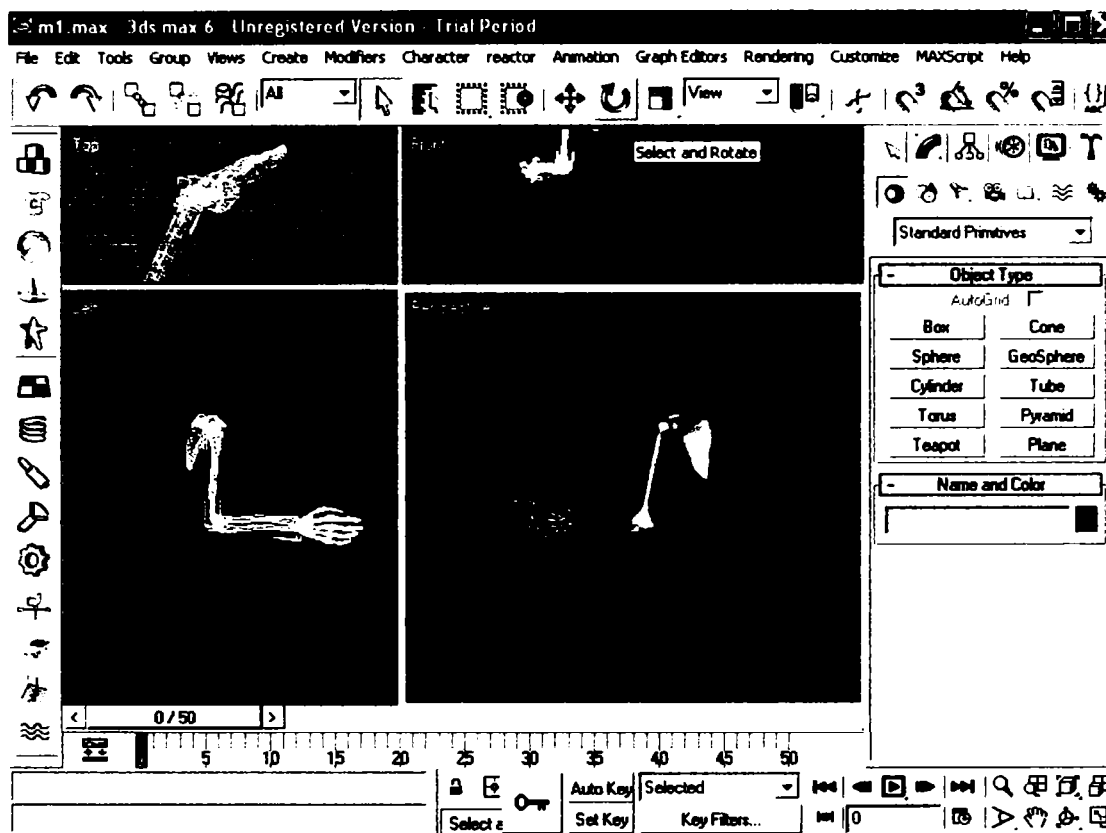


Fig.5.1. Realizarea mișcărilor membrului superior uman cu 3D Studio Max

După realizarea animației pe timeline, ea se renderizează cu ajutorul comenzii **Render**, se alege modalitatea de salvare a animației, *.avi* sau secvență de imagini. S-a ales secvența de imagini pentru a obține o calitate mai bună a animației. Fișierul obținut se salvează cu extensia *.png* (PNG Image File), cu RGB 24 bit (16,7 Million) și **Alpha Chanel** care reprezintă canalul de transparență. În fereastra **Render** s-a ales rezoluția animației de 1024 x 768 pixeli. Pentru stabilirea duratei animației se utilizează opțiunea **Active Time Segment**, iar pentru stabilirea unghiului din care se face animația, opțiunea **Perspective** din **Viewport**. După ce animația a fost realizată sub formă de secvențe de imagini, se importă în **Flash**.

În figurile 5.2 și 5.3. sunt prezentate mișcările de abducție-adducție a brațului și de flexie-extensie a degetelor.

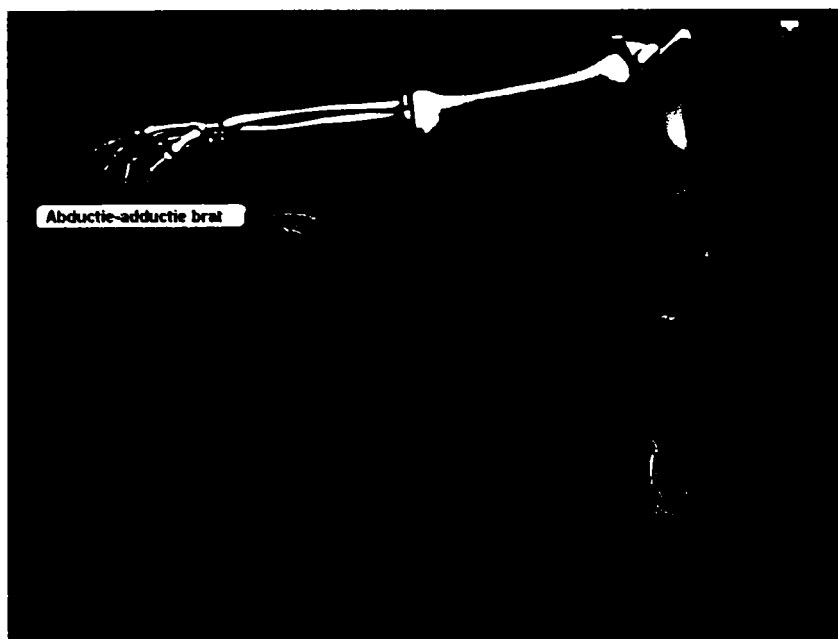


Fig.5.2. Mișcarea de abducție-adducție a brațului



Fig.5.3 Mișcarea de flexie-extensie a degetelor

5.4. Reguli și principii utilizate în modelarea cinematică a membrului superior

Modelarea geometrică a structurii corespunzătoare membrului superior uman se face respectând principiile de modelare geometrică a roboților care au în structură doar cuple de rotație[12], [31], [32], [35], [49], [54], [90], [99], [106], [121], [139], [141].

Fiecărei cuple i se asociază o singură *variabilă articulară* q , care este un unghi θ de rotație în jurul axei cuplei.

Legătura dintre *spațiul operațional*, cuprinzând variabilele ce exprimă poziția și orientarea efectorului final și *spațiul articular*, ce cuprinde variabilele cuplelor, este realizată prin intermediul *modelului geometric* al robotului. Când această legătură este realizată în sensul indicat, se obține *modelul geometric direct* al cărui rezultat sunt 12 ecuații cinematice. Exprimarea variabilelor articulare ale robotului în funcție de cele operaționale este rezultatul abordării *modelului geometric invers*. În teză se va aplica doar modelarea geometrică directă, importantă pentru studierea mișcării mâinii față de centura scapulară.

Exprimarea matricelor de transfer se poate realiza în mai multe moduri în funcție de convențiile adoptate pentru modelarea elementelor și a sistemelor de referință atașate acestora. În teză se folosește **convenția Denavit-Hartenberg** care se aplică în conformitate cu figurile 5.4 și 5.5.

Figura 5.4. introduce mărimile caracteristice unui element al lanțului cinematic: lungimea l_i și unghiul de răsucire α_i .

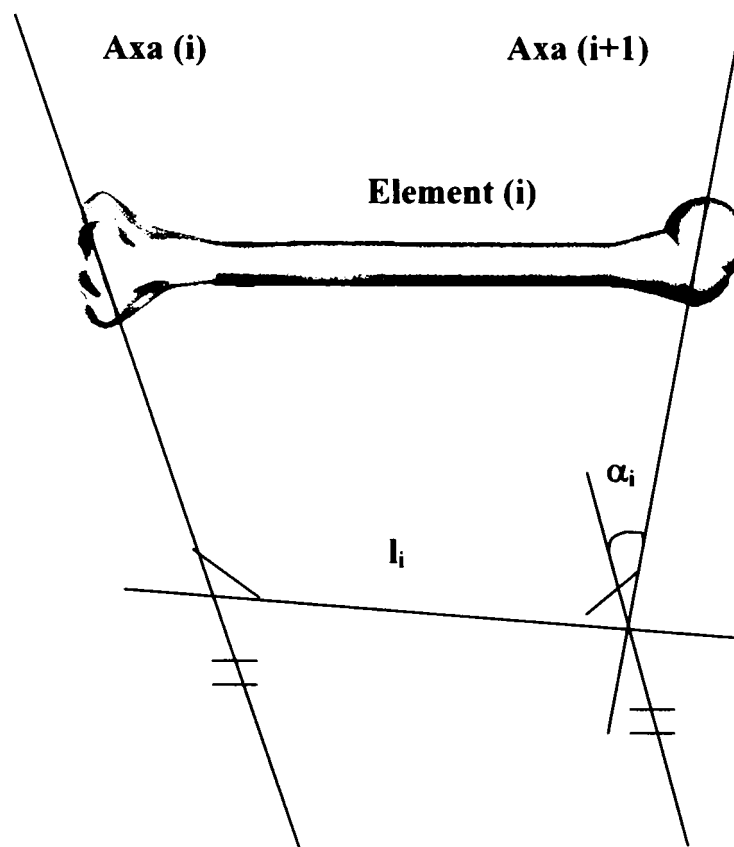


Fig. 5.4. Mărimile caracteristice elementului i

Figura 5.5 indică modul de trecere de la un element al lanțului la următorul.

În cazul *elementului i* legat prin cupla de rotație *i*, variabila articulară aferentă este unghiul θ_i , distanța d , fiind constantă.

Matricele de transfer de la un sistem de referință atașat la următorul, rezultă de forma: [28], [90], [114].

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & l_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & l_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

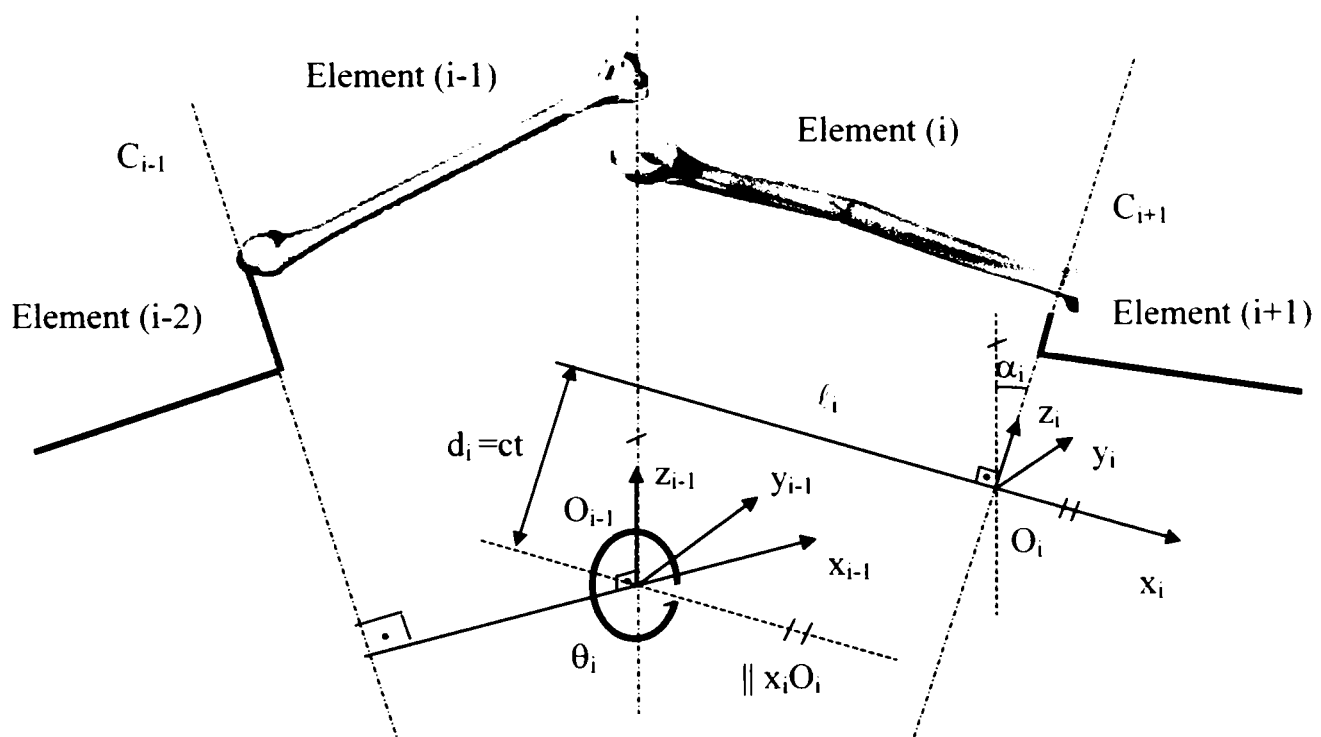


Fig. 5.5. Elemente legate prin cuple de rotație

După ce se exprimă toate matricele de transfer aferente elementelor lanțului cinematic, se calculează matricea $G_n = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}T_n$ ale cărei elemente identificate cu cele din forma sa generală, reprezintă **ecuațiile cinematice** ale robotului. Acestea se prezintă sub forma unui sistem de 12 ecuații ce exprimă coordonatele operaționale ca funcții de coordonatele articulare și materializează **modelul geometric direct**:

$$\begin{aligned}
n_x &= n_x(q_1, \dots, q_n) & a_x &= a_x(q_1, \dots, q_n) \\
n_y &= n_y(q_1, \dots, q_n) & a_y &= a_y(q_1, \dots, q_n) \\
n_z &= n_z(q_1, \dots, q_n) & a_z &= a_z(q_1, \dots, q_n) \\
o_x &= o_x(q_1, \dots, q_n) & p_x &= p_x(q_1, \dots, q_n) \\
o_y &= o_y(q_1, \dots, q_n) & p_y &= p_y(q_1, \dots, q_n) \\
o_z &= o_z(q_1, \dots, q_n) & p_z &= p_z(q_1, \dots, q_n)
\end{aligned} \tag{5.2}$$

5.5. Modelarea cinematică a membrului superior

Pentru studiul cinematic al membrului superior uman se va considera o structură cinematică similară cu a unui robot cu opt grade de libertate, respectând principiile convenției Denavit-Hartenberg [28], [90].

Se consideră că membrul superior are patru articulații (Figura 5.6), fiecărei dintre acestea fiindu-i asociată una sau mai multe cuple de rotație. Astfel:

- **Articulația umărului** o vom reprezenta prin 3 cuple de rotație corespunzătoare celor trei grade de libertate, având în vedere că în articulația umărului pot avea loc mișcări simple de flexie-extensie (în jurul unui ax transversal), abducție-adducție (în jurul unui ax sagital), rotație înăuntru și înafară (în jurul unei axe verticale) și o mișcare complexă de circumducție;
- **Articulația antebrațului** este reprezentată prin 2 cuple de rotație corespunzătoare celor două grade de libertate, având în vedere că în articulația cotului pot avea loc mișcări simple de flexie-extensie (în jurul unui ax transversal) și pronație-supinație (în jurul unui ax sagital). Mișcarea laterală înăuntru și înafară (în jurul unui ax vertical) fiind foarte redusă, va fi neglijată în acest caz.
- **Articulația mâinii** este reprezentată prin 2 cuple de rotație corespunzătoare celor două grade de libertate, având în vedere că în această articulație pot avea loc mișcări de flexie-extensie (în jurul unui ax transversal), o mișcare de înclinare radio-cubitală (în jurul unui ax vertical) și o mișcare complexă de circumducție;
- **Articulațiile metacarpofalangiene** sunt reprezentate printr-o cuplă de rotație corespunzătoare unui grad de libertate, având în vedere că în aceste articulații cea mai importantă mișcare este cea de flexie-extensie (în jurul unui ax transversal).

Se reprezintă sistemul de referință fix, cu originea în centrul centurii scapulare. Pentru a reprezenta sistemele de referință corespunzătoare celor 8 cuple de rotație, se consideră lanțul cinematic din figura 5.6. în care originile primelor trei sisteme (notate cu 0, 1 și 2) se consideră suprapuse pentru a modela prin trei cuple cilindrice simple o articulație cu 3 grade de libertate. Distanța dintre sistemul de referință fix și originile suprapuse ale acestor sisteme se notează cu c , fiind egală cu jumătatea centurii scapulare. Distanța dintre originile sistemelor 2 și 3 se consideră egală cu lungimea humerusului și se notează cu h . Originile sistemelor 3 și 4 se consideră suprapuse pentru a modela prin două cuple cilindrice articulația cotului, cu 2 grade de libertate. Distanța dintre originile sistemelor 4 și 5 se consideră egală cu lungimea radiusului (ulnei) și se notează cu r , iar distanțele dintre următoarele două sisteme nule, originile lor fiind suprapuse. Distanța dintre originea sistemului 7 și cea a sistemului 8 reprezintă lungimea mâinii până la articulațiile metacarpofalangiene și se notează cu p . Se modelează astfel încheietura mâinii, ca o articulație cu 2 grade de libertate, iar articulațiile metacarpofalangiene, cu 1 grad de libertate. Ultimul element al modelului are lungimea degetelor, notată cu d .

Pentru determinarea ecuațiilor cinematice, se ține seama de faptul că poziția și orientarea ultimului element față de sistemul de referință fix, la un moment dat, se exprimă prin matricea 0G_8 ce rezultă din înmulțirea matricelor de transfer ce exprimă poziția fiecărui element din lanțul cinematic, față de precedentul [6].

Pentru determinarea matricelor de transformare ${}^{i-1}T_i$ se utilizează datele din tabelul variabilelor articulare (tabelul 5.1):

Nr.	Variabila articulară	l_i	θ_i	d_i	α_i	$\cos\alpha_i$	$\sin\alpha_i$
1	$q_1=\theta_1$	0	θ_1	c	90°	0	1
2	$q_2=\theta_2$	0	θ_2	0	$+90^\circ$	0	-1
3	$q_3=\theta_3$	0	θ_3	h	0°	1	0
4	$q_4=\theta_4$	0	θ_4	0	-90°	0	-1
5	$q_5=\theta_5$	r	θ_5	0	0°	1	0
6	$q_6=\theta_6$	0	θ_6	0	90°	0	1
7	$q_7=\theta_7$	0	θ_7	p	-90°	0	-1
8	$q_8=\theta_8$	d	θ_8	0	0°	1	0

Tabelul 5.1. Variabile articulare corespunzătoare celor 4 articulații ale membrului superior

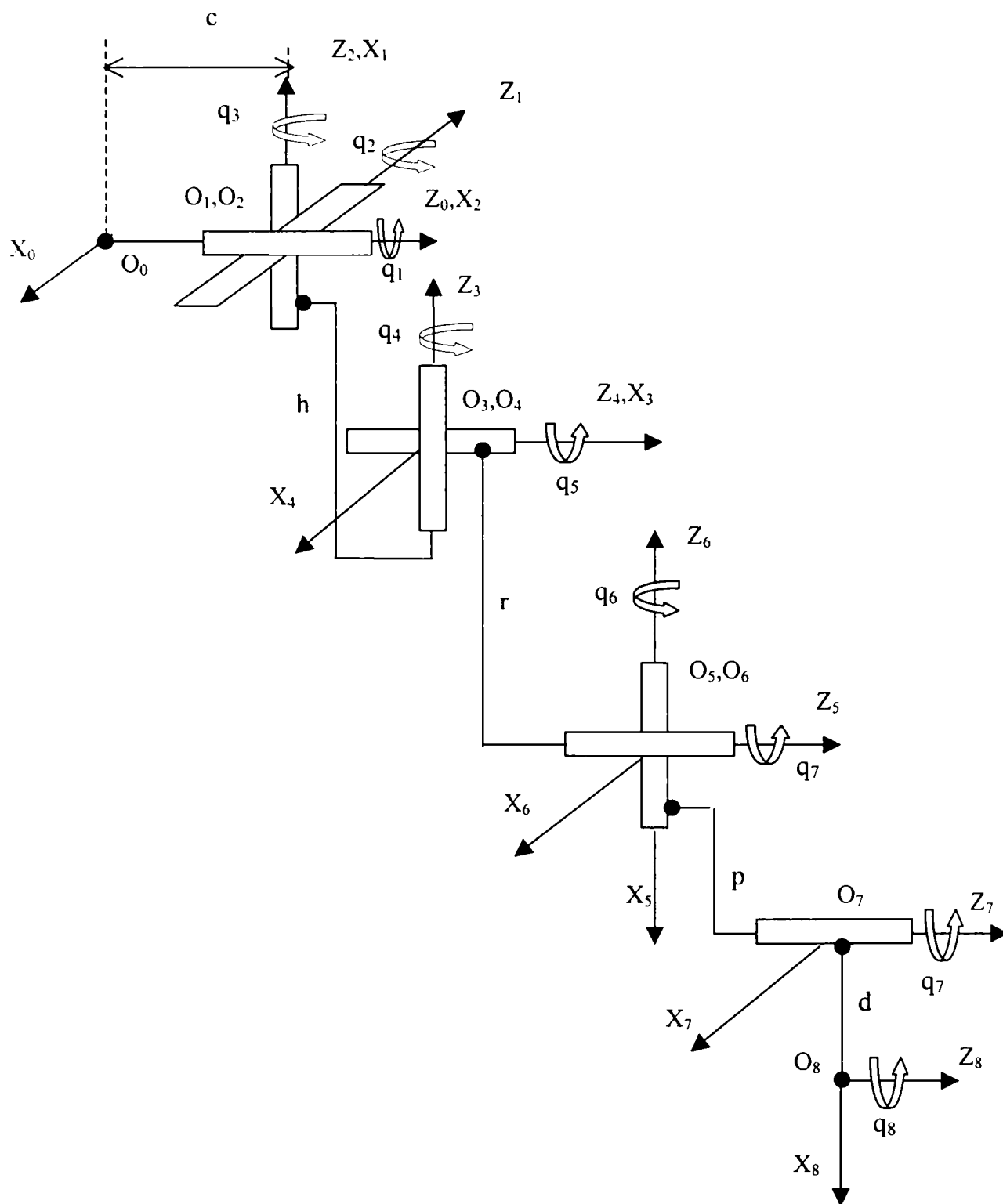


Fig. 5.6. Lanțul cinematic al membrului superior

Matricea de transformare 0G_8 ce reprezintă poziția și orientarea sistemului de referință atașat ultimului element față de sistemul de referință fix se determină prin produsul matricelor de transfer:

$${}^0\mathbf{G}_8 = [{}^0\mathbf{T}_1] \cdot [{}^1\mathbf{T}_2] \cdot [{}^2\mathbf{T}_3] \cdot [{}^3\mathbf{T}_4] \cdot [{}^4\mathbf{T}_5] \cdot [{}^5\mathbf{T}_6] \cdot [{}^6\mathbf{T}_7] \cdot [{}^7\mathbf{T}_8] \cdot \quad (5.3)$$

Ținând seama de faptul că poziția la un moment dat, în spațiul tridimensional a unui corp, respectiv poziția sistemului său de referință atașat, se exprimă printr-o matrice 4x4 în care primele 3 coloane reprezintă cosinusurile directe ale versorilor axelor reperului, iar cea de-a patra coloană, coordonatele originii sale în raport cu sistemul de referință fix, forma generală a matricei ${}^0\mathbf{G}_8$ este:

$${}^0\mathbf{G}_8 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

unde versorii \vec{n} , \vec{o} și \vec{a} descriu orientarea ultimului element, iar vectorul \vec{p} marchează originea sistemului de referință atașat ultimului element față de sistemul fix.

Matricele de transfer corespunzătoare lanțului cinematic al membrului superior sunt:

$${}^0\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$${}^1\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$${}^2\mathbf{T}_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta 4 & 0 & \sin \theta 4 & 0 \\ \sin \theta 4 & 0 & -\cos \theta 4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

$${}^4T_5 = \begin{bmatrix} \cos \theta 5 & -\sin \theta 5 & 0 & r \cos \theta 5 \\ \sin \theta 5 & \cos \theta 5 & 0 & r \sin \theta 5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

$${}^5T_6 = \begin{bmatrix} \cos \theta 6 & 0 & \sin \theta 6 & 0 \\ \sin \theta 6 & 0 & -\cos \theta 6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$${}^6T_7 = \begin{bmatrix} \cos \theta 7 & 0 & -\sin \theta 7 & 0 \\ \sin \theta 7 & 0 & \cos \theta 7 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$${}^7T_8 = \begin{bmatrix} \cos \theta 8 & -\sin \theta 8 & 0 & d \cos \theta 8 \\ \sin \theta 8 & \cos \theta 8 & 0 & d \sin \theta 8 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Înlocuind în relația 5.3 matricele de transfer obținute, prin identificarea matricei 0G_8 obținută din relația (5.3) cu forma generală a matricei de transformare (5.4) se obțin ecuațiile cinematice ale sistemului:

$$\begin{aligned} n_x = & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \cos(\theta 6) * \cos(\theta 5) * \cos(\theta 4) * \cos(\theta 1) * \cos(\theta 2) * \cos(\theta 3) - \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \cos(\theta 6) * \cos(\theta 5) * \cos(\theta 4) * \sin(\theta 1) * \sin(\theta 3) + \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \cos(\theta 6) * \cos(\theta 5) * \cos(\theta 1) * \sin(\theta 2) * \sin(\theta 4) + \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \cos(\theta 6) * \sin(\theta 5) * \cos(\theta 1) * \cos(\theta 2) * \sin(\theta 3) + \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \cos(\theta 6) * \sin(\theta 5) * \sin(\theta 1) * \cos(\theta 3) - \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \sin(\theta 6) * \sin(\theta 5) * \cos(\theta 4) * \cos(\theta 1) * \cos(\theta 2) * \cos(\theta 3) + \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \sin(\theta 6) * \sin(\theta 5) * \cos(\theta 4) * \sin(\theta 1) * \sin(\theta 3) - \\ & \cos(\theta 8) * \cos(\theta 7) * \sin(\theta 6) * \sin(\theta 5) * \cos(\theta 1) * \sin(\theta 2) * \sin(\theta 4) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3)
 \end{aligned} \tag{5.13}$$

$$\begin{aligned}
 n_y = & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3)
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

$$\begin{aligned}
 n_z = & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \sin(\theta_5) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \cos(\theta_5) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_4) + \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \sin(\theta_5) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \cos(\theta_5)
 \end{aligned} \tag{5.15}$$

$$\begin{aligned}
 o_x = & -\sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3)
 \end{aligned} \tag{5.16}$$

$$\begin{aligned}
 o_y = & -\sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3)
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

$$\begin{aligned}
 o_z = & -\sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \sin(\theta_5) + \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \cos(\theta_5) - \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \\
 & \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \cos(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \sin(\theta_5) - \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \\
 & \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \cos(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \cos(\theta_5) \quad (5.18)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_x = & -\sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \cos(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \cos(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \cos(\theta_7) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \quad (5.19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_y = & -\sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\
 & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \cos(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\ & \cos(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \cos(\theta_7) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} a_z = & -\sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \\ & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\ & \sin(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \sin(\theta_5) + \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \\ & \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \sin(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) * \cos(\theta_5) + \\ & \cos(\theta_7) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_4) + \cos(\theta_7) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.21)$$

$$\begin{aligned} p_x = & -\cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * h + d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\ & d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\ & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\ & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\ & p * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + r * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\ & r * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\ & d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\ & d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\ & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - p * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & p * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & p * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - p * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & p * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + r * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & r * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + p * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & p * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + p * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & p * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + r * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) \tag{5.22}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_y = & -\sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * h - d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & p * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \cos(\theta_7) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) + \\
 & d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\
 & p * \cos(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + r * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & r * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + r * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & r * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) + d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\
 & d * \cos(\theta_8) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) + \\
 & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\
 & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\
 & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) + \\
 & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \\
 & d * \sin(\theta_8) * \sin(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \\
 & d * \sin(\theta_8) * \cos(\theta_6) * \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_4)*\cos(\theta_1)*\sin(\theta_3)- \\
 & d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_1)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_4)- \\
 & p*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_4)*\cos(\theta_1)*\sin(\theta_3)-p*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_1)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_4)- \\
 & p*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_1)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_3)+p*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_1)*\cos(\theta_3)+ \\
 & p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_4)*\sin(\theta_1)*\cos(\theta_2)*\cos(\theta_3)+ \\
 & p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_4)*\cos(\theta_1)*\sin(\theta_3)+p*\cos(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_1)*\cos(\theta_3)- \\
 & r*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_1)*\cos(\theta_3)+p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_1)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_4)+ \\
 & d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_1)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_3) \tag{5.23}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_z = & c+\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*r*\sin(\theta_5)+\cos(\theta_2)*h-r*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)+ \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\cos(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)- \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\cos(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)+ \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\sin(\theta_5)- \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)+ \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)+ \\
 & d*\cos(\theta_8)*\cos(\theta_7)*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\cos(\theta_5)+ \\
 & d*\cos(\theta_8)*\sin(\theta_7)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\sin(\theta_4)+d*\cos(\theta_8)*\sin(\theta_7)*\cos(\theta_2)*\cos(\theta_4)+ \\
 & d*\sin(\theta_8)*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)- \\
 & d*\sin(\theta_8)*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)+d*\sin(\theta_8)*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\sin(\theta_5)- \\
 & d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)+ \\
 & d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)+d*\sin(\theta_8)*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\cos(\theta_5)- \\
 & p*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)+p*\sin(\theta_6)*\cos(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)- \\
 & p*\sin(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\sin(\theta_5)+p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4)- \\
 & p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_5)*\cos(\theta_2)*\sin(\theta_4)-p*\cos(\theta_6)*\sin(\theta_2)*\sin(\theta_3)*\cos(\theta_5)+ \\
 & r*\cos(\theta_5)*\sin(\theta_2)*\cos(\theta_3)*\cos(\theta_4) \tag{5.24}
 \end{aligned}$$

Înmulțirea celor opt matrice s-a realizat în MatLab [46], [101], [134], după care rezultatul a fost simplificat cu ajutorul comenzii **Simplify**.

5.6. Modelul cinematic simplificat

Pentru studiul cinematic al membrului superior – modelul geometric simplificat (figura 5.7), se consideră o structură cinematică similară, dar cu cinci grade de libertate.

Se consideră membrul superior ca având trei articulații, fiecărei dintre acestea fiindu-i asociată următoarele cuple de rotație:

- **Articulația brațului** este reprezentată prin 3 cuple de rotație corespunzătoare celor trei grade de libertate;
- **Articulația antebrăului** este reprezentată printr-o singură cuplă de rotație corespunzătoare mișcării simple de flexie-extensie (în jurul unei axe transversale);
- **Articulația mâinii** este reprezentată printr-o cuplă de rotație corespunzătoare mișcării de flexie-extensie (în jurul unei axe transversale);

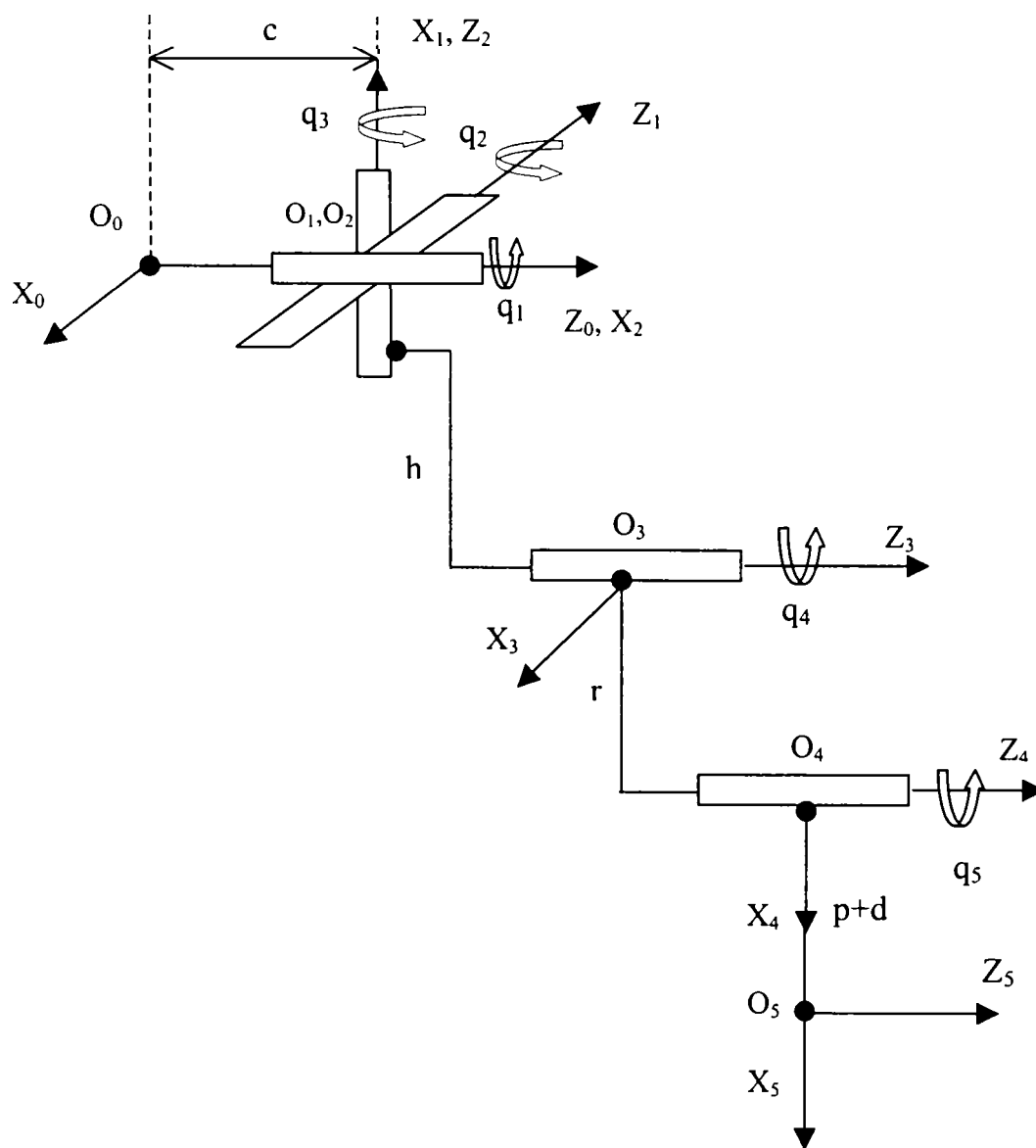


Fig. 5.7. Lanțul cinematic simplificat al membrului superior

Pentru determinarea matricelor de transfer ${}^{i-1}T_i$ se utilizează datele din tabelul 5.2 al variabilelor articulare:

Nr.	Variabila articulară	l_i	θ_i	d_i	α_i	$\cos\alpha_i$	$\sin\alpha_i$
1	$q_1=\theta_1$	0	θ_1	c	90°	0	1
2	$q_2=\theta_2$	0	θ_2	0	-90°	0	-1
3	$q_3=\theta_3$	0	θ_3	h	-90°	0	-1
4	$q_4=\theta_4$	r	θ_4	0	0°	1	0
5	$q_5=\theta_5$	p+d	θ_5	0	0°	1	0

Tabelul 5.2. Variabile articulare corespunzătoare celor 3 articulații ale membrului superior - modelul simplificat

Matricea de transformare 0G_5 ce reprezintă poziția și orientarea sistemului de referință atașat ultimului element față de sistemul de referință fix se determină prin produsul matricelor de transfer:

$${}^0G_5 = [{}^0T_1] \cdot [{}^1T_2] \cdot [{}^2T_3] \cdot [{}^3T_4] \cdot [{}^4T_5] \quad (5.25)$$

Matricele de transfer corespunzătoare lanțului cinematic al membrului superior - modelul simplificat sunt:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.28)$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & r \cos \theta_4 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & r \sin \theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.29)$$

$${}^4T_5 = \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & (p+d) \cos \theta_5 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & (p+d) \sin \theta_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.30)$$

Înlocuind în relația 5.25 matricele de transfer obținute și notând $(p+d)$ cu m , prin identificarea matricei 0G_5 , se obțin ecuațiile cinematice ale sistemului:

$$\begin{aligned} n_x = & \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\ & \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \sin(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\ & \sin(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.31)$$

$$\begin{aligned} n_y = & \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \cos(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \\ & \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \sin(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\ & \sin(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.32)$$

$$\begin{aligned} n_z = & \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) - \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\ & \sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_4) - \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.33)$$

$$\begin{aligned} o_x = & -\sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\ & \sin(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \cos(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) + \\ & \cos(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \cos(\theta_5) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.34)$$

$$\begin{aligned} o_y = & -\sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \sin(\theta_5) * \cos(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \\ & \sin(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \cos(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) - \\ & \cos(\theta_5) * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \cos(\theta_5) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.35)$$

$$\begin{aligned} o_z = & -\sin(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \cos(\theta_4) + \sin(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_4) - \\ & \cos(\theta_5) * \sin(\theta_2) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_4) - \cos(\theta_5) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) \end{aligned} \quad (5.36)$$

$$a_x = -\cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) - \sin(\theta_1) * \cos(\theta_3) \quad (5.37)$$

$$a_y = -\sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_3) \quad (5.38)$$

$$a_z = -\sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) \quad (5.39)$$

$$\begin{aligned} p_x = & m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + \\ & m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_4) - m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) + \\ & m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_4) + \\ & r \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - r \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot r \cdot \sin(\theta_4) - \\ & \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot h \end{aligned} \quad (5.40)$$

$$\begin{aligned} p_y = & m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) + m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + \\ & m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_4) - m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \\ & m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_4) + \\ & r \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) + r \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_3) + \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot r \cdot \sin(\theta_4) - \\ & \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot h \end{aligned} \quad (5.41)$$

$$\begin{aligned} p_z = & m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) \cdot \cos(\theta_4) - m \cdot \cos(\theta_5) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_4) - \\ & m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_4) - m \cdot \sin(\theta_5) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_4) + \sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) \cdot r \cdot \cos(\theta_4) - \\ & \cos(\theta_2) \cdot r \cdot \sin(\theta_4) + \cos(\theta_2) \cdot h + c \end{aligned} \quad (5.42)$$

Având determinate ecuațiile cinematice, se studiază următoarele cazuri:

- Mișcarea de **flexie-extensie** a brațului, în care $\theta_1=0^\circ \dots 115^\circ$ (din care 20° este flexia), iar $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$. Pentru dimensiunile humerusului, radiusului, mâinii și distanței la centura scapulară se consideră următoarele valori medii: humerus (h) = 29 cm, radius-ulna (r) = 23,5 cm, mână (m) = 16 cm și distanța la centrul centurii scapulare (c) = 20 cm. Se calculează modulul vectorului de poziție

$p = \sqrt{(p_x)^2 + (p_y)^2 + (p_z)^2}$. Înlocuind în relațiile (5.31) – (5.42) se obțin valorile:

$\theta_1(^{\circ})$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
0	39,50	0,00	49	62,93846
10	38,90	6,8591030	49	62,93846
20	37,118	13,5097957	49	62,93846
30	34,208	19,75	49	62,93846

$\theta_1(^{\circ})$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
40	30,259	25,3901106	49	62,93846
50	25,39	30,2587555	49	62,93846
60	19,75	34,2080034	49	62,93846
70	13,51	37,1178585	49	62,93846
80	6,859	38,8999062	49	62,93846
90	0,00	39,50	49	62,93846
100	-6,859	38,8999062	49	62,93846
110	-13,51	37,1178585	49	62,93846
115	-16,693	35,7991576	49	62,93846

Tabelul 5.3. Calculul modului vectorului \vec{p} și al proiecțiilor acestuia pe cele 3 axe ale sistemului de coordonate în mișcarea de flexie-extensie a brațului

În figura 5.8 este reprezentată variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_1 .

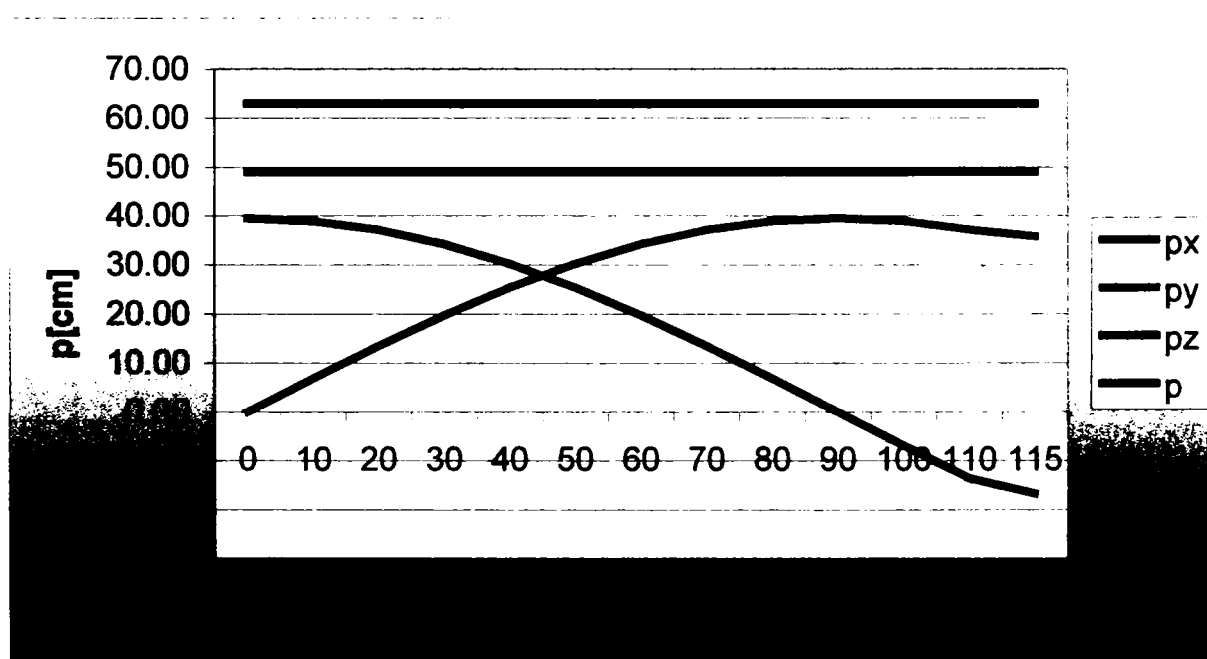


Fig. 5.8. Variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_1 în mișcarea de flexie-extensie a brațului

Mișcarea reprezentând rotația antero-posterioară a membrului superior în jurul axei orizontale din planul median (figura 5.7), graficul arată firesc valori constante atât pentru proiecția vectorului de poziție pe axa perpendiculară pe axa de rotație în planul respectiv (p_z) cât și pentru modulul său p . Proiecția p_y înregistrează o creștere continuă pornind din poziția

ortostatică până la valoarea $\theta_1=90^0$, iar proiecția pe axa verticală p_x scade continuu pe măsură ce rotația antero-posterioară avansează până când brațul ajunge în poziția orizontală înapoi când $p_x=0$. La persoanele cu mobilitate extremă (gimnaști, acrobați, etc.) mișcarea antero-posterioară poate continua până la o limită unghiulară de cca. 120^0 când valoarea proiecției p_x schimbă de semn. La persoanele cu mobilitatea normală însă, mișcarea antero-posterioară se derulează din poziția ortostatică până la un unghi θ_1 de cca. 45^0 .

- Mișcarea de **adducție-abducție** a brațului în care $\theta_1=0^0$, $\theta_2=0^0...180^0$, $\theta_3=0^0$, $\theta_4=0^0$, $\theta_5=0^0$. Se calculează modulul vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.4 și figura 5.9. Această mișcare este inițiată în poziția ortostatică în jurul axei orizontale antero-posterioară (figura 5.7) și se finalizează teoretic până când membrul superior ajunge în poziție verticală ascendentă. La persoanele cu mobilitate mai redusă amplitudinea unghiulară este mai mică, dar nu în aceeași măsură ca în mișcarea precedentă.

$\theta_2(^0)$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
0	39,50	0,00	49,00	62,93846
10	33,864	0,00	55,41853	64,94606
20	27,199	0,00	60,76088	66,5709
30	19,708	0,00	64,86474	67,79262
40	11,618	0,00	67,6054	68,5964
50	3,175	0,00	68,8996	68,9727
60	-5,365	0,00	68,708	68,91713
70	-13,741	0,00	67,03644	68,43031
80	-21,70	0,00	63,9357	67,51798
90	-29,00	0,00	59,50	66,19101
100	-35,419	0,00	53,86411	64,46561
110	-40,761	0,00	47,19927	62,36362
120	-44,865	0,00	39,708	59,91302
130	-47,605	0,00	31,61791	57,14864
140	-48,90	0,00	23,17482	54,11324
150	-48,708	0,00	14,63526	50,85922
160	-47,036	0,00	6,25871	47,45101
170	-43,936	0,00	-1,70032	43,96859
180	-39,50	0,00	-9,00	40,51234

Tabelul 5.4. Calculul modulului vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia pe cele 3 axe ale sistemului de coordonate în mișcarea de adducție-abducție a brațului

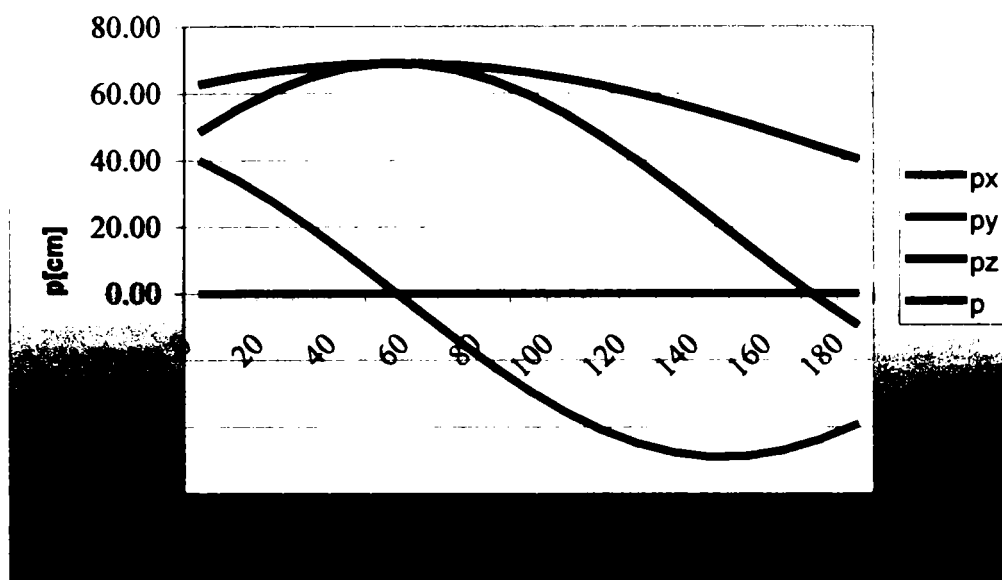


Fig. 5.9. Variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_2 în mișcarea de adducție-abducție a brațului

- Mișcarea de rotație a brațului în care $\theta_1=0^\circ$, iar $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ\dots 180^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$. Se calculează modulul vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.5 și figura 5.10.

$\theta_3(^{\circ})$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
0	39,50	0,00	49	62,93846
10	38,90	6,859103	49	62,93846
20	37,118	13,5097957	49	62,93846
30	34,208	19,75	49	62,93846
40	30,259	25,3901106	49	62,93846
50	25,39	30,2587555	49	62,93846
60	19,75	34,2080034	49	62,93846
70	13,51	37,1178585	49	62,93846
80	6,859	38,8999062	49	62,93846
90	0,00	39,50	49	62,93846
100	-6,859	38,8999062	49	62,93846
110	-13,51	37,1178585	49	62,93846
120	-19,75	34,2080034	49	62,93846
130	-25,39	30,2587555	49	62,93846
140	-30,259	25,3901106	49	62,93846
150	-34,208	19,75	49	62,93846
160	-37,118	13,5097957	49	62,93846
170	-38,90	6,859103	49	62,93846
180	-39,50	0,00	49	62,93846

Tabelul 5.5. Calculul modului vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia pe cele 3 axe ale sistemului de coordonate în mișcarea de rotație a brațului

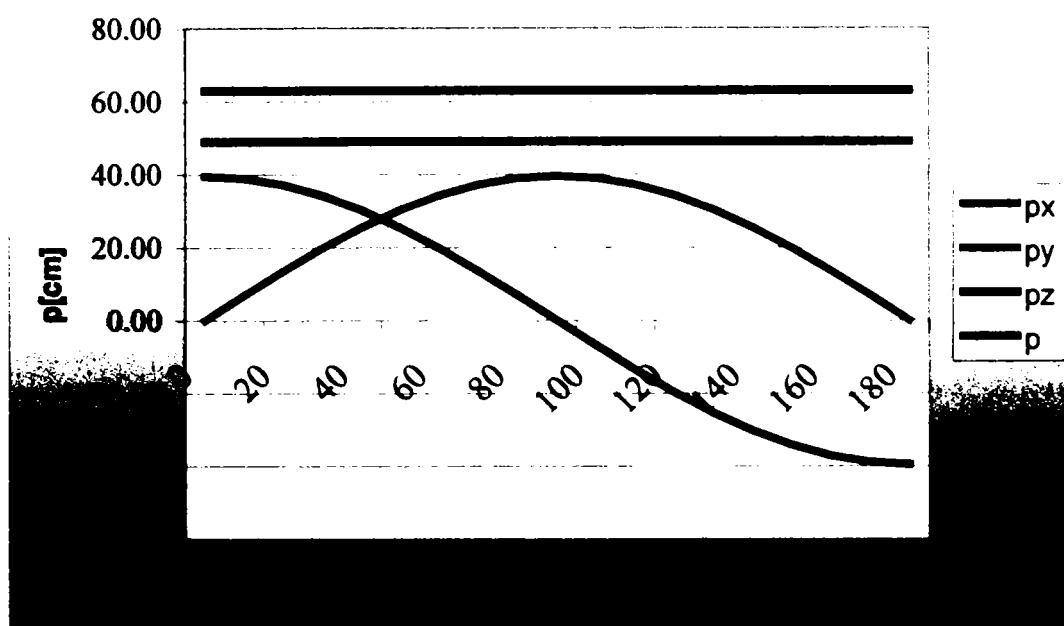


Fig. 5.10. Variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_3 în mișcarea de rotație a brațului

- Mișcarea de **flexie-extensie** a antebrățului, în care $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ-150^\circ$, $\theta_5=0^\circ$. Se calculează modulul vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.6 și figura 5.11. În acest grup de mișcări brațul se consideră în poziția ortostatică.

$\theta_4(^{\circ})$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
0	39,500	0,00	49	62,93846
10	41,678	0,00	42,1409	59,27001
20	42,590	0,00	35,4902	55,43896
30	42,208	0,00	29,25	51,35249
40	40,543	0,00	23,60989	46,91685
50	37,647	0,00	18,74124	42,05374
60	33,606	0,00	14,792	36,71776
70	28,545	0,00	11,88214	30,91917
80	22,616	0,00	10,10009	24,76886
90	16,000	0,00	9,5	18,60779
100	8,898	0,00	10,10009	13,46043
110	1,525	0,00	11,88214	11,97964
120	-5,894	0,00	14,792	15,92286
130	-13,133	0,00	18,74124	22,88494
140	-19,974	0,00	23,60989	30,92562
150	-26,208	0,00	29,25	39,27368

Tabelul 5.6. Calculul modului vectorului \vec{p} și al proiecțiilor acestuia pe cele 3 axe ale sistemului de coordonate în mișcarea de flexie-extensie a antebrățului

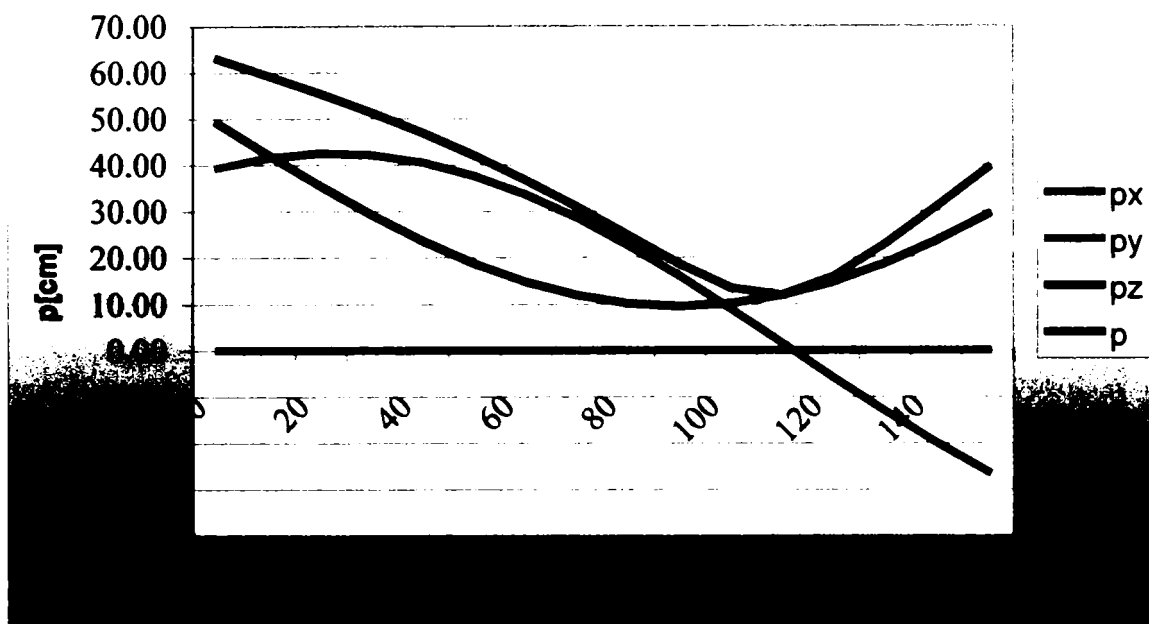


Fig. 5.11. Variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_4 în mișcarea de flexie-extensie a antebrăului

- Mișcarea de **flexie-extensie** a mâinii, în care $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ-160^\circ$. Se calculează modulul vectorului \vec{p} și a proiecțiilor acestuia, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.7 și figura 5.12. Pentru acest studiu brațul și antebrăul se consideră în poziție ortostatică.

$\theta_5(^{\circ})$	$p_x(\text{cm})$	$p_y(\text{cm})$	$p_z(\text{cm})$	$p(\text{cm})$
0	39,500	0,00	49	62,93846
10	42,035	0,00	46,22163	62,47724
20	44,007	0,00	43,52768	61,89758
30	45,356	0,00	41	61,14085
40	46,041	0,00	38,7154	60,1555
50	46,041	0,00	36,74329	58,90562
60	45,356	0,00	35,14359	57,37836
70	44,007	0,00	33,96492	55,59017
80	42,035	0,00	33,24308	53,59168
90	39,500	0,00	33	51,47087
100	36,479	0,00	33,24308	49,35369
110	33,063	0,00	33,96492	47,40002
120	29,356	0,00	35,14359	45,7916
130	25,472	0,00	36,74329	44,70903
140	21,528	0,00	38,7154	44,29822
150	17,644	0,00	41	44,63515
160	13,937	0,00	43,52768	45,70454

Tabelul 5.7. Calculul modului vectorului \vec{p} și al proiecțiilor acestuia pe cele 3 axe ale sistemului de coordonate în mișcarea de flexie-extensie a mâinii

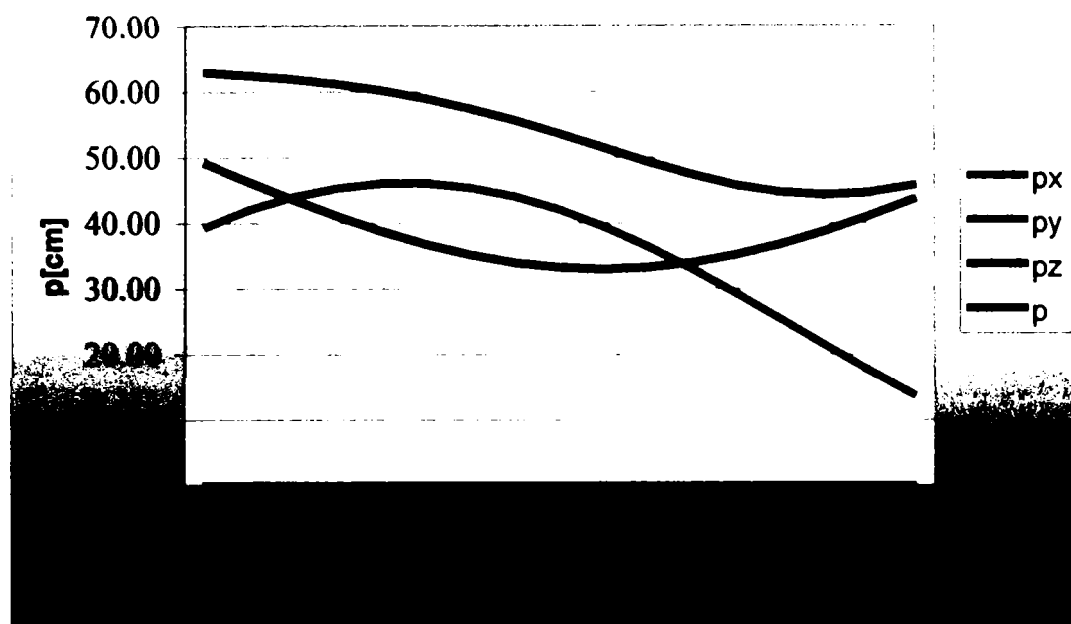


Fig. 5.12. Variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de unghiul θ_5 în mișcarea de flexie-extensie a mâinii

Reprezentările grafice au fost realizate în Microsoft Excel.

5.7. Reprezentarea parametrică a spațiului de lucru a membrului superior uman

Una din cele mai importante aplicații ale reprezentării parametrice a sistemelor este modelarea spațiilor descrise de capătul lanțului cinematic în timpul efectuării sarcinii. Abordarea modelării suprafețelor de lucru se va face pe baza modelului geometric direct [15], [42], [72].

Ecuțiile cinematice obținute sunt ecuațiile parametrice ce exprimă poziția și orientarea mâinii față de sistemul fix. Reprezentarea lor în spațiul 3D, conduce la modelarea suprafețelor în interiorul cărora se află în permanență efectorul membrului superior în timpul executării sarcinii sale de lucru.

Pentru generarea reprezentărilor grafice, programul MatLab utilizează anumite funcții.

Inițial se declară variabilele folosite în program. În cazul abordat, aceste variabile sunt variabilele articulare q_i , adică unghiurile θ_i ale cuplelor de rotație.

MatLab-ul este un limbaj de expresii. Expresiile tipărite de utilizator sunt interpretate și evaluate. Instrucțiunile MatLab sunt de cele mai multe ori, de forma:

variabilă = expresie

sau, mai simplu:

expresie

Expresiile sunt compuse din operatori sau alte caractere speciale, din funcții și nume de variabile. Dacă ultimul caracter al instrucțiunii este ";", aceasta este executată, dar tipărirea este suprimată.

Deoarece operațiile cu vectori și matrice sunt executate în MatLab mai repede cu un ordin de mărime decât operațiile compilate/interpretate, se obține o viteză de lucru mai mare dacă algoritmi înscrisi în fișierele .m sunt vectorizați (de exemplu: $t=0:.01:10$);).

Pentru simplificarea reprezentării unele dintre variabilele articulare sunt vectorizate (de exemplu $\theta_l=0:\pi/20:0.638*\pi$), iar celelalte sunt cicluate cu ajutorul instrucției **for**. Instrucțiunea **for** permite repetarea unui grup de instrucțiuni din corpul buclei, de un anumit număr de ori. Are următoarea structură generală:

```
for index=expresie
grupul_de_instrucțiuni
end
```

unde :

- *index* este numele contorului;
- *expresie* este o matrice, un vector sau un scalar;
- *grupul_de_instrucțiuni* este orice expresie MatLab.

În aplicații *expresie* este de cele mai multe ori de forma:

$k = \text{valoare inițială} : \text{pas} : \text{valoare finală}$

Graficele sunt reprezentate prin trasarea unor curbe în 3D, conținând toate punctele pe care le generează tripleta p_x, p_y, p_z din soluția modelului geometric direct al membrului superior. Grupul de ecuații parametrice $p_x = p_x(t), p_y = p_y(t), p_z = p_z(t)$ reprezintă traiectoria originii sistemului atașat mâinii, efectorului final al membrului superior.

Reprezentarea liniilor în spațiu se realizează cu funcția **plot3**, care se apelează cu sintaxa:

$\text{plot3}(x, y, z)$

unde: x, y, z sunt vectori de aceeași dimensiune, ce reprezintă grafic o linie în spațiul 3D, linie care trece prin punctele ale căror coordonate sunt triplete (x, y, z) . Tripletele (x, y, z) pot fi urmate de perechile parametru/valoare, pentru a specifica proprietăți suplimentare ale liniilor.

Funcția **Hold** păstrează graficul curent.

HOLD ON păstrează graficul curent și toate proprietăților axelor în așa fel încât comenzile următoare de desenare sunt adăugate graficului existent.

HOLD OFF restabilește modul original în care o comandă plot șterge graficul precedent și re setează toate proprietățile axelor înainte de desenarea noului grafic.

Toate aceste considerații sunt prezentate pentru a justifica din ce motive uneori utilizarea unui software profesional, așa cum este MatLab-ul, este preferată creării unor programe originale. Utilizarea celor din prima categorie menționată asigură pe lângă caracterul de generalitate al aplicației și interschimbabilitatea rezultatelor, absolut necesară în orice cercetare interdisciplinară.

Utilizând modelul cinematic al membrului superior, ultima coloană a matricei ce exprimă poziția și orientarea sistemului de referință atașat mâinii în raport cu cel fix reprezintă ecuațiile de mișcare $p_x = p_x(t)$, $p_y = p_y(t)$, $p_z = p_z(t)$ ce servesc la reprezentarea parametrică a suprafețelor pe care efectorul final se poate deplasa cu orientare variabilă [12], [31], [32], [35], [49], [54], [90], [99], [106], [121], [139], [141].

Se prezintă în cele ce urmează spațiul de lucru propriu al membrului superior pentru modelul simplificat, folosind facilitățile MatLab.

Considerând $h=29$ cm, $r=23,5$ cm, $c=20$ cm, $m=16$ cm și valorile variabilelor articulare: $\theta_1=0^\circ-115^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ-180^\circ$, $\theta_4=0^\circ-150^\circ$, $\theta_5=0^\circ-90^\circ$, în figura se vor reprezenta mai jos suprafețele pe care se află traiectoriile originii sistemului atașat efectorului final, în câteva variante.

◆ **Varianta 1:** $\theta_1=0^\circ-115^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```
h=29
r=23.5
c=20
m=16
q2=0;
q3=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
```

```

hold on
for q1=0:pi/500:0.638*pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
grid on
hold off

```

Traectoria de mișcare corespunzătoare acestei variante este reprezentată în figura 5.13:

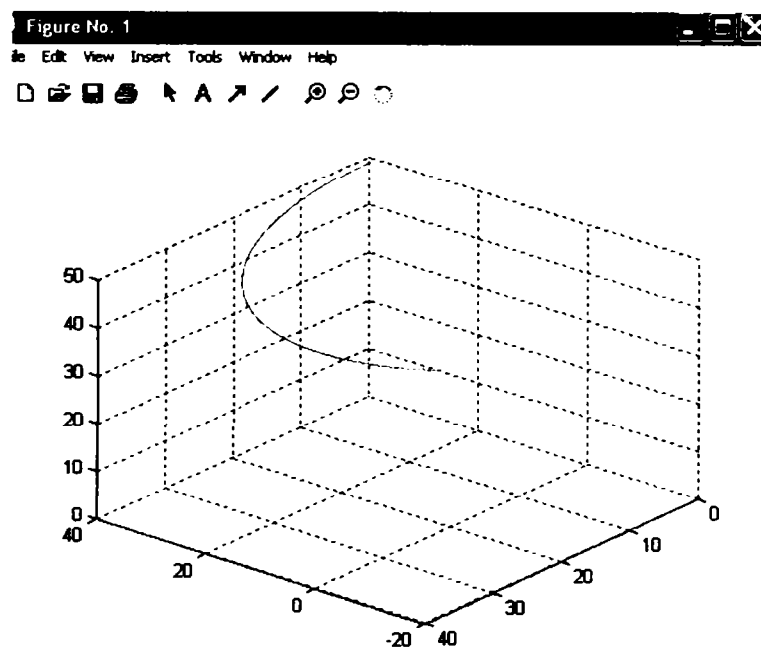


Fig. 5.13. Traiectoria de mișcare corespunzătoare variantei 1

◆ **Varianta 2:** $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$.

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29
r=23.5

```



```

c=20
m=16
q1=0;
q3=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q2=0:pi/500:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
grid on
hold off hold off

```

Suprafața proprie de lucru pentru această variantă este reprezentată în figura 5.14:

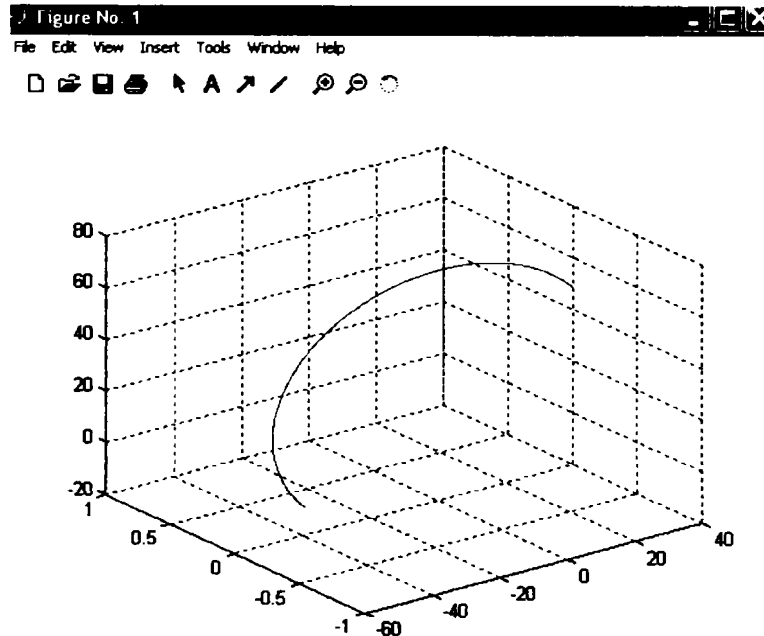


Fig. 5.14. Suprafața proprie de lucru pentru varianta 2

◆ **Varianta 3:** $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ-180^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29
r=23.5
c=20
m=16
q1=0;
q2=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q3=0:pi/500:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+ r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+
sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
grid on
hold off
    
```

Traectoria de mișcare corespunzătoare acestei variante este reprezentată în figura 5.15:

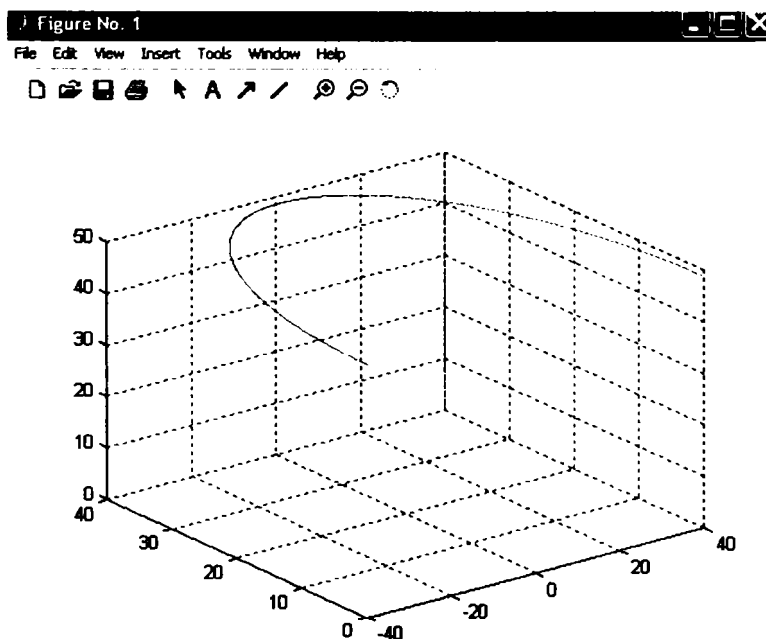


Fig. 5.15. Traectoria de mișcare corespunzătoare variantei 3

◆ **Varianta 4:** $\theta_1=0^\circ-115^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q3=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q1=0:pi/100:0.638*pi
for q2=0:pi/100:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
end
grid on
hold off

```

Suprafața proprie de lucru pentru această variantă este reprezentată în figura 5.16:

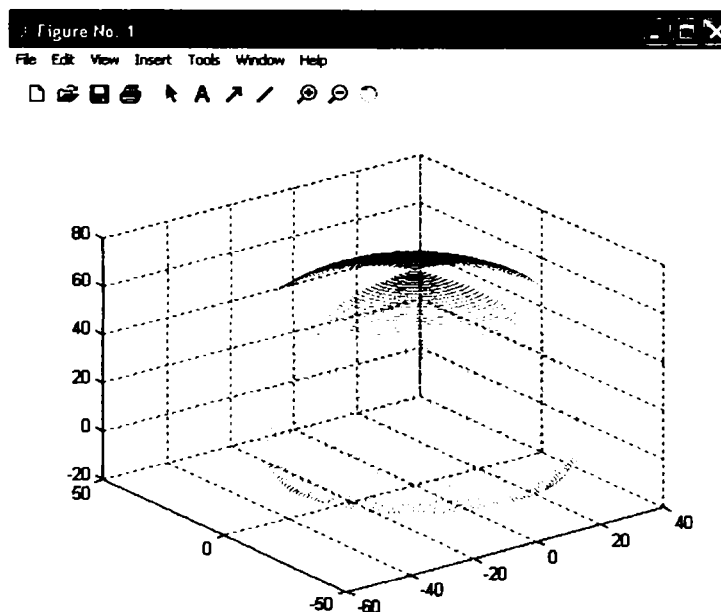


Fig. 5.16. Suprafața proprie de lucru pentru varianta 4

◆ **Varianta 5:** $\theta_1=0^\circ-115^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ-180^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q2=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q1=0:pi/100:0.638*pi
for q3=0:pi/100:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3) -
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4) -
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4) +
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4) -
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3) -
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4) +
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4) -
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4) -
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4) -
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
end
grid on
hold off
    
```

Traectoria de mișcare corespunzătoare acestei variante este reprezentată în figura 5.17:

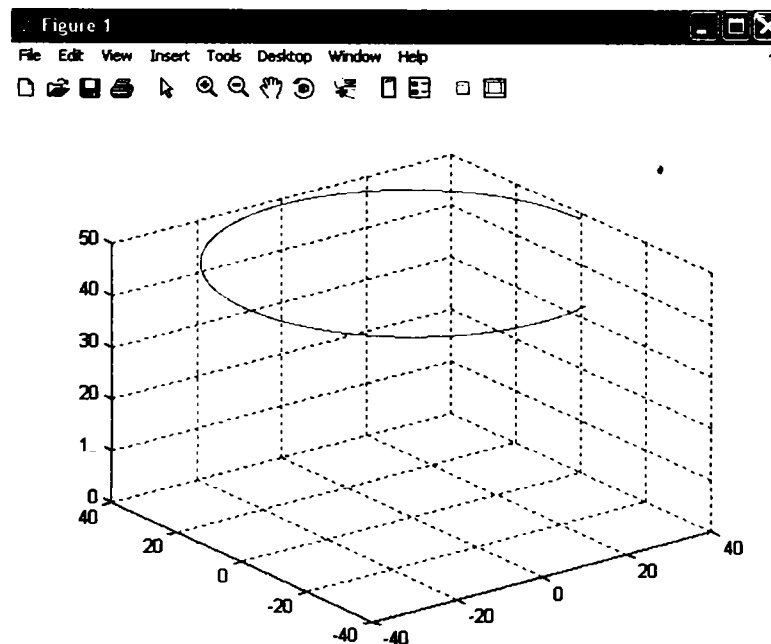


Fig. 5.17. Traectoria de mișcare corespunzătoare variantei 5

◆ **Varianta 6:** $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ-180^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q1=0;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q2=0:pi/100:pi
for q3=0:pi/100:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
end
grid on
hold off
    
```

Suprafața proprie de lucru pentru această variantă este reprezentată în figura 5.18:

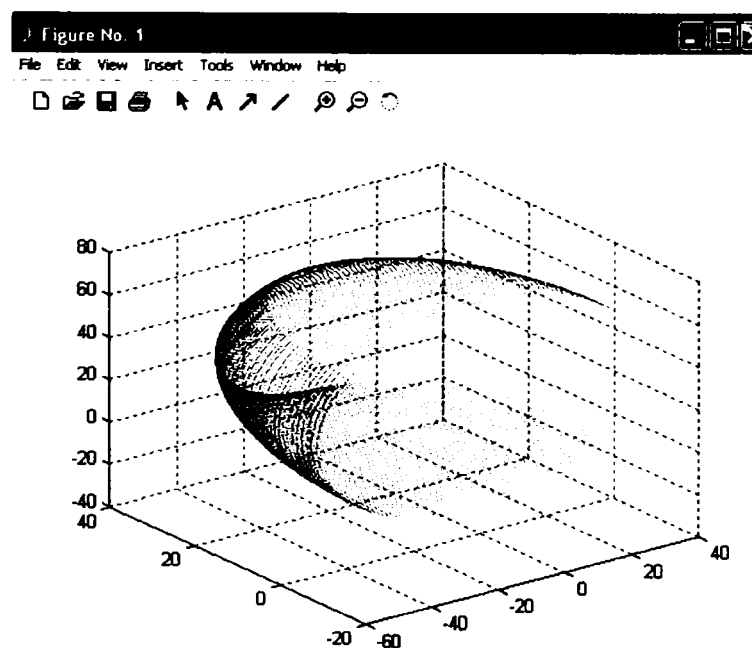


Fig. 5.18. Suprafața proprie de lucru pentru varianta 6

◆ **Varianta 7:** $\theta_1=0^\circ-115^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ-180^\circ$, $\theta_4=0^\circ$, $\theta_5=0^\circ$

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q4=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q1=0:pi/20:0.638*pi
for q2=0:pi/100:pi
for q3=0:pi/100:pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
end
end
grid on
hold off
    
```

Suprafața proprie de lucru pentru această variantă este reprezentată în figura 5.19:

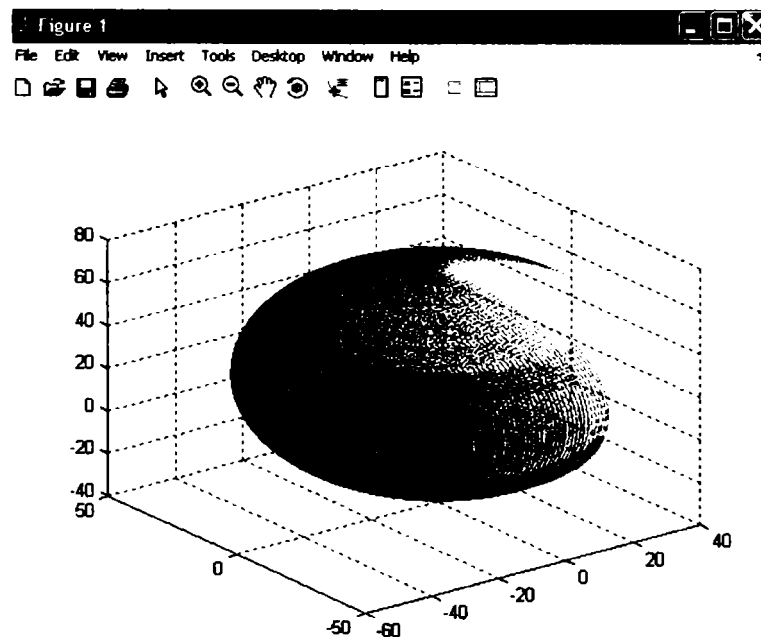


Fig. 5.19. Suprafața proprie de lucru pentru varianta 7

◆ **Varianta 8:** $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ-150^\circ$, $\theta_5=0^\circ$.

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q1=0;
q2=0;
q3=0;
q5=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q4=0:pi/500:0.833*pi
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
grid on
hold off
    
```

Traectoria de mișcare corespunzătoare acestei variante este reprezentată în figura 5.20:

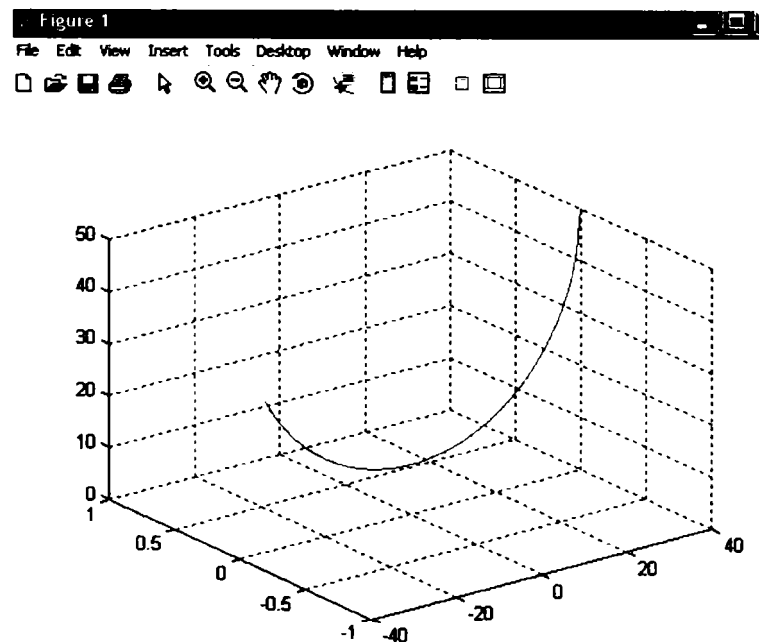


Fig. 5.20. Traectoria de mișcare corespunzătoare variantei 8

◆ **Varianta 9:** $\theta_1=0^\circ, \theta_2=0^\circ, \theta_3=0^\circ, \theta_4=0^\circ, \theta_5=0^\circ-90^\circ$.

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q1=0;
q2=0;
q3=0;
q4=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q4=0:pi/500:pi/2
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+ m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+
cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+ m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
grid on
hold off
    
```

Traectoria de mișcare corespunzătoare acestei variante este reprezentată în figura 5.21:

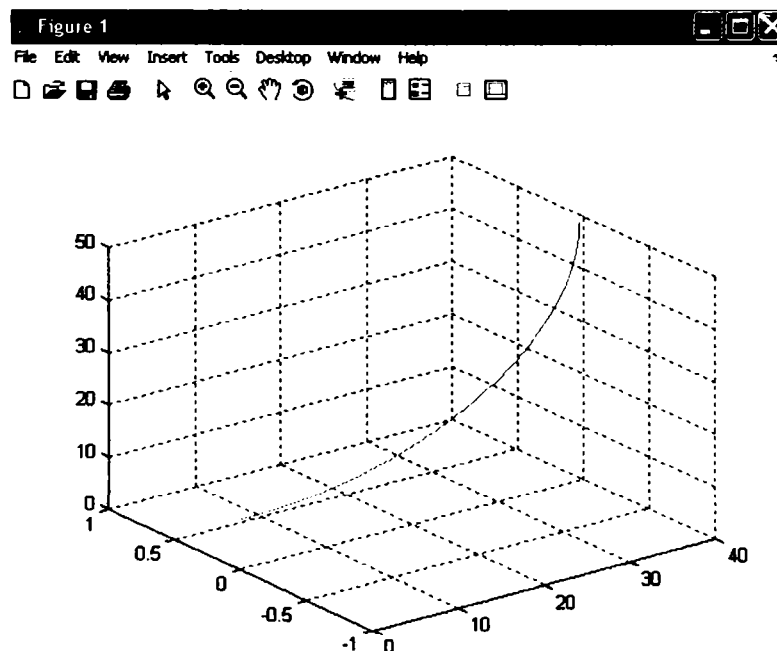


Fig. 5.21. Traectoria de mișcare corespunzătoare variantei 9

◆ **Varianta 10:** $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=0^\circ-180^\circ$, $\theta_3=0^\circ$, $\theta_4=0^\circ-150^\circ$, $\theta_5=0^\circ-90^\circ$.

Pentru această variantă, instrucțiunile MatLab sunt:

```

h=29;
r=23.5;
c=20;
m=16;
q1=0;
q3=0;
plot3(0,0,0)
hold on
for q2=0:pi/50:pi
for q4=0:pi/50:0.833*pi
for q5=0:pi/50:pi/2
plot3(m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*cos(q5)*cos(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)+
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*cos(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*cos(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
r*cos(q4)*sin(q1)*sin(q3)+cos(q1)*sin(q2)*r*sin(q4)-cos(q1)*sin(q2)*h,
m*cos(q5)*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+m*cos(q5)*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)
+m*cos(q5)*sin(q1)*sin(q2)*sin(q4)-
m*sin(q5)*sin(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)-
m*sin(q5)*sin(q4)*cos(q1)*sin(q3)+m*sin(q5)*sin(q1)*sin(q2)*cos(q4)+
r*cos(q4)*sin(q1)*cos(q2)*cos(q3)+r*cos(q4)*cos(q1)*sin(q3)+sin(q1)*sin(q2)
*r*sin(q4)-sin(q1)*sin(q2)*h,m*cos(q5)*sin(q2)*cos(q3)*cos(q4)-
m*cos(q5)*cos(q2)*sin(q4)-m*sin(q5)*sin(q2)*cos(q3)*sin(q4)-
m*sin(q5)*cos(q2)*cos(q4)+sin(q2)*cos(q3)*r*cos(q4)-
cos(q2)*r*sin(q4)+cos(q2)*h+c)
end
end
end
grid on
hold off
    
```

Suprafața proprie de lucru pentru această variantă este reprezentată în figura 5.22:

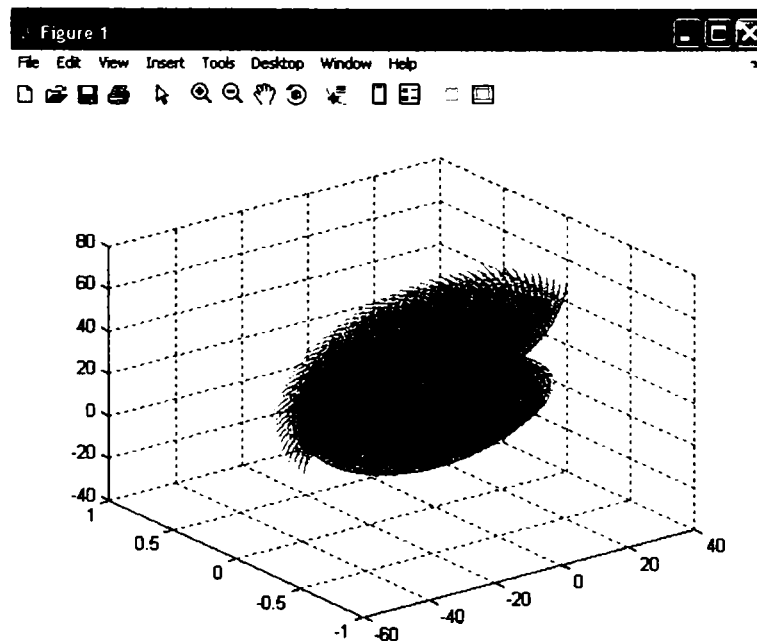


Fig. 5.22. Suprafața proprie de lucru pentru varianta 10

CAPITOLUL VI. MODELUL DINAMIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

Modelarea dinamică a sistemului osteoarticular este necesară din considerentul că exercitarea unor acțiuni și mișcări fiziologice normale este în esență dinamică.

Un model dinamic trebuie să asigure o bună aproximare a greutății totale și a distribuției masei modelului, precum și a proprietăților de transmisibilitate și amortizare pentru os, mușchi, ligamente, sânge, piele, etc.

Mobilitatea mare a organismului uman duce la necesitatea modelării sistemului osteoarticular ca un mecanism cu un număr mare de grade de libertate. Sistemul de ecuații diferențiale care se obține este complex și presupune integrare numerică. De cele mai multe ori este un model simplificat deoarece fenomenele ce se produc sunt atât de complexe încât o reproducere matematică exactă este practic imposibilă.

Este necesar să se studieze proprietățile materialelor biologice ce alcătuiesc corpul uman, pentru ca mărimile ce intervin în ecuațiile diferențiale de mișcare să fie cât mai corecte posibil [142], [143], [144], [145].

6.1. Structura și proprietățile oaselor

Pentru a realiza funcția de locomoție și pentru a-și menține forma, organismul uman trebuie să posede o structură osoasă cu anumite proprietăți mecanice care să se adapteze factorilor externi și condițiilor de mediu.

Oasele scheletului uman sunt de diferite forme și mărimi. Ele sunt de patru categorii: lungi, scurte, plate și neregulate.

Din punct de vedere microscopic, oasele sunt alcătuite în proporție de 30-40% din material organic, din care aproape 95% fibre de colagen comprimate și 60-70% material anorganic din care aproximativ 85% fosfat de calciu, 6-10% carbonat de calciu, iar restul săruri alcaline. Această compoziție duce la menținerea rigidității oaselor și a rezistenței acestora la diferite solicitări [17].

În figura 6.1. este reprezentată structura unui os lung [1], [100].

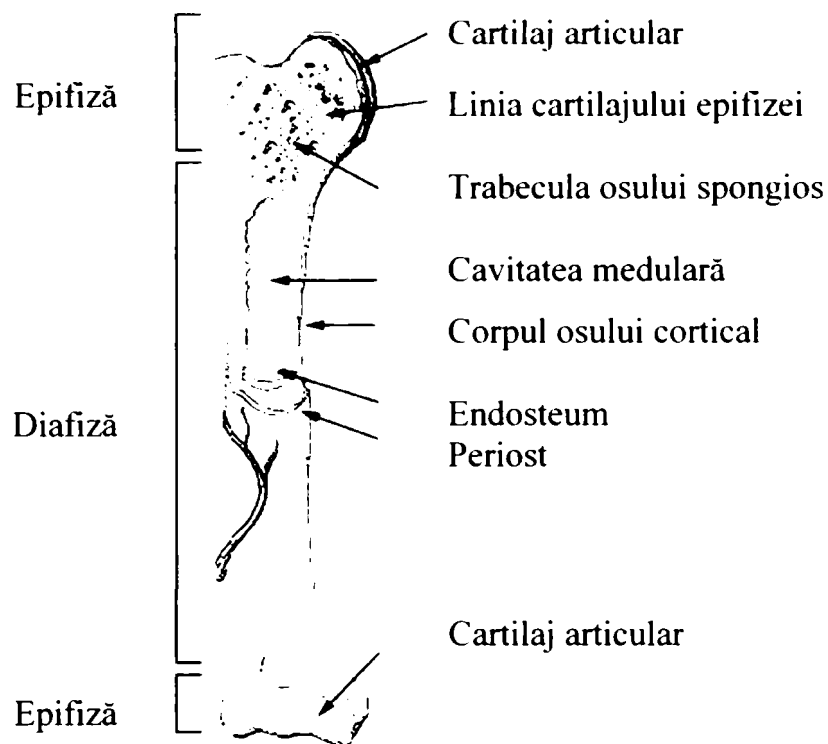


Fig. 6.1. Structura unui os lung

Din punct de vedere macroscopic, oasele sunt de două tipuri: cortical (compact) și spongios (trabecular). **Osul cortical** este foarte dens, puternic calcificat, creat să reziste la compresiune. El poate rezista și la torsiune și încovoiere, dar într-o măsură mult mai mică. Osul cortical este de obicei întâlnit în diafizele oaselor lungi. Ele prezintă o cavitate centrală numită canal medular sau cavitate medulară. La capătul oaselor lungi și în jurul tendoanelor și ligamentelor atașate, structura osului este mai poroasă și poartă denumirea de **os spongios** [47]. Trecerea de la osul cortical la cel spongios se face treptat.

Densitățile osului cortical și spongios nu diferă foarte mult deoarece ambele tipuri de oase sunt constituite din lamele osoase. Cunoașterea densității osoase este importantă pentru aprecierea mărimilor ce caracterizează distribuția de mese în sistemul osteoarticular al membrului superior, fără de care nu se poate realiza studiul dinamic al acestuia [44].

6.2. Calculul centrul de greutate și a momentelor de inerție pe modelul 3D al membrului superior uman

Determinarea pe modele 3D a unor mărimi fundamentale în studiul dinamicii este necesar la: perfecționarea protezelor și a implantelor metalice ale membrului superior și realizarea lor în funcție de particularitățile fiecărui caz, stabilirea împrejurărilor în care se

produc fracturi ale oaselor (în mare majoritate cazuri dinamice: cădere, lunecare, impact), cu implicații în medicina legală; cunoașterea condițiilor în care se produc fracturi la solicitările prin șoc, etc. [142], [143], [144], [145].

Pentru determinarea centrului de greutate al unei componente a scheletului osos al membrului superior uman și a momentelor de inerție, se poate folosi comanda proprie programului Solid Works [137], **Mass Property** sau pot fi folosite alte programe, în care se importă aceste fișiere, spre exemplu: Pro Engineer, AutoCad, etc.

În figurile 6.2 – 6.5 sunt prezentate exemple de calcul în Solid Works pentru diferitele componente ale scheletului membrului superior uman, precum și membrul superior în ansamblu. Pentru calculul momentelor de inerție s-a poziționat sistemul de coordonate în centrul de greutate al componentei.

Deși oasele nu prezintă o structură omogenă, valoarea masei este cea calculată cu densitatea medie: $\rho = 1,3 \text{ g/cm}^3$. Aproximarea conduce la rezultate compatibile cu cele din literatură [29], [37], [41], [121], [140].

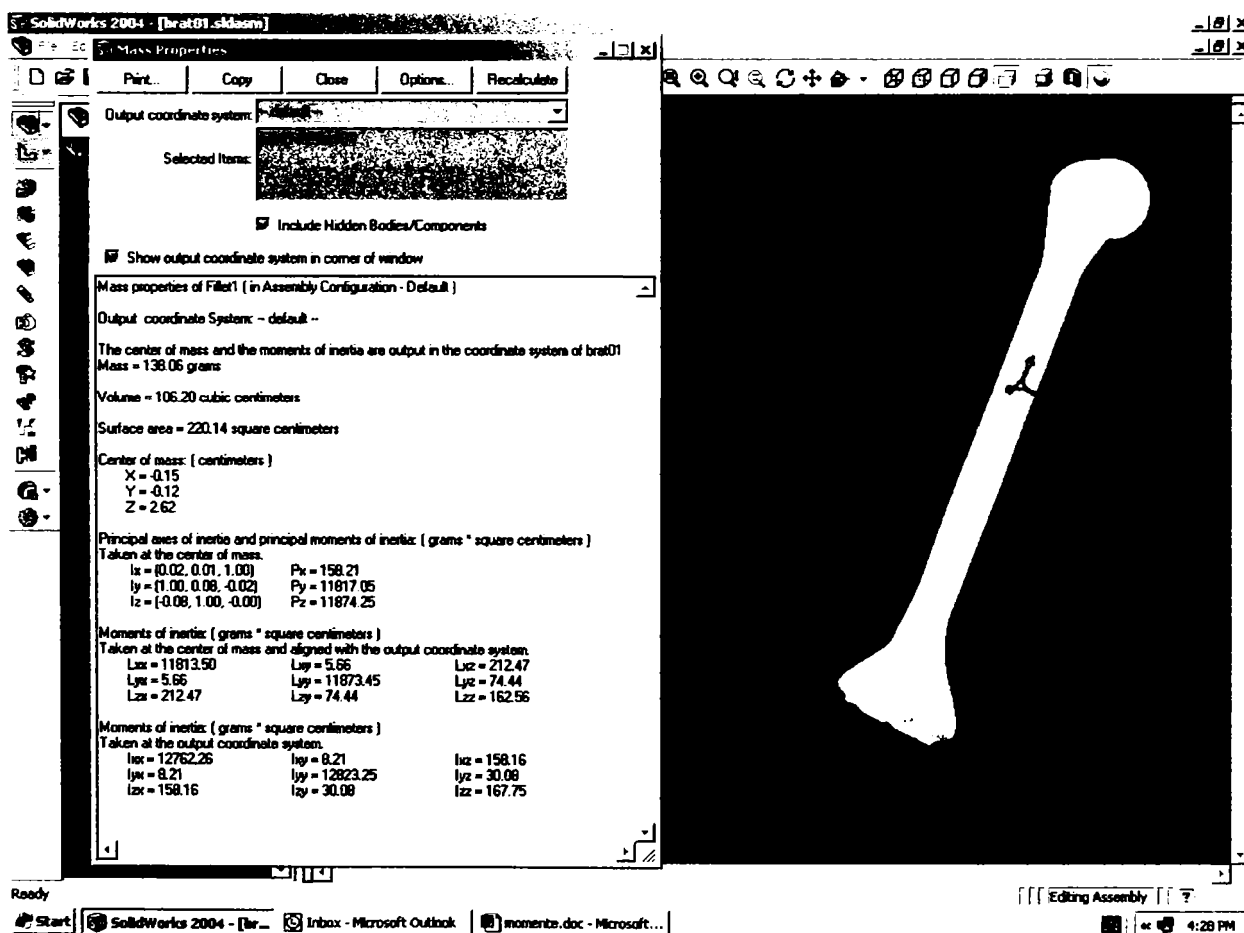


Fig. 6.2. Calculul masei, volumului și momentelor de inerție pentru humerus

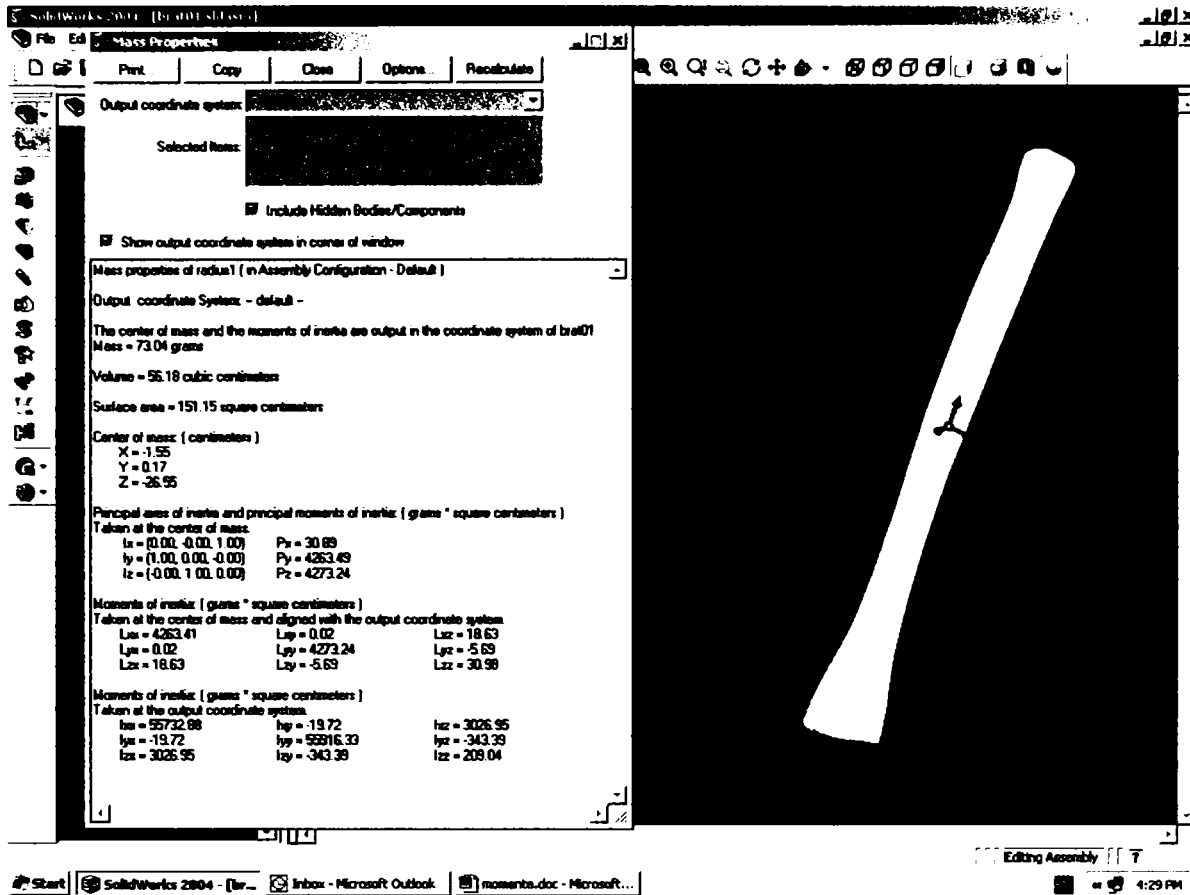


Fig. 6.3. Calculul masei, volumului și momentelor de inerție pentru radius

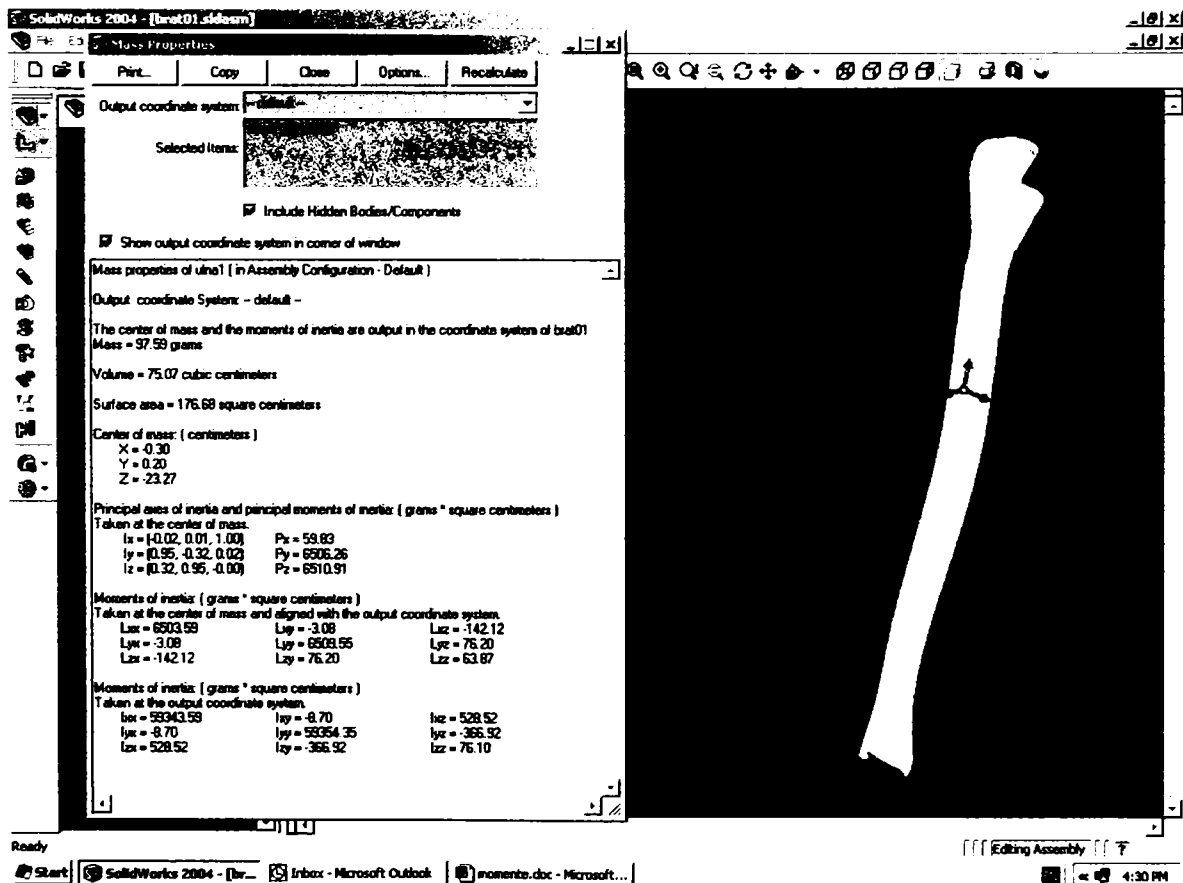


Fig. 6.4. Calculul masei, volumului și momentelor de inerție pentru ulnă

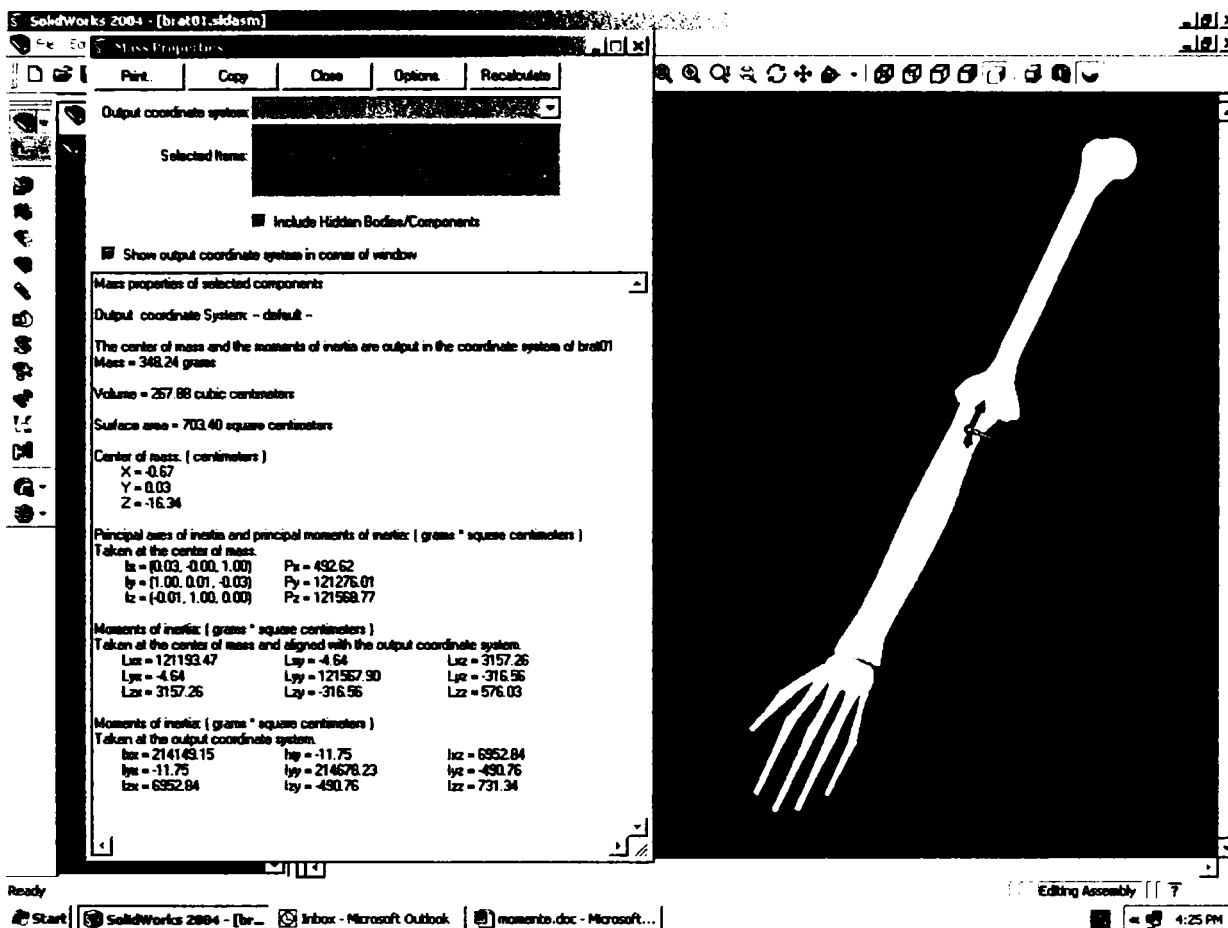


Fig. 6.5. Calculul masei, volumului și momentelor de inerție pentru scheletul osos al membrului superior uman

Pentru brațul cu mușchi s-a considerat densitatea musculară $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$. Calculul proprietăților de masă pentru acest caz se realizează ținând seama de faptul că sistemul format nu mai este omogen (figura 6.6).

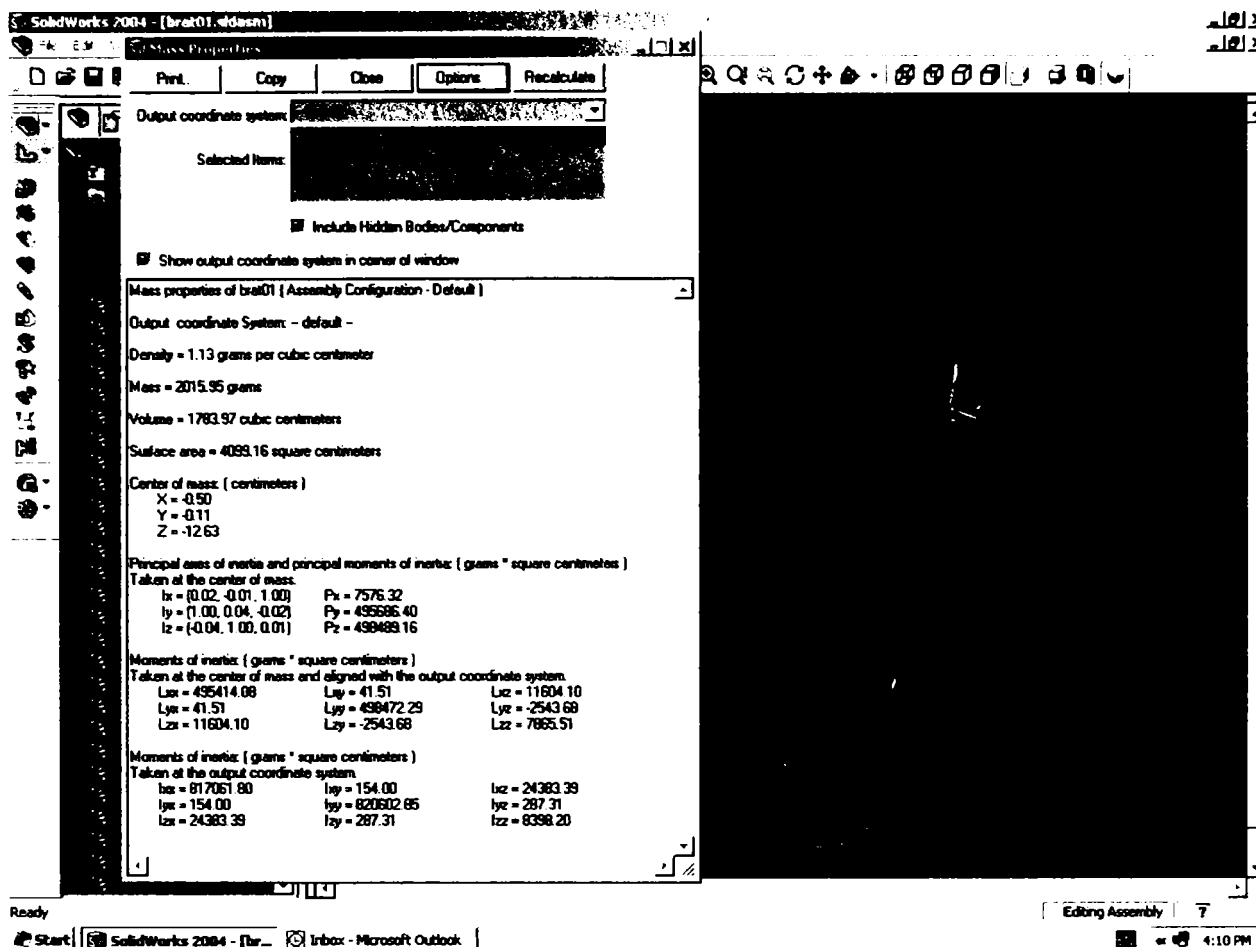


Fig. 6.6. Calculul masei, volumului și momentelor de inerție pentru membrul superior uman (oase și mușchi)

6.4. Dinamica membrului superior uman

Se consideră structura membrului superior ca sistem mecanic cu 5 grade de libertate, aflată doar sub acțiunea forțelor de frecare proprii, pentru care ecuațiile diferențiale ale mișcării se vor determina utilizând ecuațiile lui Lagrange [14], [28], [114]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_c}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_c}{\partial q_i} = Q_i \quad i=1,5 \quad (6.1)$$

unde:

- E_c reprezintă energia cinetică totală a sistemului,
- q_i reprezintă variabilele generalizate corespunzătoare cuplelor i ,
- Q_i sunt forțe generalizate.

Considerând modelul geometric simplificat și structura spațială ce modelează fizic membrul superior uman (figura 5.7), energia cinetică totală se obține :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot J_{Z_0}^{(ms)} \cdot \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{Z_1}^{(ms)} \cdot \dot{q}_2^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{Z_2}^{(ms)} \cdot \dot{q}_3^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{Z_3}^{(r+p+d)} \cdot \dot{q}_4^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{Z_4}^{(p+d)} \cdot \dot{q}_5^2 \quad (6.2)$$

Momentele de inerție în raport cu axele z_0 , z_1 , z_2 , z_3 și z_4 se calculează aplicând formulele lui Steiner [28], [114]:

$$J_{Z_4}^{(p+d)} = J_{IIZ4,c(p+d)} + \left(\frac{p+d}{2}\right)^2 m_{(p+d)} = J_{IIZ4,c(p+d)}^{(p+d)} + \frac{(p+d)^2}{4} m_{(p+d)} \quad (6.3)$$

$$J_{Z_3}^{(r+p+d)} = J_{IIZ3,c(p+d)}^{p+d} + \left(r + \frac{p+d}{2}\right)^2 m_{(p+d)} + J_{Z_3}^{(r)} \quad (6.4)$$

$$J_{Z_2}^{(ms)} = J_{IIZ2,c(p+d)}^{(p+d)} + \left(\frac{p+d}{2} \sin q_5\right)^2 m_{(p+d)} + J_{IIZ2,c(r)}^{(r)} + \left(\frac{r}{2} \sin q_4\right)^2 m_{(r)} + J_{IIZ2,c(h)}^{(h)} + \frac{h^2}{4} m_{(h)} \quad (6.5)$$

$$J_{Z_1}^{(ms)} = J_{IIZ1,c(p+d)}^{(p+d)} + \left(\frac{p+d}{2} \cos q_5\right)^2 m_{(p+d)} + J_{IIZ1,c(r)}^{(r)} + \left(\frac{r}{2} \cos q_4\right)^2 m_{(r)} + J_{IIZ1,c(h)}^{(h)} + \frac{h^2}{4} m_{(h)} \quad (6.6)$$

$$J_{Z_0}^{(ms)} = J_{IIZ0,c(p+d)}^{(p+d)} + \frac{(p+d)^2}{4} m_{(p+d)} + J_{IIZ0,c(r)}^{(r)} + \frac{r^2}{4} m_{(r)} + J_{IIZ0,c(h)}^{(h)} + \frac{h^2}{4} m_{(h)} \quad (6.7)$$

în care s-au notat: ms – membrul superior, h – humerus, r – radius, p – palmă, d – degete; ultimele 4 notații sunt valabile și pentru lungimile porțiunilor aferente.

Cu ajutorul programului Solid Works, cunoscând dimensiunile oaselor și densitățile oaselor și ale mușchilor, aceste valori ale momentelor pot fi calculate direct punând sistemele de referință direct în cuple cu axele z orientate de-a lungul axelor cuplelor respective. În figurile 6.7 – 6.9 sunt reprezentate porțiunile de braț pentru care se face calculul momentului de inerție, axa în raport cu care se face acest calcul, precum și rezultatele obținute [91].

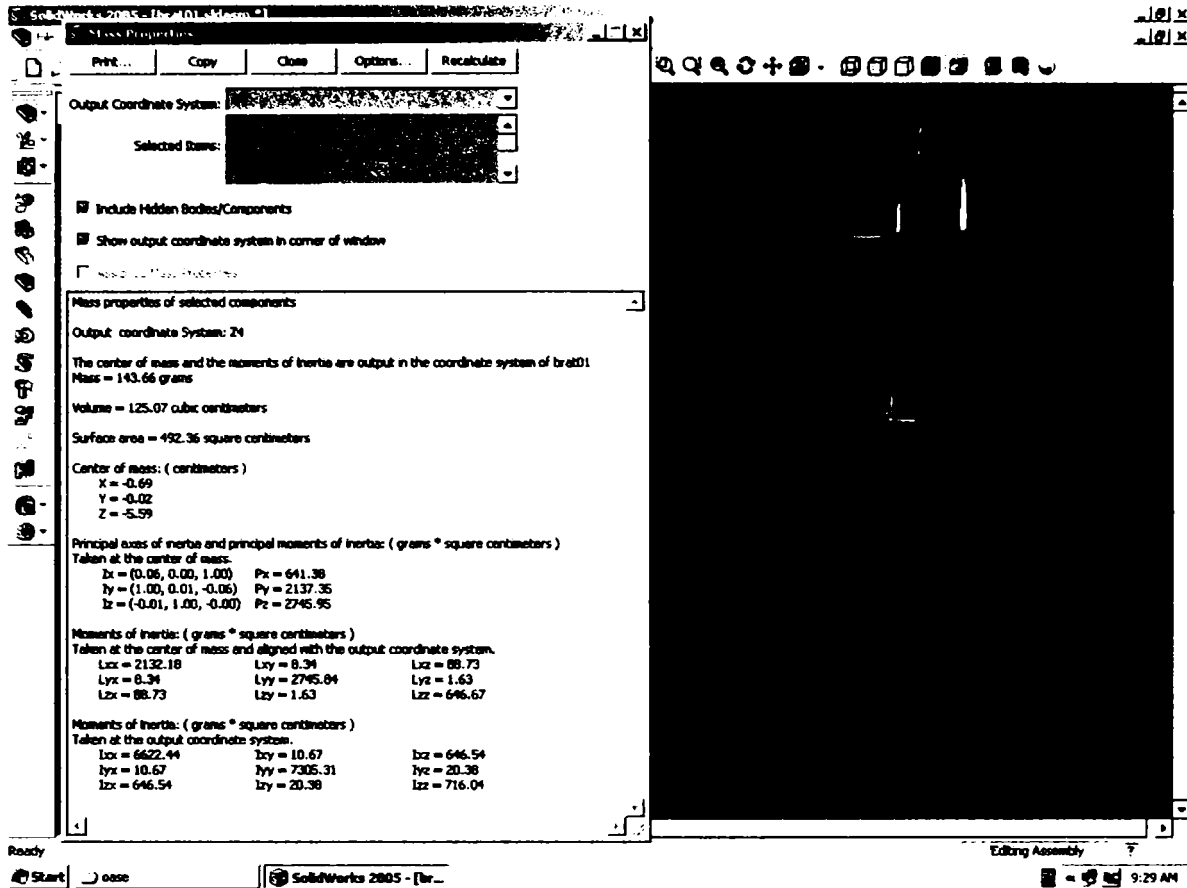


Fig. 6.7. Calculul momentelor de inerție pentru ansamblul mână (palmă + degete)

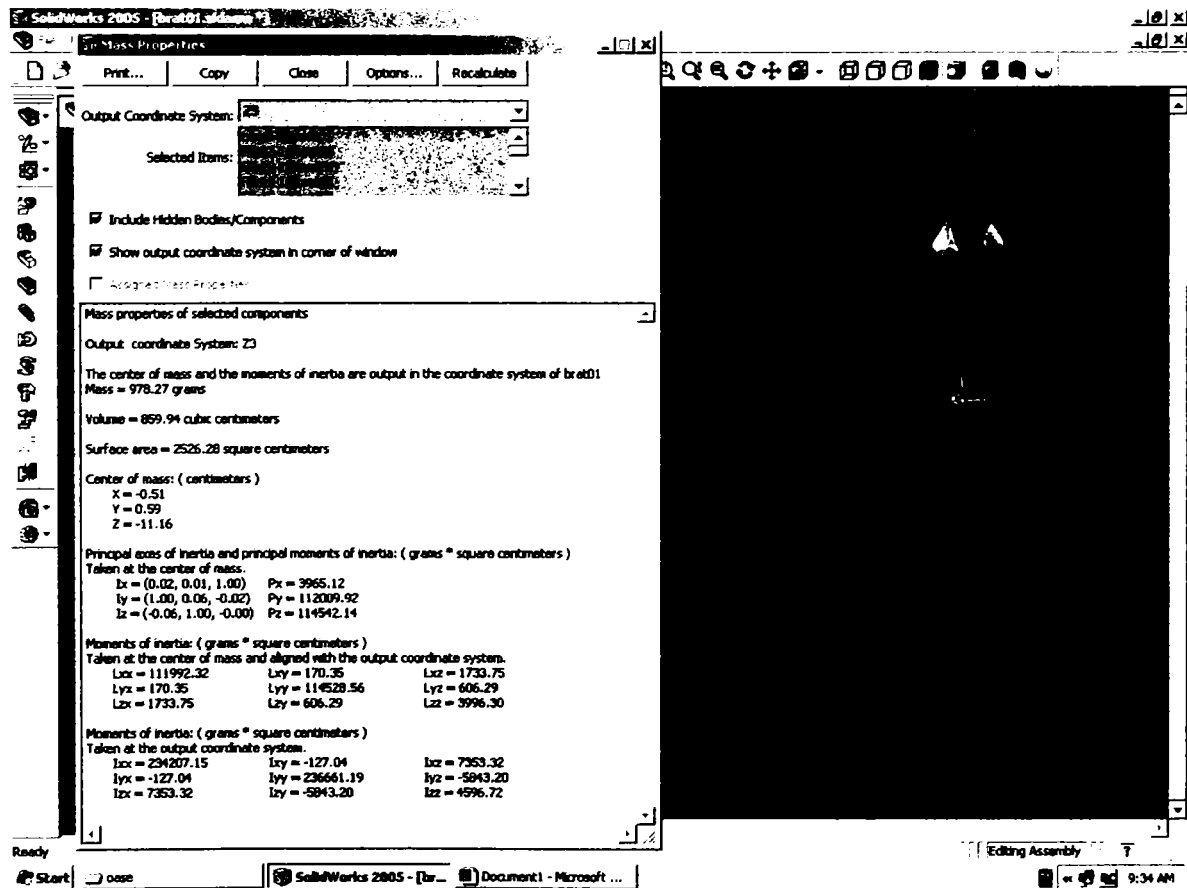


Fig. 6.8. Calculul momentelor de inerție pentru ansamblul radius + mână (radius+palmă+degete)

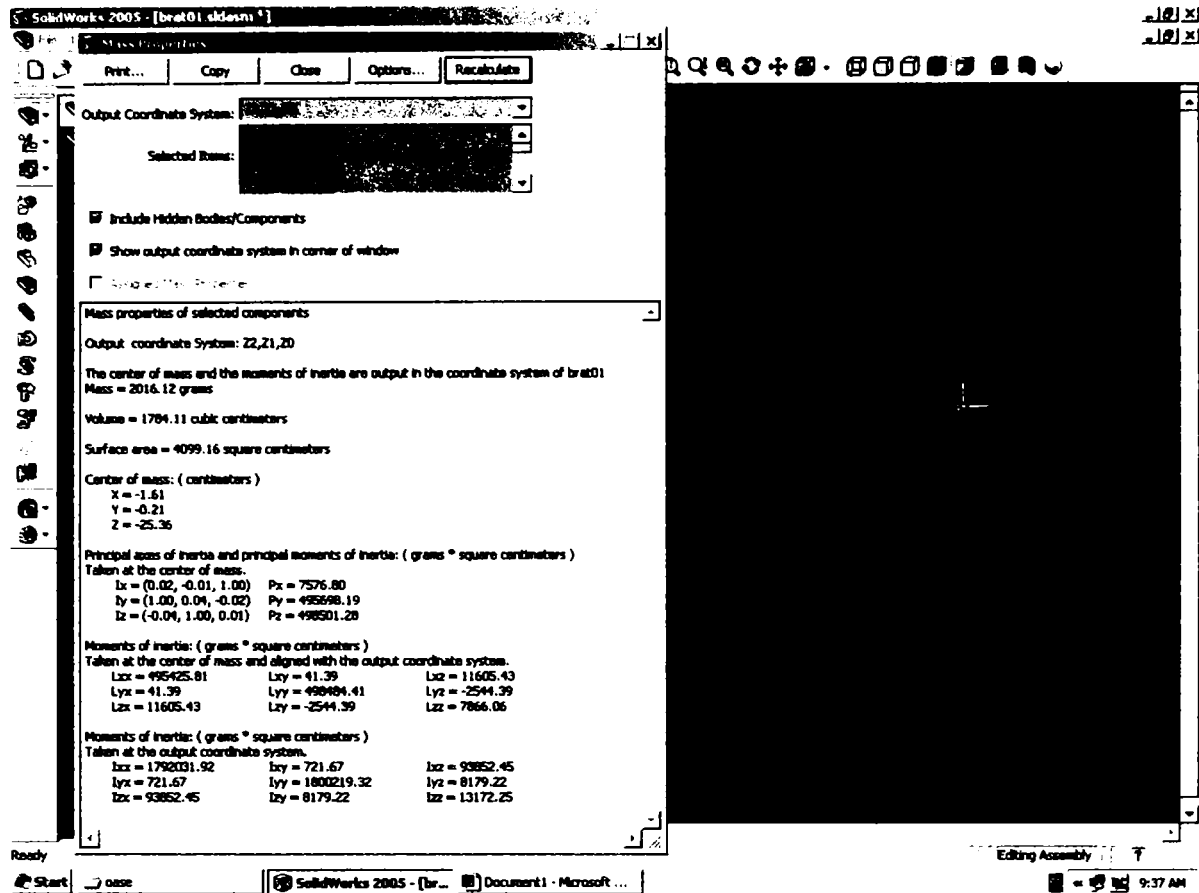


Fig. 6.9. Calculul momentelor de inerție pentru întregul braț (membru superior)

Derivatele energiei cinetice în raport cu vitezele generalizate și derivatele lor în raport cu timpul, precum și derivatele energiei cinetice în raport cu coordonatele generalizate devin:

$$\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_1} = J_{Z_0}^{(ms)} \dot{q}_1 \quad (6.8)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_1} \right) = \dot{q}_1 \frac{dJ_{Z_0}^{(ms)}}{dt} + J_{Z_0}^{(ms)} \ddot{q}_1 = J_{Z_0}^{(ms)} \ddot{q}_1 \quad (6.9)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial q_1} = 0 \quad (6.10)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_2} = J_{Z_1}^{(ms)} \dot{q}_2 \quad (6.11)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_2} \right) = \dot{q}_2 \left[-\frac{p+d}{2} \dot{q}_5 m_{(p+d)} \sin 2q_5 - \frac{r}{2} \dot{q}_4 m_{(r)} \sin 2q_4 \right] + J_{Z_1}^{(ms)} \ddot{q}_2 \quad (6.12)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial q_2} = 0 \quad (6.13)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_3} = J_{Z2}^{(ms)} \dot{q}_3 \quad (6.14)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_3} \right) = \dot{q}_3 \left[\frac{p+d}{2} \dot{q}_5 m_{(p+d)} \sin 2q_5 + \frac{r}{2} \dot{q}_4 m_{(r)} \sin 2q_4 \right] + J_{Z2}^{(ms)} \ddot{q}_3 \quad (6.15)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial q_3} = 0 \quad (6.16)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_4} = J_{Z3}^{(r+p+d)} \dot{q}_4 \quad (6.17)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_4} \right) = J_{Z3}^{(r+p+d)} \ddot{q}_4 \quad (6.18)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial q_4} = \frac{1}{2} m_{(r)} \frac{r}{2} \sin 2q_4 (\dot{q}_3^2 - \dot{q}_2^2) \quad (6.19)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_5} = J_{Z4}^{(p+d)} \dot{q}_5 \quad (6.20)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_5} \right) = J_{Z4}^{(p+d)} \ddot{q}_5 \quad (6.21)$$

$$\frac{\partial E_C}{\partial q_5} = \frac{1}{2} m_{(p+d)} \frac{p+d}{2} \sin 2q_5 (\dot{q}_3^2 - \dot{q}_2^2) \quad (6.22)$$

Înlocuind expresiile (6.8 – 6.22) în relația (6.1) și ținând seama de expresiile forțelor generalizate pentru $i=1,5$, se obțin următoarele ecuații:

$$J_{Z0}^{(ms)} \ddot{q}_1 = -m_h g \frac{h}{2} \cos q_1 - m_r g \left(h \cos q_1 + \frac{r}{2} \cos q_4 \right) - m_{(p+d)} g \left(h \cos q_1 + r \cos q_4 + \frac{p+d}{2} \cos q_5 \right) \quad (6.23)$$

$$\begin{aligned} \dot{q}_2 \left[-\frac{p+d}{2} \dot{q}_5 m_{(p+d)} \sin 2q_5 - \frac{r}{2} \dot{q}_4 m_{(r)} \sin 2q_4 \right] + J_{Z1}^{(ms)} \ddot{q}_2 = \\ -m_h g \frac{h}{2} \cos q_1 \cos q_2 - m_r g \left(h \cos q_1 \cos q_2 + \frac{r}{2} \cos q_4 \cos q_2 \right) - \\ -m_{(p+d)} g \left(h \cos q_1 \cos q_2 + r \cos q_4 \cos q_2 + \frac{p+d}{2} \cos q_5 \cos q_2 \right) \end{aligned} \quad (6.24)$$

$$\dot{q}_3 \left[\frac{p+d}{2} \dot{q}_5 m_{(p+d)} \sin 2q_5 + \frac{r}{2} \dot{q}_4 m_{(r)} \sin 2q_4 \right] + J_{Z2}^{(ms)} \ddot{q}_3 = 0 \quad (6.25)$$

$$J_{Z_3}^{(r+p+d)} \ddot{q}_4 - \frac{1}{2} m_{(r)} \frac{r}{2} \sin 2q_4 (\dot{q}_3^2 - \dot{q}_2^2) = -m_r g \frac{r}{2} \cos q_4 - m_{(p+d)} g (r \cos q_4 + \frac{p+d}{2} \cos q_5) \quad (6.26)$$

$$J_{Z_4}^{(p+d)} \ddot{q}_5 - \frac{1}{2} m_{(p+d)} \frac{p+d}{2} \sin 2q_5 (\dot{q}_3^2 - \dot{q}_2^2) = -m_{(p+d)} g (\frac{p+d}{2}) \cos q_5 \quad (6.27)$$

Înlocuind în relațiile (6.23)-(6.27) valorile momentelor de inerție:

$$\begin{aligned} I_{Z_0}^{(m_s)} &= I_{xx} = 1792031,92 \text{ g*cm}^2 \\ I_{Z_1}^{(m_s)} &= I_{yy} = 1800219,32 \text{ g*cm}^2 \\ I_{Z_2}^{(m_s)} &= I_{zz} = 13172,25 \text{ g*cm}^2 \\ I_{Z_3}^{(r+p+d)} &= I_{xx} = 234207,15 \text{ g*cm}^2 \\ I_{Z_4}^{(p+d)} &= I_{xx} = 6622,44 \text{ g*cm}^2 \end{aligned} \quad (6.28)$$

masele: $m_{(p+d)}=143,66$ g (mână), $m_{(r)}=834,61$ g (antebraț), $m_{(h)}=1037,85$ g (partea superioară a brațului), $m_{(ms)}=2016,12$ g (membrul superior) și dimensiunile oaselor $h=29$ cm, $r=23,5$ cm, $p+d=16$ cm, se obține următorul sistem de ecuații diferențiale:

$$0,179\ddot{q}_1 + 4,257 \cos q_1 + 1,293 \cos q_4 + 0,112 \cos q_5 = 0 \quad (6.29)$$

$$-0,011\dot{q}_2\dot{q}_5 \sin 2q_5 - 0,098\dot{q}_2\dot{q}_4 \sin 2q_4 + 0,180\ddot{q}_2 + 3,889 \cos q_1 \cos q_2 + 1,293 \cos q_2 \cos q_4 + 0,112 \cos q_2 \cos q_5 = 0 \quad (6.30)$$

$$0,011\dot{q}_3\dot{q}_5 \sin 2q_5 + 0,098\dot{q}_3\dot{q}_4 \sin 2q_4 + 0,0013\ddot{q}_3 = 0 \quad (6.31)$$

$$0,0234\ddot{q}_4 - 0,049\dot{q}_3^2 \sin 2q_4 + 0,049\dot{q}_2^2 \sin 2q_4 + 1,293 \cos q_4 + 0,112 \cos q_5 = 0 \quad (6.32)$$

$$0,0006\ddot{q}_5 - 0,005\dot{q}_3^2 \sin 2q_5 + 0,005\dot{q}_2^2 \sin 2q_5 + 0,112 \cos q_5 = 0 \quad (6.33)$$

Sau:

$$\ddot{q}_1 = -23,78 \cos q_1 - 7,22 \cos q_4 - 0,62 \cos q_5 \quad (6.34)$$

$$\begin{aligned} \ddot{q}_2 &= 0,06\dot{q}_2\dot{q}_5 \sin 2q_5 + 0,54\dot{q}_2\dot{q}_4 \sin 2q_4 - 21,60 \cos q_1 \cos q_2 - 71,83 \cos q_2 \cos q_4 \\ &\quad - 0,62 \cos q_2 \cos q_5 \end{aligned} \quad (6.35)$$

$$\ddot{q}_3 = -8,46\dot{q}_3\dot{q}_5 \sin 2q_5 - 75,38\dot{q}_3\dot{q}_4 \sin 2q_4 \quad (6.36)$$

$$\ddot{q}_4 = 2,09\dot{q}_3^2 \sin 2q_4 - 2,09\dot{q}_2^2 \sin 2q_4 - 55,25 \cos q_4 - 4,78 \cos q_5 \quad (6.37)$$

$$\ddot{q}_5 = 8,33\dot{q}_3^2 \sin 2q_5 - 8,33\dot{q}_2^2 \sin 2q_5 - 186,66 \cos q_5 \quad (6.38)$$

6.5. Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale pentru modelul simplificat al membrului superior uman

Integrarea sistemului de ecuații diferențiale ce reprezintă modelul redus al membrului superior s-a realizat în MatLab 7.01, utilizându-se următoarele notații [79], [93], [101], [134]:

$$\dot{q}_1 = y(1), \dot{q}_2 = y(2), \dot{q}_3 = y(3), \dot{q}_4 = y(4), \dot{q}_5 = y(5) \quad (6.39)$$

$$\ddot{q}_1 = y(6), \ddot{q}_2 = y(7), \ddot{q}_3 = y(8), \ddot{q}_4 = y(9), \ddot{q}_5 = y(10) \quad (6.40)$$

Programul de calcul realizat este:

```
function dy=antoanela_1(t,y)

dy=zeros(10,1);
dy(1) = y(6);
dy(2) = y(7);
dy(3) = y(8);
dy(4) = y(9);
dy(5) = y(10);
dy(6) = -23.78*cos(y(1))-7.22*cos(y(4))-0.62*cos(y(5));
dy(7) = 0.06*y(7)*y(10)*sin(2*(y(5)))+0.54*y(7)*y(9)*sin(2*(y(4)))-
21.60*cos(y(1))*cos(y(2))-71.83*cos(y(2))*cos(y(4))-
0.62*cos(y(2))*cos(y(5));
dy(8) = -8.46*y(8)*y(10)*sin(2*(y(5)))-75.38*y(8)*y(9)*sin(2*(y(4)));
dy(9) = 2.09*y(8)*y(8)*sin(2*(y(4)))-2.09*y(7)*y(7)*sin(2*(y(4)))-
55.25*cos(y(4))-4.78*cos(y(5));
dy(10) = 8.33*y(8)*y(8)*sin(2*(y(5)))-8.33*y(7)*y(7)*sin(2*(y(5)))-
186.66*cos(y(5));
```

Integrarea sistemului s-a realizat prin secvența de linii:

```
>> tspan=[0 0.4];
y0=[-1.57 0 -3.14 0 -1.57 0 0 -5 0 10];
[t,ySol]=ode45('antoanela_1',tspan, y0);
ySol(:,1:10)
plot(t, ySol(:,1:10))
legend('y_1','y_2', 'y_3','y_4','y_5','y_6','y_7', 'y_8','y_9','y_10')
```

Valorile numerice ale variabilelor articulare și vitezelor articulare sunt prezentate tabelar în **Anexa 1**, iar reprezentarea grafică a legilor de mișcare și vitezelor corespunzătoare acestor rezultate este prezentată în figura 6.10.

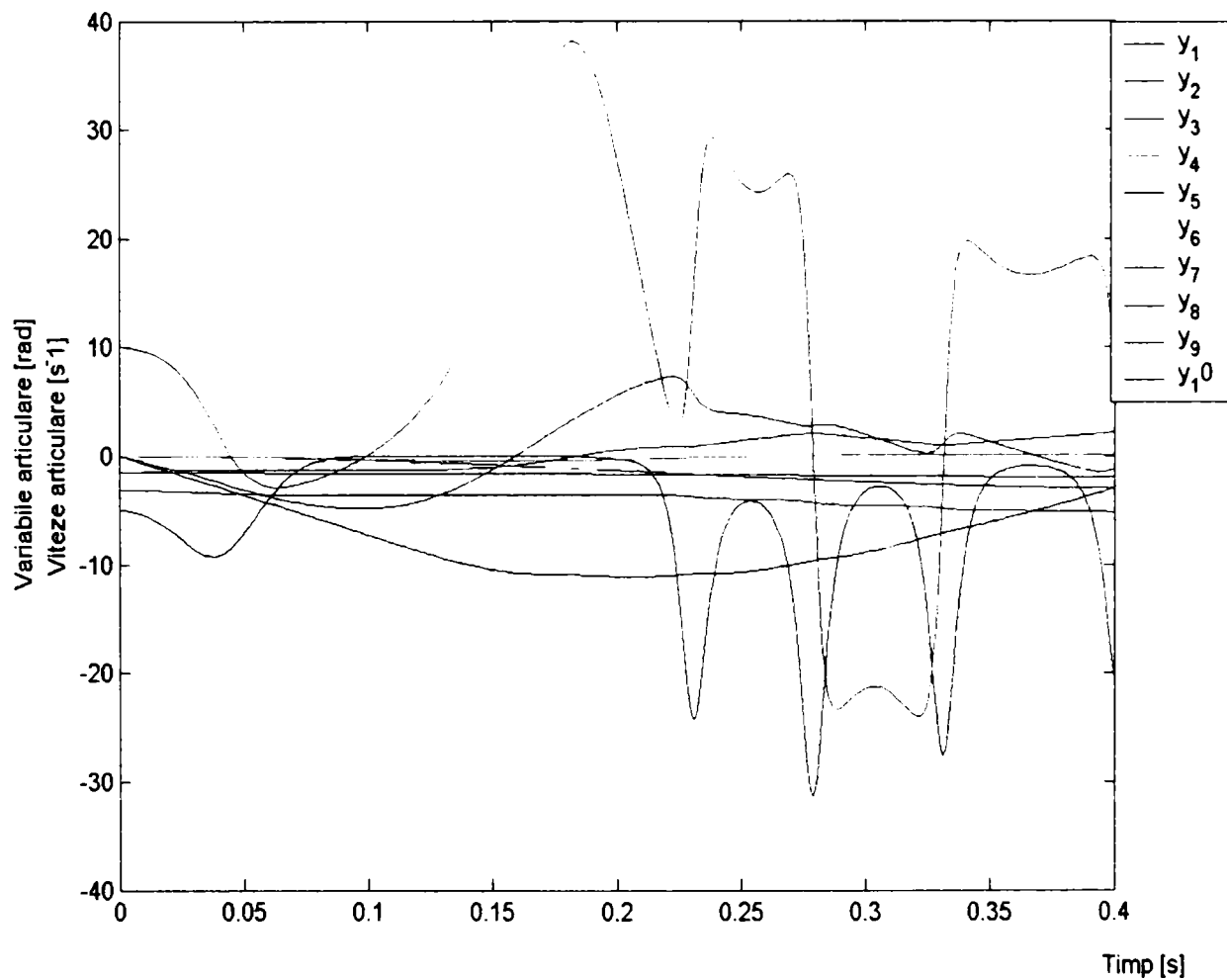


Fig. 6.10. Reprezentarea grafică a legilor de mișcare și vitezelor, $t \in [0, 0.4]$

Întrucât rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale este numerică, prelucrarea statistică a datelor reprezentate în figura 6.10 este deosebit de importantă mai ales în ceea ce privește variația variabilelor articulare q_i notate cu y_i în programul MatLab. Principalii estimatori statistici sunt prezentați în figura 6.11 din care rezultă: valorile medii în intervalul temporal considerat, abaterile medii pătratice, valorile mediane și intervalul global de variație indicat și ca atare și prin valorile extreme respective.

Statistics for	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
Check to plot statistics on figure	figure	figure	figure	figure	figure	
	X	Y	Y	Y	Y	
min	0 <input type="checkbox"/>	-1.986 <input type="checkbox"/>	-3 <input type="checkbox"/>	-5.234 <input type="checkbox"/>	-0.4752 <input type="checkbox"/>	-1.57 <input type="checkbox"/>
max	0.4 <input type="checkbox"/>	-1.57 <input type="checkbox"/>	0 <input type="checkbox"/>	-3.14 <input type="checkbox"/>	0.1515 <input type="checkbox"/>	2.15 <input type="checkbox"/>
mean	0.1991 <input type="checkbox"/>	-1.729 <input type="checkbox"/>	-1.406 <input type="checkbox"/>	-3.989 <input type="checkbox"/>	-0.119 <input type="checkbox"/>	0.1802 <input type="checkbox"/>
median	0.2023 <input type="checkbox"/>	-1.706 <input type="checkbox"/>	-1.381 <input type="checkbox"/>	-3.604 <input type="checkbox"/>	-0.06063 <input type="checkbox"/>	0.574 <input type="checkbox"/>
std	0.1172 <input type="checkbox"/>	0.1284 <input type="checkbox"/>	1.024 <input type="checkbox"/>	0.6269 <input type="checkbox"/>	0.2075 <input type="checkbox"/>	1.355 <input type="checkbox"/>
range	0.4	0.4156	3	2.094	0.6267	3.72

Fig. 6.11. Estimatori statistici pentru variația variabilelor articulare q_i , $t \in [0,0.4]$

Pentru ca rezultatele modelării dinamice să poată fi utilizate și pentru realizarea unor proteze de membru superior, pe baza soluțiilor obținute prin integrarea ecuațiilor diferențiale s-a realizat și aproximarea funcțiilor $y_i = f(t)$ prin metoda polinoamelor ortogonale. După obținerea acestora se poate aplica metoda inversă în ecuațiile diferențiale ale mișcării (6.34 – 6.38) în vederea calculării forțelor generalizate ce pot fi concretizate prin utilizarea unor motoare de acționare ale cuplelor ce urmează să dezvolte momente active în conformitate cu ceea ce rezultă din ecuațiile menționate.

Astfel, tot în MatLab s-au obținut funcțiile polinomiale ce aproximează legile de mișcare, urmărindu-se ca gradul polinomului de aproximare să fie corespunzător unor abateri cât mai reduse. Se observă din figurile 6.12 – 6.16 că nu pentru toate variabilele articulare s-a putut obține o funcție polinomială ce asigură o aproximare suficient de bună.

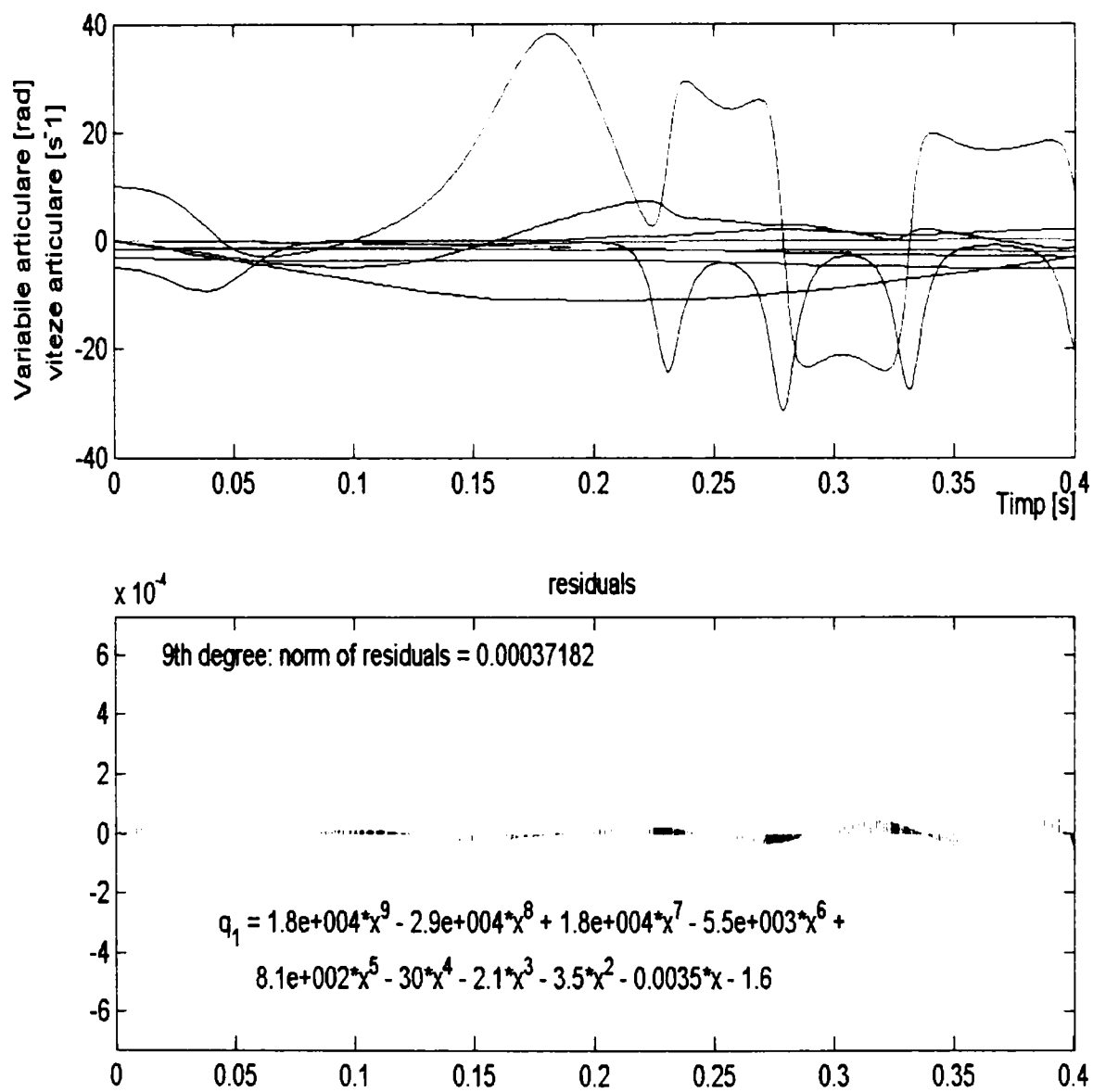


Fig. 6.12. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_1

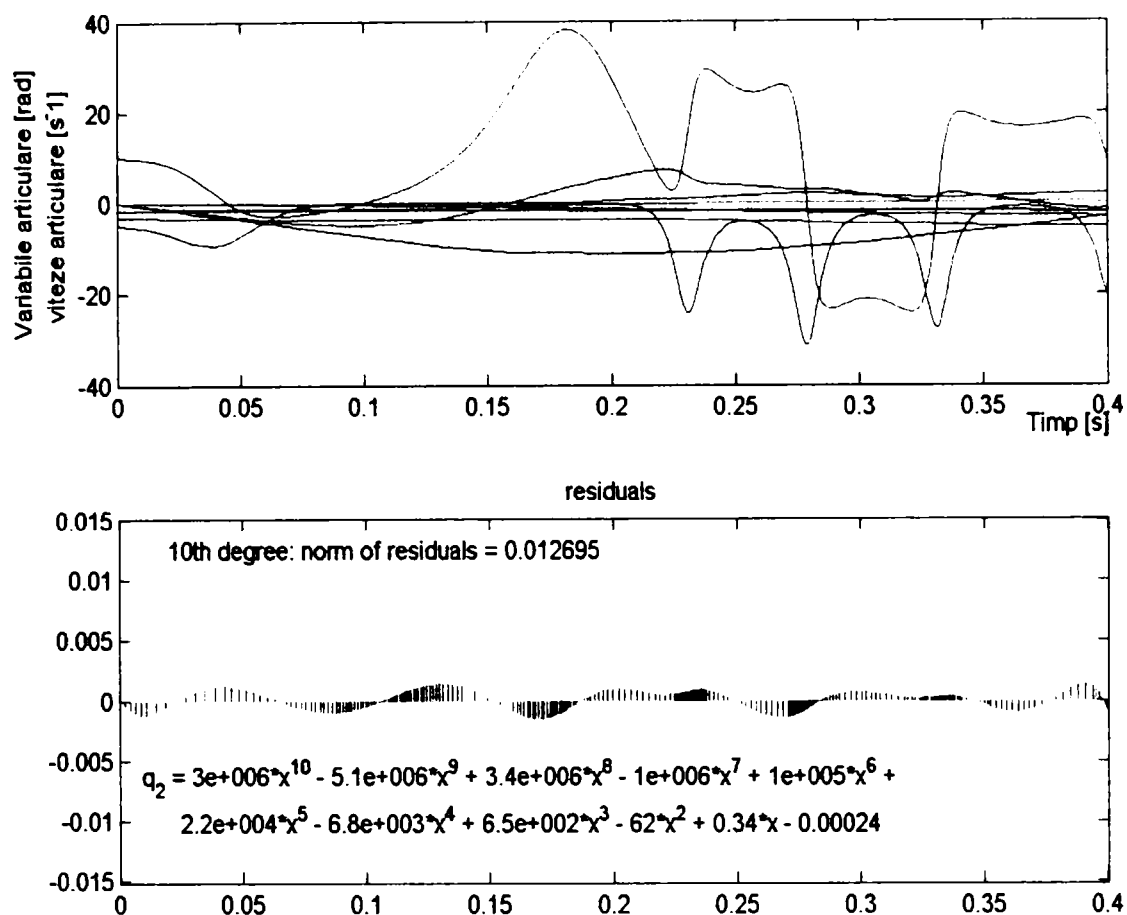


Fig. 6.13. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_2

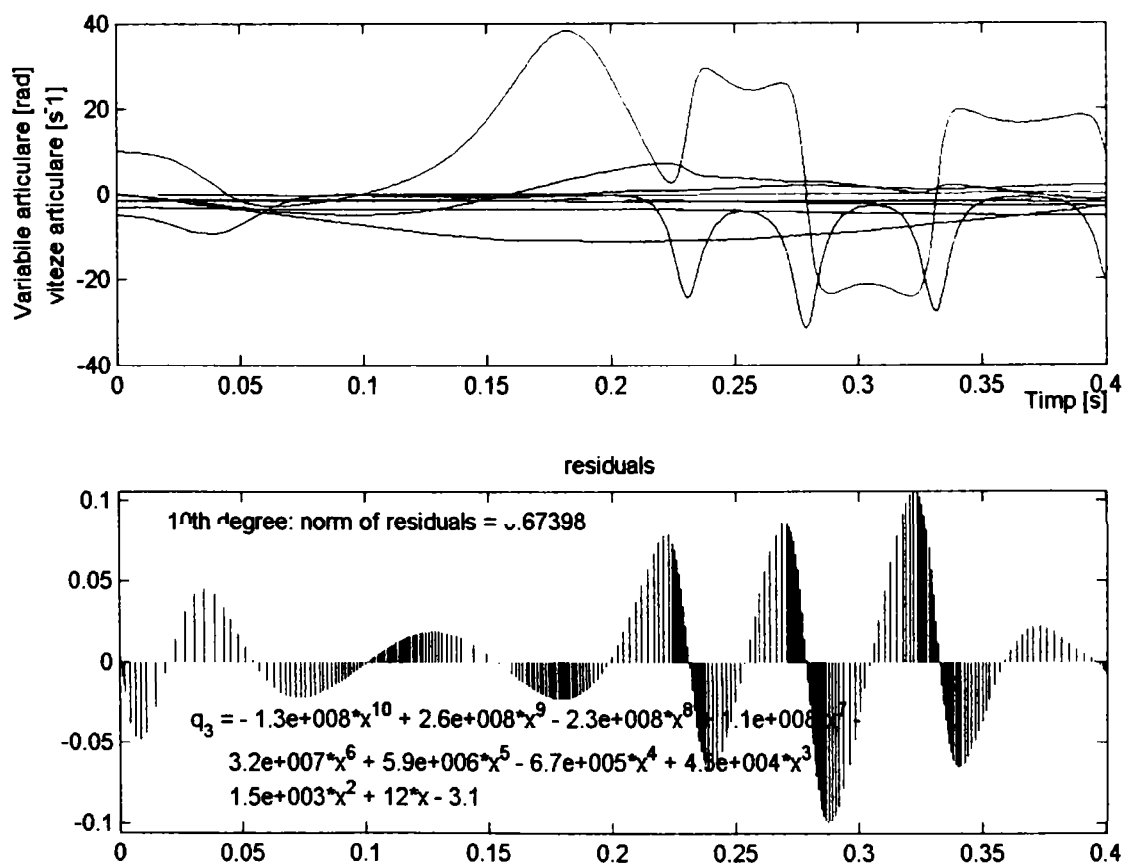


Fig. 6.14. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_3

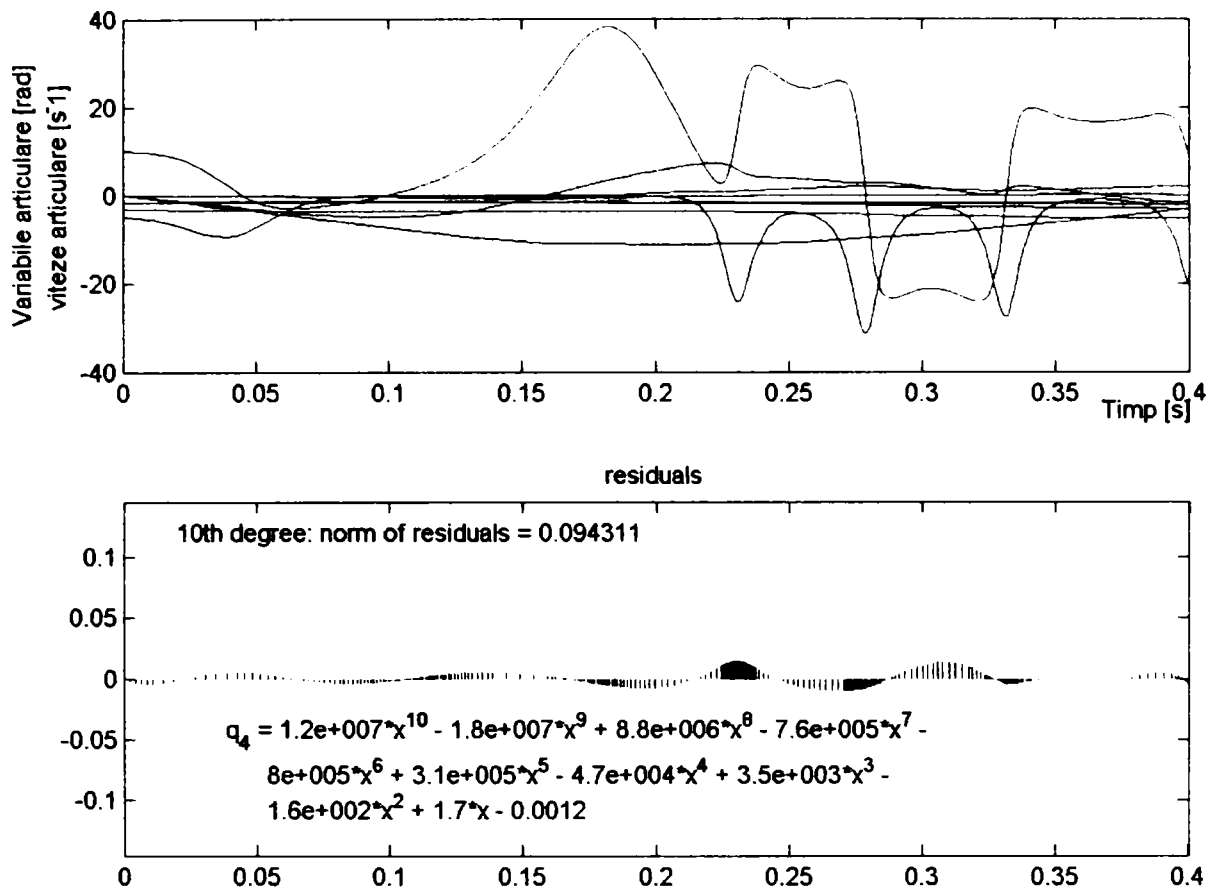


Fig. 6.15. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_4

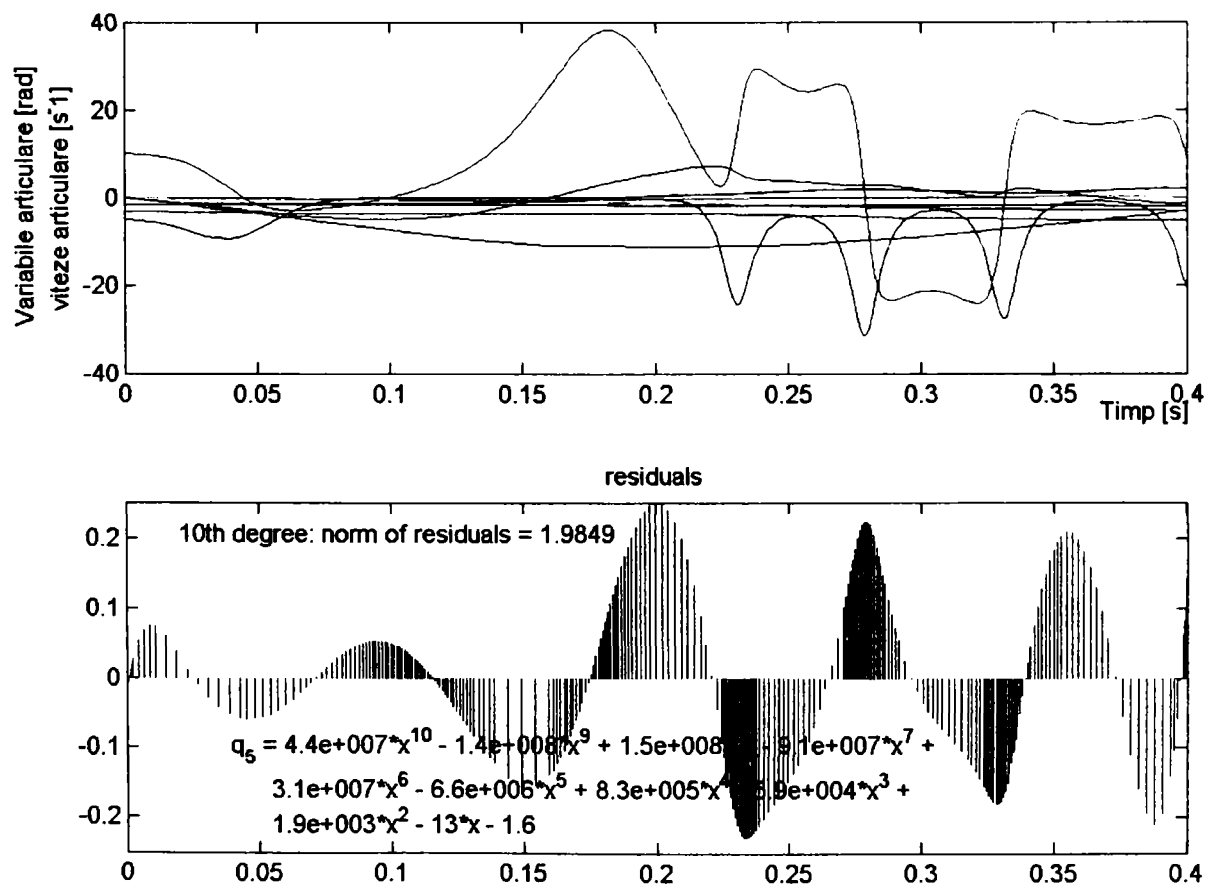


Fig. 6.16. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_5

Pentru evidențierea legilor de variație ale variabilelor articulare s-a realizat programul pentru reprezentarea acestora fără vitezele articulare (figura 6.17). S-a considerat cazul cu toate condițiile inițiale nule:

```
>> tspan=[0 0.4];
y0=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
[t,ySol]=ode45('antoanela_1',tspan, y0);
ySol(:,1:10)
plot(t, ySol(:,1:5))
legend('y_1','y_2', 'y_3','y_4','y_5')
```

Rezultatele obținute prin această integrare sunt prezentate în **Anexa 2**.

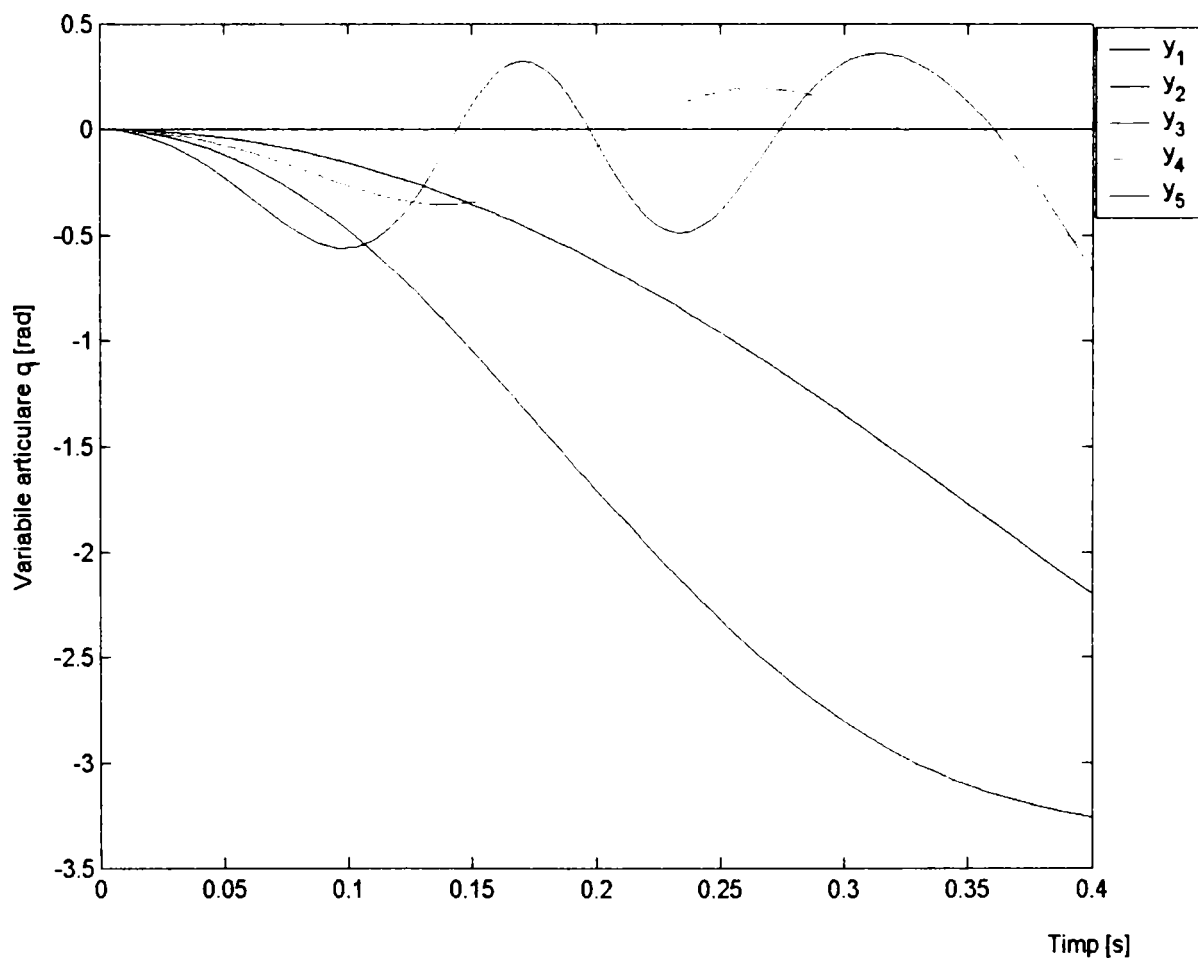


Fig. 6.17. Reprezentarea grafică a legilor de mișcare pentru condiții inițiale nule, $t \in [0,0.4]$

Modificând condițiile inițiale și intervalul de timp s-au obținut curbele din figura 6.18 ce corespund datelor numerice din **Anexa 3**.

```

>> tspan=[0 1];
y0=[-0.785 -0.785 1.57 -0 -0.785 0 0 0 0 0];
[t,ySol]=ode45('antoanela_1',tspan, y0);
ySol(:,1:10)
plot(t, ySol(:,1:5))
legend('y_1', 'y_2', 'y_3', 'y_4', 'y_5')

```

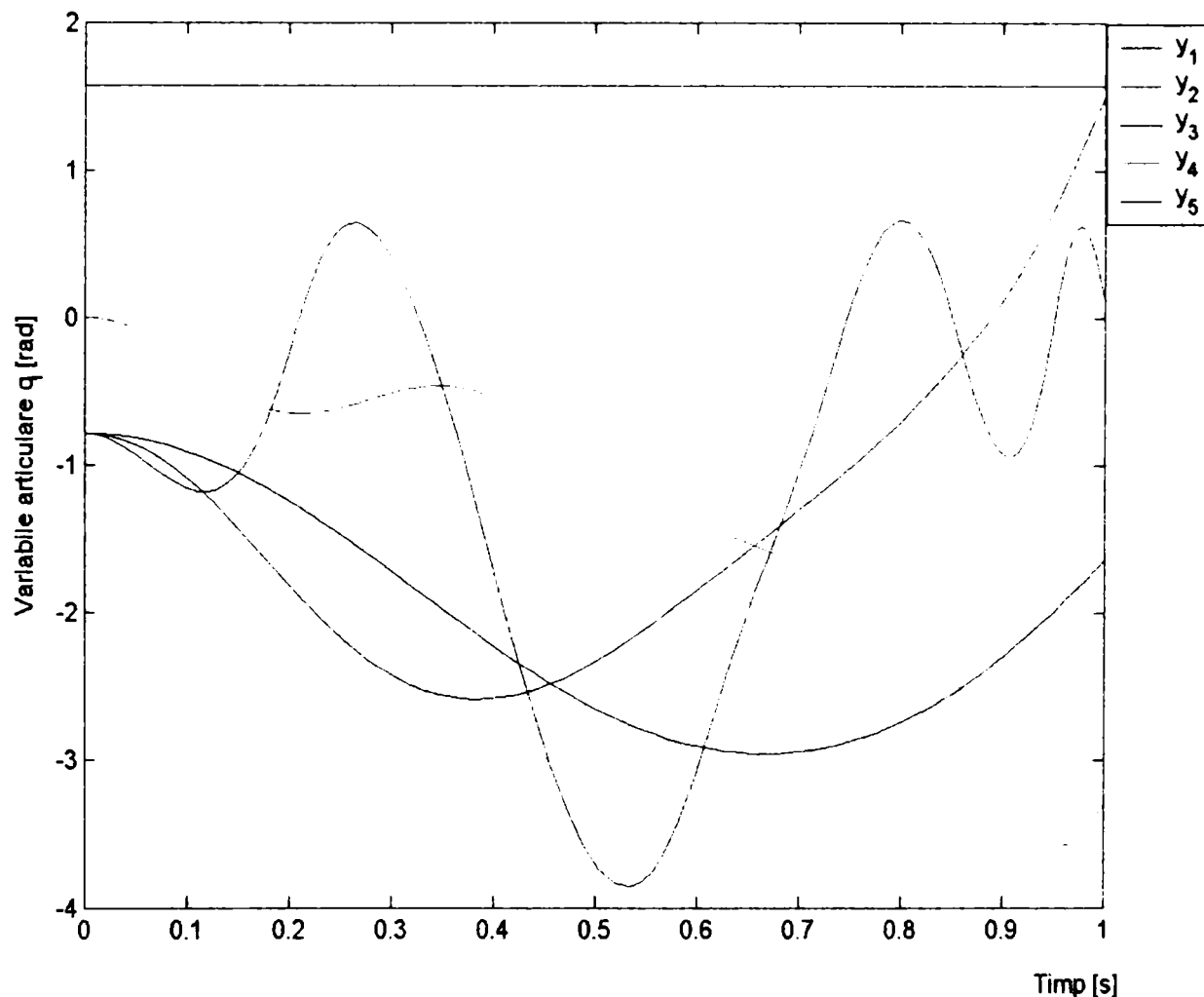


Fig. 6.18. Reprezentarea grafică a legilor de mișcare, $t \in [0,1]$

S-a realizat și pentru aceste legi de mișcare aproximarea analitică prin funcții poligonale, rezultatele fiind ilustrate pentru variabila articulară q_1 (figura 6.19). În același mod se pot reprezenta toate variabilele articulare, fiindu-le astfel asigurată o reprezentare ce permite multiple utilizări ulterioare.

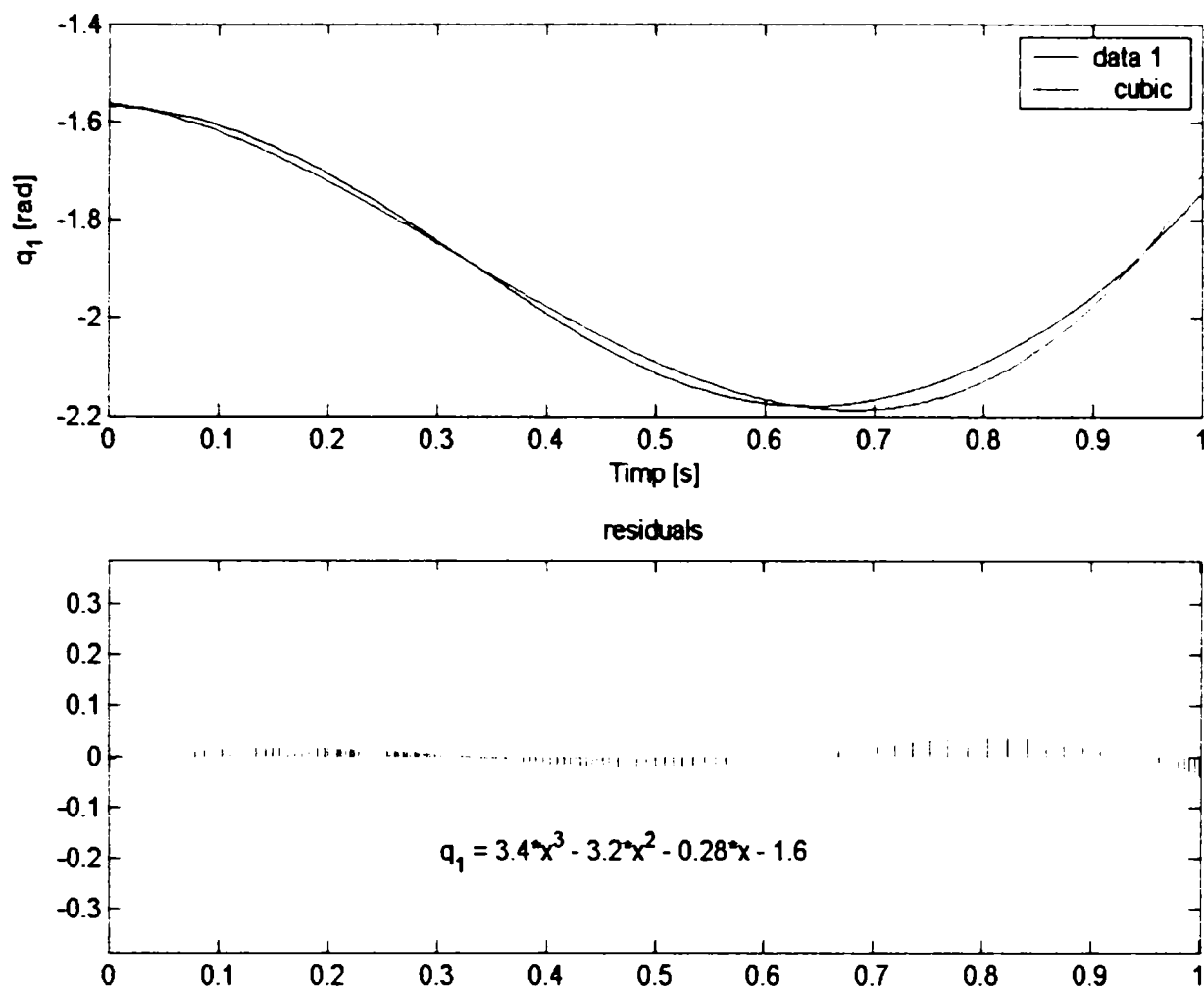


Fig. 6.19. Funcția polinomială pentru variabila articulară q_1

În același mod se poate studia și modelul complet și se pot obține toate legile de mișcare și vitezele din articulații prin integrare numerică a ecuațiilor diferențiale rezultate din ecuațiile lui Lagrange de speța a II-a.

CAPITOLUL VII. BAZE DE DATE PRIVIND DEFICIENȚELE MOTORII ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

Pentru întocmirea bazei de date sunt necesare atât cunoștințe despre structura mecanică a membrului superior uman cât și asupra tipurilor posibile de fracturi.

7.1. Fracturile membrului superior

Fractura (lat. *fractus* = rupt) reprezintă o întrerupere bruscă și violentă a continuității osului sau a cartilajului [16]. Severitatea injuriilor este influențată de violența impactului și are consecințe complexe care pot duce la traumatisme grave. Când un os este rupt, fiecare țesut din jurul fracturii este afectat. Pe lângă fractura osului, vizibilă la radiografie, apar despicări ale nervilor, zdrobiri ale mușchilor, rupturi ale vaselor sanguine, rupturi de ligamente etc. Acest capitol face referire doar la fracturi, nu și la alte traumatisme, deoarece studiul acestora este strict legat de comportarea mecanică a scheletului uman, față de alte traumatisme (osteoporoză, tumori etc.) apărute în urma unor procese de natură biochimică.

Fracturile pot fi clasificate în numeroase moduri [16], [23], [102] [109], dar cea mai simplă și mai practică este clasificarea clasică în **simple** sau **compuse**. **Fracturile simple** sunt cele în care pielea rămâne intactă. În prezent acești termeni au fost înlocuiți de termenii fractură **închisă** și fractură **deschisă**. **Fracturile compuse** sunt cele în care apar distrugerii ale țesuturilor și răni deschise și care în general necesită intervenții chirurgicale. Totuși termenul de compus se mai utilizează în fracturile în care un fragment de os penetrează pielea, dar nu produce alte traumatisme grave. În figura 7.1. sunt reprezentate aceste tipuri de fracturi [16], [23], [102].

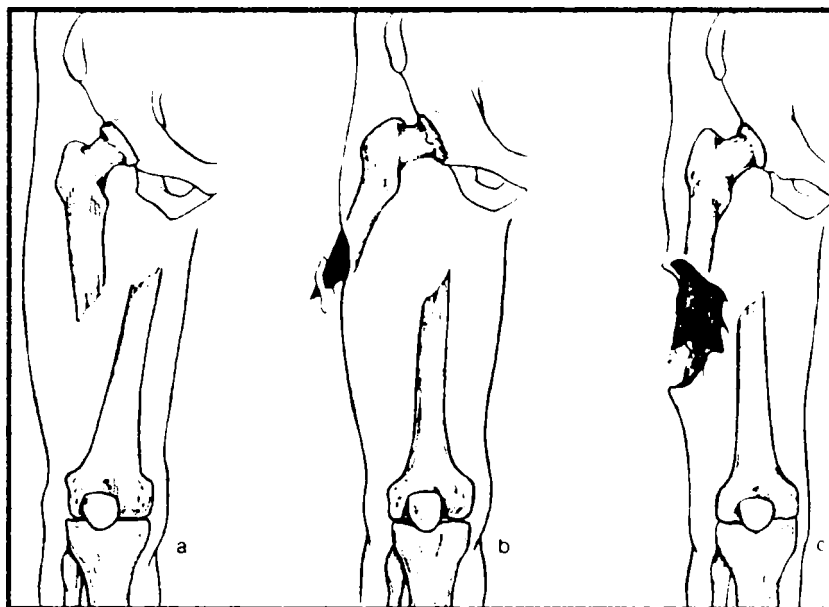


Fig. 7.1. Fracturi închise și fracturi deschise

a) fractură închisă, b) fractură compusă, c) fractură deschisă cu contaminare

În funcție de traiectul fracturii acestea pot fi (figura 7.2):

✓ **Fracturile transversale** ce apar ca rezultat al unei lovituri sau a unei forțe aplicate direct asupra osului. În acest caz există un singur traiect, cu aspect dințat sau două traiecte oblice rezultând al treilea fragment „de flexie” sau „aripă de fluture”.

✓ **Fracturi oblice și spiroide** care sunt cauzate de o mișcare violentă de torsiune de-a lungul axei longitudinale a osului. În multe cazuri fracturile spiroide pot fi confundate pe radiografii cu cele oblice. Fracturile oblice pot fi scurte sau lungi, iar cele spiroide pot avea un singur traiect sau două traiecte, caz în care apare al treilea fragment numit „de torsiune”.

✓ **Fracturile cominutive** sunt cele în care osul este fragmentat în mai multe bucăți neexistând contact interfragmentar, caz în care reconstrucția anatomică este dificilă, practic imposibilă.

✓ **Fracturi prin zdrobire** sunt cele la care fragmentele osoase nu mai pot fi repuse în poziția lor inițială. Aceste fracturi apar mai ales în zona lombară a coloanei vertebrale și calcaneu.

✓ **Fracturile „lemn verde” (Greenstick)** sunt cele la care pe o parte a osului are loc o ruptură, iar pe cealaltă parte o încovoiere (deformare) a osului.

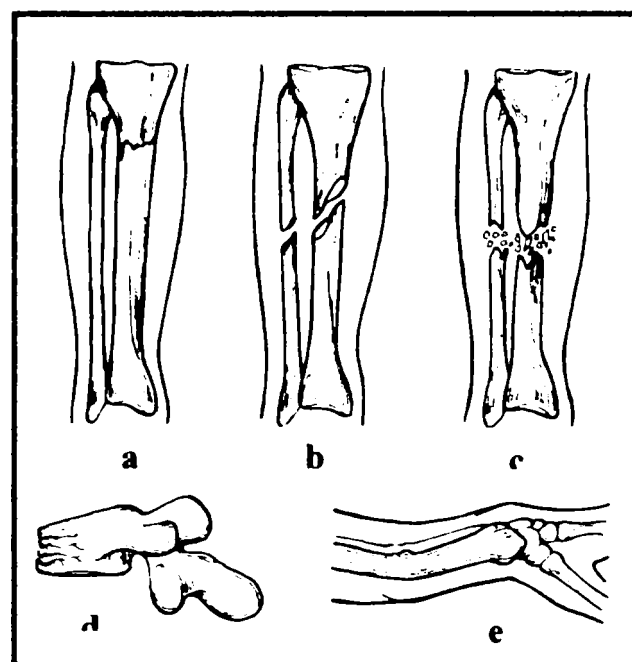


Fig. 7.2. Tipuri de fracturi, clasificate după traiect

a) transversală, b) spiroidă, c) cominutivă, d) prin zdrobire, e) Greenstick

În funcție de mecanismul cauzator, fracturile pot fi (figura 7.3):

- ✓ **Fracturi cauzate prin violență directă;**
- ✓ **Fracturi cauzate prin violență indirectă**, de obicei printr-o forță de torsiune;
- ✓ **Fracturi patologice** care apar la oasele care au deja anumite probleme patologice cum ar fi: tumori, chisturi, osteoporoză etc.
- ✓ **Fracturi datorate obosealii osoase** provocate de presiuni (traume) repetate asupra aceluiași os. Aceste fracturi apar în special la atleți.

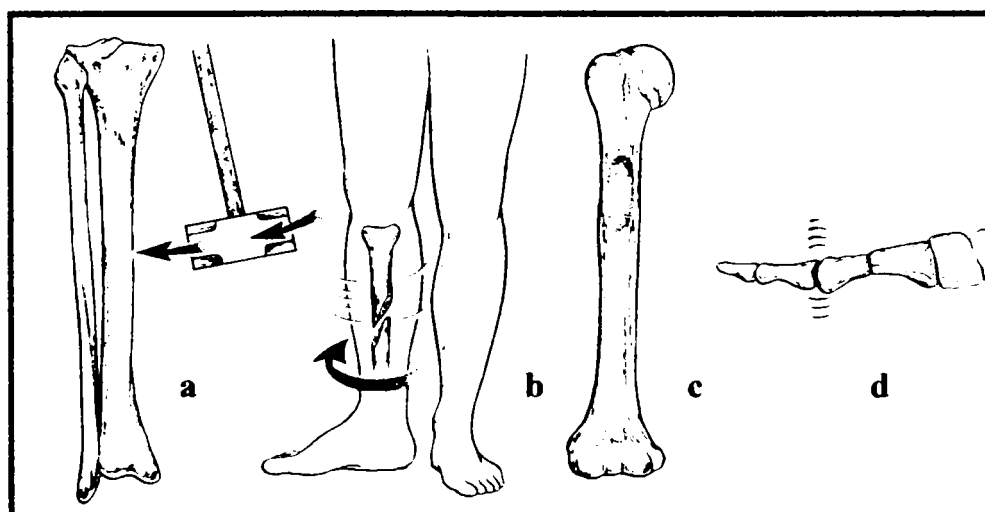


Fig. 7.3. Mecanisme de producere a fracturilor

a) violență directă, b) violență indirectă, c) patologică, d) de oboseală

O clasificare complexă (figurile 7.4 și 7.5) consideră existența unor:

- ✓ **Fracturi fără deplasare** prin care fragmentele osoase sunt aproape în poziția lor anatomică.
- ✓ **Fracturi de impact** care apar când un os este supus la forțe mari de compresiune de-a lungul axului longitudinal, când cele două capete ale osului sunt împinse unul spre celălalt. În acest caz fractura este stabilă până când dispare forța de compresiune și fragmentele osoase sunt dispersate. Pe radiografie, o astfel de fractură se identifică prin creșterea densității osoase în porțiunea respectivă.
- ✓ **Fracturi fragmentate (segmentate)** sunt cele în care un os lung se rupe în două locuri creând un segment mare al osului care nu este atașat de restul osului. Acest segment liber este greu de prins prin fixare internă.
- ✓ **Fracturi stabile** sunt cele în care oasele se află într-o poziție în care nu se pot mișca.
- ✓ **Fracturi cu complicații** sunt cele la care apar complicații cum ar fi: infecții sau ruperi de vase sanguine. Termenul „complicat” este rareori utilizat, dar trebuie diferențiat de termenii „compus” și „cominutiv”.
- ✓ **Fracturile multiple** reprezintă câteva fracturi distincte care apar la același pacient. Ele nu trebuie confundate cu fracturile cominutive sau compuse.

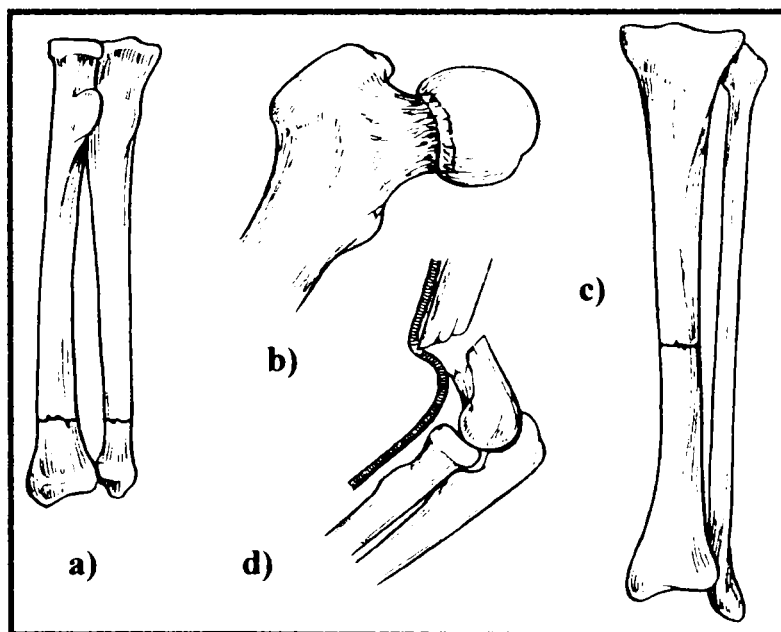


Fig. 7.4. Tipuri de fracturi

a) fără deplasare, b) de impact, c) fragmentate, d) stabile, e) multiple

- ✓ **Decolările epifizare** a unui os la copil pot cauza deformări ulterioare dacă se formează un corp osos în zona fracturii și care stopează creșterea osului la unul din capete. Decolările epifizale la copil sunt clasificate de Harris și Salter astfel:

Tip I: Fractură de-a lungul liniei epifizale (decolare pură);

Tip II: Fractură – decolare cu cioc diafizar;

Tip III: Fractură – decolare cu cioc epifizat;

Tip IV: Fractură – decolare marginală (metafizo-epifizară);

Tip V: Compresiune cartilaginoasă.

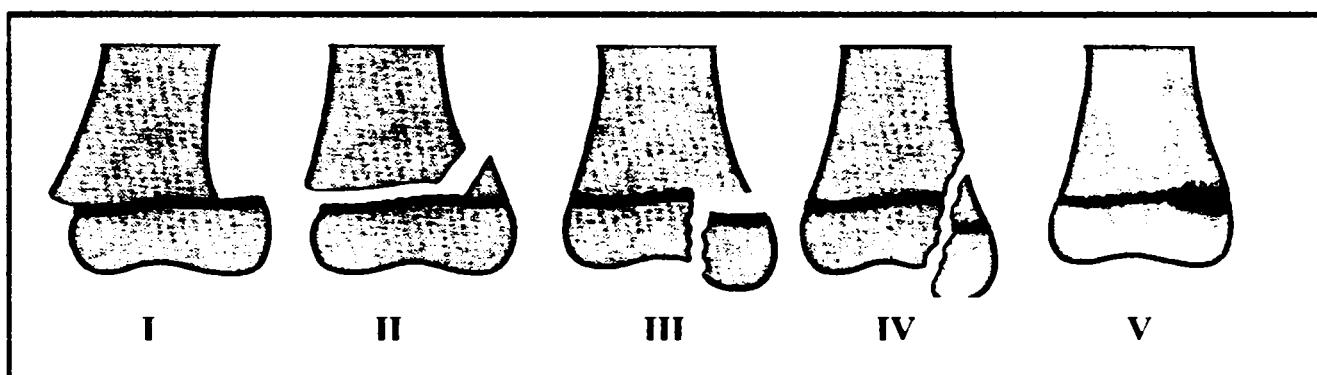


Fig. 7.5. Clasificarea Harris și Salter

Ținând seama de poziționarea fracturilor în lanțul cinematic al membrului superior se pot menționa:

◆ **Fracturile centurii scapulare** pot fi clasificate în fracturi ale claviculei, fracturi ale scapulei și dislocări ale umărului [16], [63], [67], [102].

➤ **Fracturile de claviculă** sunt cele mai comune dintre fracturi și includ [16], [53], [63], [67], [82], [102]:

1. Fractura părții de mijloc a claviculei (tip I);
2. Fractura capătului distal (tip II);
3. Fractura capătului medial (tip III).

Fractura părții de mijloc a claviculei.

Acest tip de fractură a claviculei este cel mai comun (80% din cazuri), atât la copii, cât și la adulți. În mod obișnuit clavicula se fracturează în această zonă ca urmare a unei căderi violente pe umăr sau pe mână. Aceasta se datorează faptului că clavicula este prinsă medial de

stern și de acromion și coracoid lateral prin ligamente care sunt mai rezistente decât oasele. Clavicula se comportă ca un suport care să țină umărul și brațul depărtate de corp, ca o consolă (figura 7.6). În acest caz există tendința de deplasare în sus a fragmentului medial produsă de mușchiul sternocleidomastoidian și tendința de deplasare a fragmentului lateral în jos datorită greutății brațului.

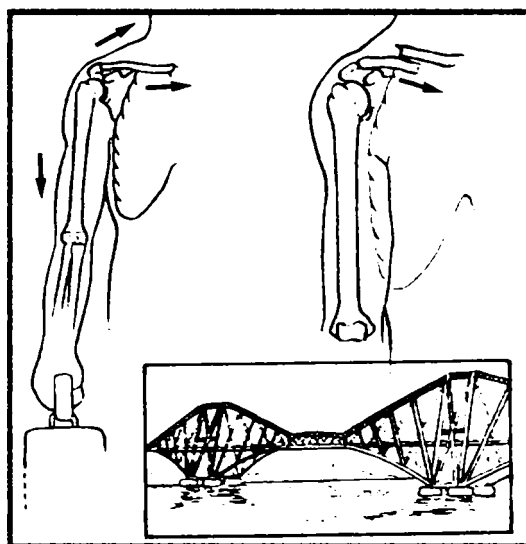


Fig. 7.6. Poziția claviculei

La acest tip de fractură pot să apară complicații ca: fixarea defectuoasă a fragmentelor osoase, distrugerea vaselor sanguine, nefixarea fragmentelor osoase, apariția unor deformări ale claviculei (figura 7.7).

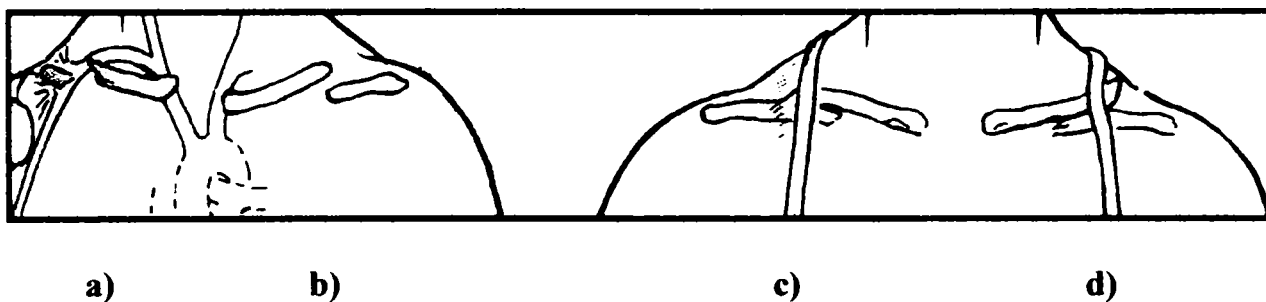


Fig. 7.7. Complicații la fractura de claviculă

- a) distrugerea vaselor sanguine, b) nefixarea fragmentelor,
c) fixarea defectuoasă, d) suprapunerea fragmentelor

O fractură de tipul I este reprezentată în figura 7.8.



Fig. 7.8. Fractură a părții de mijloc a claviculei

Ca tratament, în general se utilizează un bandaj, numai în cazuri foarte rare fiind necesară fixarea internă. În toate cazurile este acceptată o scurtare a claviculei mai mică de 1,5 cm.

Fractura capătului distal al claviculei

Acest tip de fractură a claviculei este răspândit în proporție de 15% din cazuri. Ele pot fi fără deplasare, când traiectul fracturii este prin ligamentele coracoclaviculare, sau cu deplasare, când traiectul este în afara acestor ligamente, apărând deformarea în „treaptă de scară”. În figura 7.9 este reprezentată o astfel de fractură.



Fig. 7.9. Fractura capătului distal al claviculei

În acest caz, există posibilitatea de unire defectuoasă a fragmentelor, uneori fiind necesară intervenția chirurgicală.

În cazul fracturilor fără deplasare non-articulare, tratamentul constă în imobilizarea cu bandaj și analgezice. Există numeroase cazuri în care fracturile capătului distal al claviculei

nu se fixează, dar numai un număr foarte mic sunt suficient de grave încât să fie necesară intervenția chirurgicală. Un exemplu de fixare a unei astfel de fracturi este prezentat în figura 7.10.

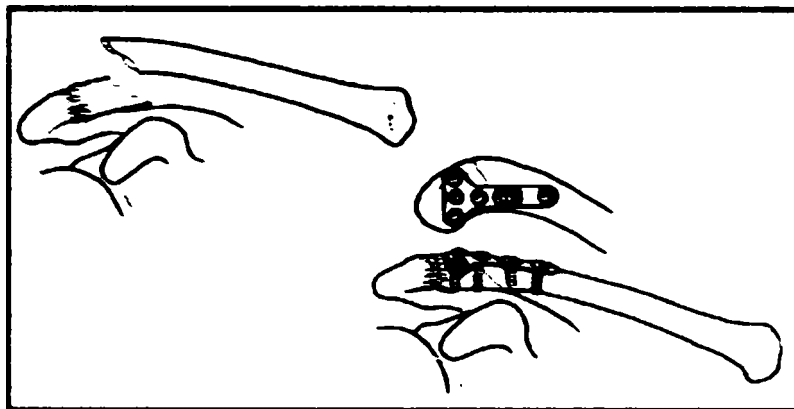


Fig. 7.10. Fixarea fracturii capătului distal al claviculei

Fractura capătului medial al claviculei

Acest tip de fractură a claviculei este foarte rar apărând doar în proporție de 5% din cazuri. Deplasările sunt variabile în funcție de poziția față de mușchiul sternocleidomastoidian.

Ruperea articulațiilor acromioclaviculare și sternoclaviculare

De multe ori, odată cu fracturarea claviculei au loc și ruperi ale articulațiilor.

Articulația acromioclaviculară leagă capătul claviculei de acromion. Ruperea ei este de cele mai multe ori o dislocare (figura 7.11), câteodată un fragment al claviculei rămânând atașat de acromion.

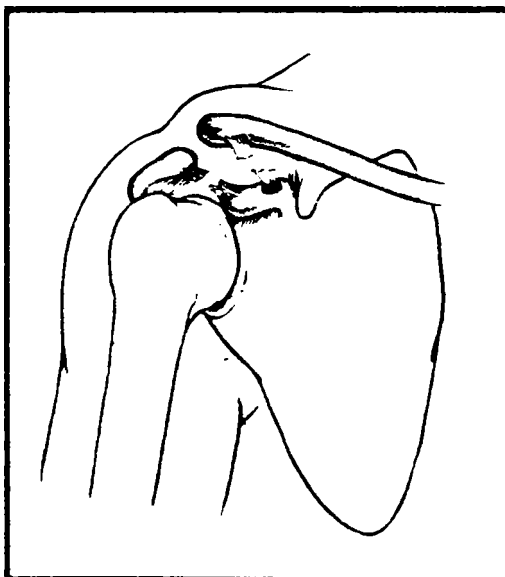


Fig. 7.11. Ruperea articulației acromioclaviculare

Tratamentul se administrează în funcție de gradul de rupere:

- I. Luxație fără deplasare: administrare de analgezice;
- II. Subluxație: administrare de analgezice și dacă este cazul, aplicarea unui bandaj pentru a susține cotul;
- III. Dislocare (separare totală): fixare internă;
- IV. Dislocare cu perforarea fasciei deltotrapezoidale: reducere deschisă cu fixare internă;
- V. Dislocare cu perforarea fasciei deltotrapezoidale și dislocare posterioară: reducere deschisă cu fixare internă;
- VI. Dislocare subcoracoidă: reducere deschisă cu fixare internă.

Ruperea articulației sternoclaviculare apare atunci când capătul exterior al claviculei se deplasează în sus, iar cel medial în jos, ca urmare a unei fracturi.

➤ **Fracturile scapulei** au o frecvență foarte redusă, aproximativ de 1%. Ele pot fi clasificate în trei categorii [16], [53], [63], [67], [82], [102]:

1. Fracturi ale corpului scapulei;
2. Fracturile ale apofizelor, incluzând acromionul și procesul coracoid;
3. Fracturi ale unghiurilor.

Posibilele fracturi ale scapulei sunt reprezentate în figura 7.12 .

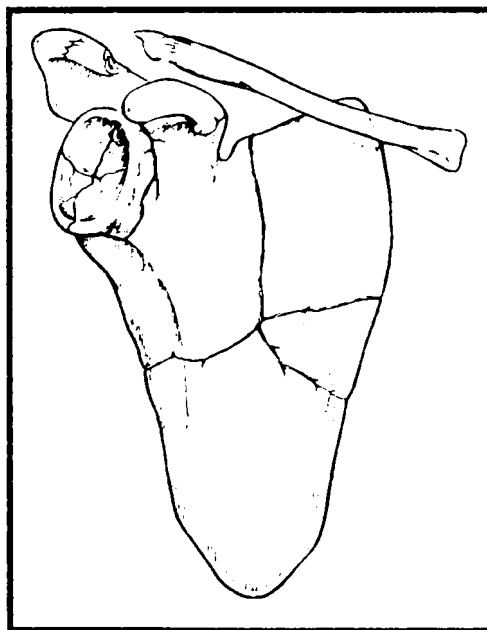


Fig. 7.12. Traiecte ale fracturilor scapulei

Fracturile corpului scapulei

Aceste fracturi au un traiect orizontal sau vertical și pot fi cu sau fără deplasare. Rareori pot apare complicații cum ar fi pseudatroză și calus vicios. Ca tratament se recomandă imobilizarea cu aparat Desault.

Fracturile apofizare

Aceste fracturi sunt rare și sunt determinate prin șoc direct sau contactii musculare.

Fractura acromionului poate să apară de exemplu prin abducția violentă a umărului. În cazul în care nu apare separarea este mică și ligamentul coracoclavicular este intact, nu este necesar tratamentul. Pentru celelalte cazuri se face imobilizarea cu aparat Desault și foarte rar se intervine chirurgical. Fractura de coracoid se caracterizează prin dureri, mobilitate anormală și crepitații osoase.

Fracturile unghiurilor

Aceste fracturi se împart în două categorii: fracturi de unghi intern care sunt foarte rare și fracturi de unghi extern. Ele pot fi fracturi de col anatomic care este o fractură interarticulară existând posibilitatea asocierii cu fracturile glenei și fracturi de col chirurgical care pot fi cu deplasare sau fără deplasare.

Tratamentul acestor fracturi constă în imobilizarea în aparat Desault, iar în cazul fracturilor cu deplasare care pot duce la complicații, reducerea deplasării și imobilizarea în aparat gipsat toraco-brahial.

În figura 7.13. este reprezentată fractura capătului lateral al claviculei.



Fig. 7.13. Fractura capătului lateral al claviculei

- **Dislocările umărului** au loc deoarece umărul este instabil din punct de vedere mecanic datorită poziției oaselor și mușchilor. Ca urmare pot apărea dislocări ale umărului care sunt de mai multe tipuri: anterioară, posterioară, inferioară, ca urmare a fracturilor și multidirecțională [16], [63], [67], [102].

- ◆ **Fracturile humerusului** pot fi clasificate în trei mari categorii:

1. Fracturile extremității proximale;
2. Fracturile diafizei humerale;
3. Fracturile extremității distale.

- **Fracturile extremității proximale**

Aceste fracturi pot fi de mai multe tipuri: ale colului anatomic, ale tuberculului mare, ale tuberculului mic și ale colului chirurgical [16], [63], [53], [67], [82], [94], [102].

O altă clasificare a fracturilor extremității proximale a humerusului a fost făcută de Neer [25] pentru fracturile cu deplasare. Fracturile cu deplasare sunt acelea la care separarea fragmentelor este de minim 1 cm și unghiul de minim 45°. Toate celelalte fracturi sunt considerate fracturi cu deplasare minimă. Fracturile cu deplasare reprezintă 20% din fracturile extremității proximale ale humerusului. Conform acestei clasificări ele pot fi:

1. fracturi nefragmentate: cele cu deplasare minimă;
2. fracturi în urma cărora rezultă două fragmente: reprezintă 10% din fracturile cu deplasare și pot fi fracturi ale colului anatomic, colului chirurgical, tuberculului mare și tuberculului mic;
3. fracturi în urma cărora rezultă trei fragmente: fractură a colului chirurgical fără deplasare și deplasarea unuia dintre tuberculi;
4. fracturi în urma cărora rezultă patru fragmente: fracturi cu deplasare ale ambilor tuberculi care privează capul humeral de circulație adecvată și care duc la necroze vasculare.

Câteva dintre aceste tipuri de fracturi sunt reprezentate în figura 7.14:

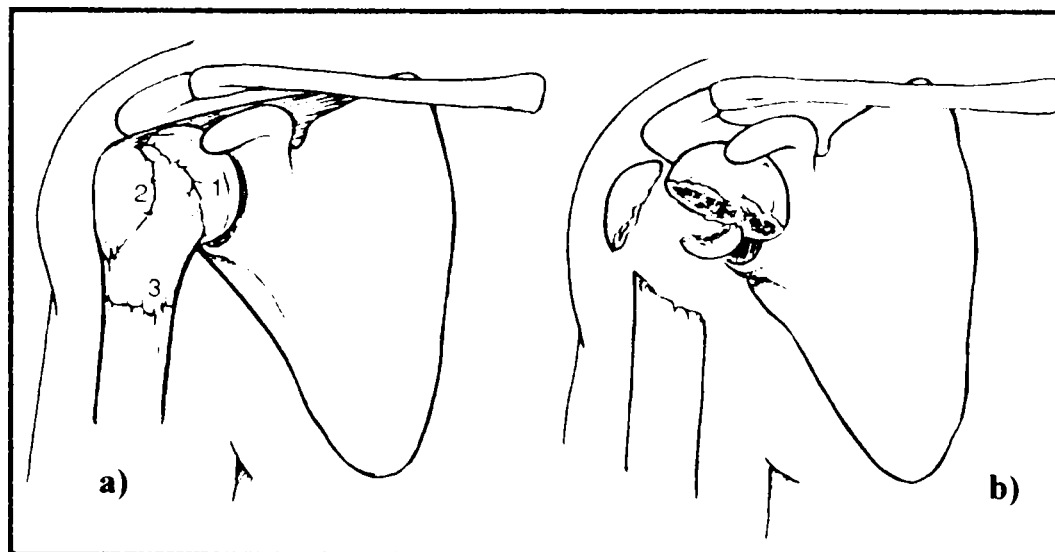


Fig. 7.14. Fracturi ale capului humeral

- a) Tipuri de fracturi: (1) col anatomic, (2) tuberozitatea mare, (3) col chirurgical,**
b) Fractură de 4 fragmente

Fracturile colului anatomic

Aceste tipuri de fracturi sunt destul de rare și ele pot fi: fără deplasare, cu deplasare inferioară, cu răsturnare (180°) și cu expulzare (fractură-luxație). Tratamentul ortopedic se face cu bandaj Desault sau eșarfă, timp de două săptămâni, iar cel chirurgical prin osteosinteză sau proteză Neer.

Fracturile tuberculului mare

Aceste fracturi sunt rare (2% din fracturile extremității proximale a humerusului) și se produc prin smulgere, determinată de contracția mușchilor rotatori (supraspinos, infraspinos, rotund mic). Ele pot fi asociate cu luxație scapulohumerală sau fractură de col chirurgical.

În cazul fracturilor fără deplasare, tratamentul constă, în imobilizarea cu aparat Desault, în cazul fracturilor cu deplasare mică, în imobilizarea în aparat gipsat toraco-brahial în abducție 90° , iar în cazul fracturilor cu deplasare mare, în reducerea sângerândă transacromială și fixare cu șuruburi (figura 7.15)

Fracturile tuberculului mic

Aceste fracturi sunt rare și se produc datorită contracției mușchiului subscapular (în mișcarea de rotație internă și abducție). Ele pot fi asociate cu luxație scapulohumerală posterioară. Tratamentul constă în imobilizarea cu aparat Desaut.



Fig. 7.15. Fixare cu 2 șuruburi a fracturii tuberculului mare

Fracturile colului chirurgical

Aceste fracturi sunt foarte frecvente. Din punct de vedere anatomo-patologic ele pot fi clasificate în:

A. Fracturi angrenate:

- a1. fracturi prin adducție (la tineri): unghiul cervicodiafizar este deschis intern și posterior,
- a2. fracturi prin abducție (la bătrâni): unghiul cervicodiafizar este deschis extern și posterior.

B. Fracturi cu deplasare mare: fragmentul distal este deplasat superior și medial spre zona subcoracoidiană, sub acțiunea mușchilor pectoral și deltoid. O astfel de fractură este prezentată în figura 7.16.



Fig. 7.16. Fractură a colului chirurgical humeral, cu deplasare

Fracturile cu deplasare sunt mai puțin frecvente, dar mult mai serioase datorită capetelor ascuțite ale oaselor care pot produce injurii ale vaselor sanguine sau ale nervilor. Aproape întotdeauna aceste fracturi se sudează deoarece sunt înconjurate de mușchi care duc la remodelarea umărului.

Fracturile colului chirurgical pot fi clasificate și ca **stabile** sau **instabile**.

În cazul fracturilor fără deplasare, tratamentul constă în imobilizare în bandaj Desault, iar în cazul celor angrenate imobilizarea se face cu bandaj Desault și o pelotă axilară, când mecanismul este de abducție și cu cotul în abducție, când mecanismul este de adducție.

În cazul fracturilor cu deplasare tratamentul ortopedic constă în reducere ortopedică, iar cel chirurgical în osteosinteză cu șuruburi, placă T sau L, agrafe, broșe, tije Rush sau prin rezecție de cap humeral și artoplastie cu proteză cefalică Neer.

Fractura-luxație a capului humeral

Fracturile capului humeral sunt de obicei însoțite de dislocări (figura 7.17). În cazul acestor fracturi-luxații apar mai multe probleme: fragmentele pot să obstrucționeze reducerea luxației făcând necesară reducerea deschisă, reducerea este foarte instabilă, distrugerea țesuturilor și hemoragia în interiorul și exteriorul umărului pot duce la rigiditatea articulațiilor, pot apare necroze vasculare etc.



Fig. 7.17. Fractură a capului humeral cu dislocarea umărului

Ca tratament, reducerea închisă este foarte dificilă. Reducerea deschisă este posibilă în cazul pacienților tineri, dar în cazul bătrânilor este de preferat a se renunța la unele funcții ale mișcării. Fracturile grave de acest tip necesită fie reducere sângerândă cu osteosinteză cu șuruburi sau agrafe, fie rezecția capului humeral și endoproteză Neer.

➤ Fracturile diafizei humerale

Fracturile diafizei humerale pot fi clasificate după mai multe criterii cum ar fi: locație, traiect, dacă este cominutivă sau nu, dacă produce distrugerii ale țesuturilor etc. Aceste tipuri de fracturi sunt mai frecvente la adulți, în treimea media a diafizei humerale [16], [53], [63], [67], [82], [102].

Din punct de vedere al mecanismului care produce fractura, acesta poate fi **direct**, care produce fracturi cominutive, deschise și **indirect** (mai frecvent), prin căderi sau torsiune. Din punct de vedere al traiectului, acesta poate fi **transversal** sau **oblic scurt**, întâlnite mai des în treimea superioară a diafizei și **oblic lung** sau **spiroid** întâlnite mai des în jumătatea inferioară a diafizei. Fracturile transversale sunt produse direct, în general prin căderea pe braț, iar cele spiroide prin torsiune (figura 7.18).



Fig. 7.18. Fractura spiroidă a diafizei humerale

La **fracturile cu deplasare**, segmentul superior se deplasează anterior și în abducție (sub acțiunea mușchilor deltoid și scapulohumerali), iar segmentul inferior rămâne vertical și rotat intern.

În afara celor menționate, există și **fracturi patologice** datorate unor metastaze ale diafizei humerale.

Complicațiile care pot apărea în cazul acestor fracturi sunt: întârzieri de consolidare, pseudoartroză, calus vicios, leziuni ale țesuturilor și ale nervului radial. Câteva dintre acestea sunt reprezentate în figura 7.19.

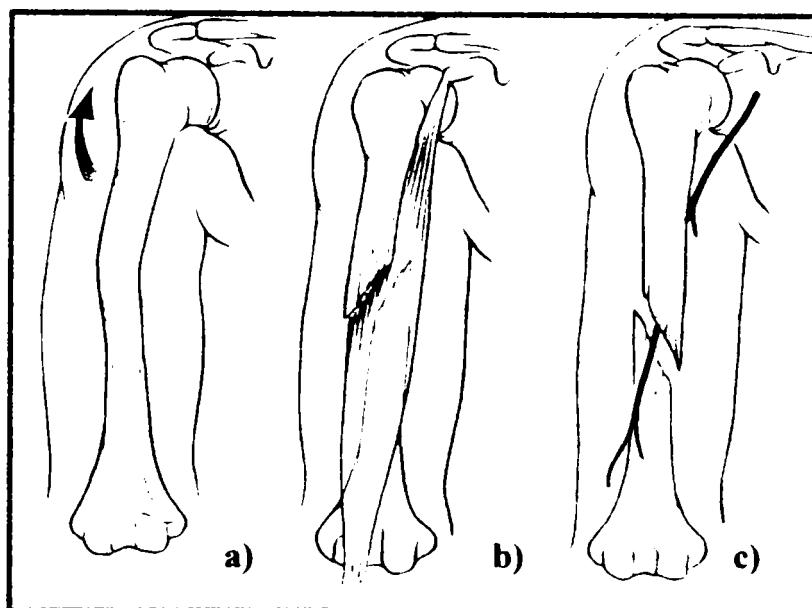


Fig. 7.19. Complicații ale fracturilor diafizei humerale

a) calus vicios, b) interpoziționarea țesuturilor, c) leziuni ale nervului radial

Tratamentul ortopedic constă în reducere urmată de imobilizare în aparat gipsat toracobrahial cu brațul în abducție 60°, anteducție 30° și cotul în flexie 90° sau aparat gipsat Caldwell sau Desaul. Tratamentul chirurgical constă în reducere sângerândă și osteosinteză cu placă înșurubată cu compactare pentru fracturile transversale sau cu șuruburi pentru fracturile oblice.

➤ **Fracturile extremității distale ale humerusului**

Mecanismul de producere al acestor fracturi este direct prin lovitură directă sau cădere cu cotul în hiperflexie sau indirect, mai frecvent, prin hiperextensie [16], [53], [63], [67], [102].

Fracturile extremității distale ale humerusului pot fi:

1. Fracturi supracondiliene.
2. Fracturi intercondiliene.
3. Fracturi de epitrohlee.
4. Fracturi de condil lateral sau medial, epicondil etc.

Câteva tipuri de astfel de fracturi sunt reprezentate în figura 7.20.

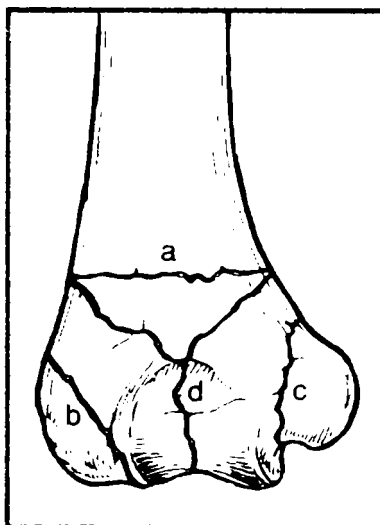


Fig. 7.20. Fracturi ale capătului distal al humerusului

a) supracondiliară, b) epicondil lateral, c) epicondil medial, d) în formă de Y

Fracturile supracondiliene

Fracturile supracondiliene sunt foarte frecvente mai ales la copii. În general mecanismul de producere a fracturii este indirect, prin cădere pe mână cu cotul în extensie. În acest caz, traiectul este oblic de jos în sus și dinainte-înapoi. În cazul mecanismului direct, căderea se face cu cotul flectat, traiectul fiind oblic, de sus în jos și dinainte-înapoi. În figura 7.21 este reprezentată o fractură supracondiliană a humerusului.

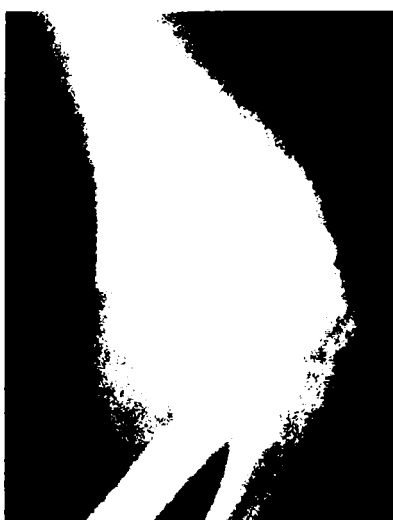


Fig. 7.21. Fractură supracondiliană a humerusului

În funcție de deplasarea fragmentelor, fracturile supracondiliene pot fi cu deplasare antero-posterioară, laterală (translație), de răsucire în jurul unui ax vertical (decalaj) și prin încălecarea fragmentelor (ascensiune).

În cazul fracturilor supracondiliene pot apărea complicații cum ar fi: leziuni ale arterei humerale, deschiderea focarului, leziuni ale nervilor radial, medial, infecții, calus vicios, ischemie Volkmann (necroză musculară cauzată de ocluzarea micii circulații vasculare) etc. Modul în care artera brahială poate fi afectată ca urmare a unei fracturi supracondiliene este prezentat în figura 7.22.

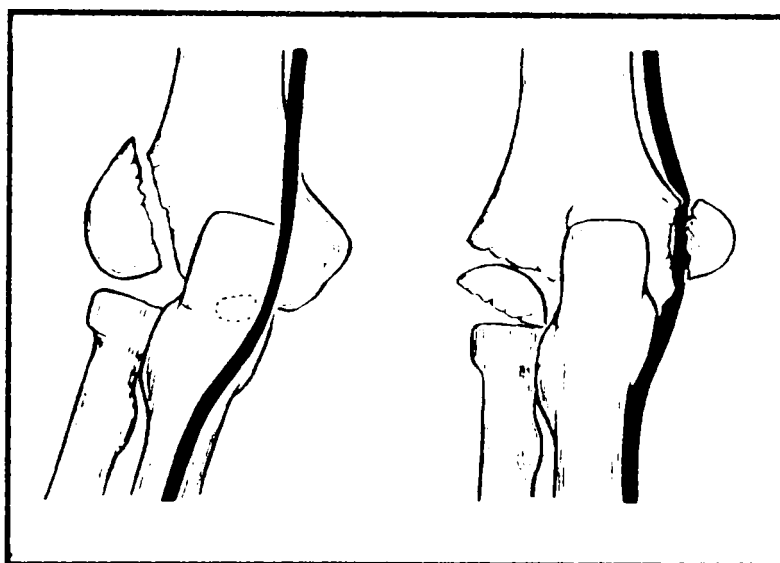


Fig. 7.22. Leziunea arterei brahiale în cazul fracturii supracondiliene

Tratamentul ortopedic constă în reducerea extemporanee (cotul în flexie 90° și pronație sau supinație, contraextensie în axilă prin cearceaf sau chingă, tracțiune puternică în ax, împingerea fragmentului distal) și imobilizarea în aparat gipsat brahio-palmar cu cotul la 90° sau reducerea prin extensie continuă și imobilizarea cu aparat gipsat de atârănare Caldwell, la bătrâni. Tratamentul chirurgical constă în osteosinteză cu plăci, broșe și șuruburi.

Fracturile supra și intercondiliene

Aceste tipuri de fracturi sunt mai des întâlnite la adulți și au traiectele de forma literelor T, Y și V. Apare de asemenea și deplasarea a fragmentelor datorită acțiunii diafizei asemeni unei pene care produce dizlocarea fragmentelor. O astfel de fractură este reprezentată în figura 7.23.

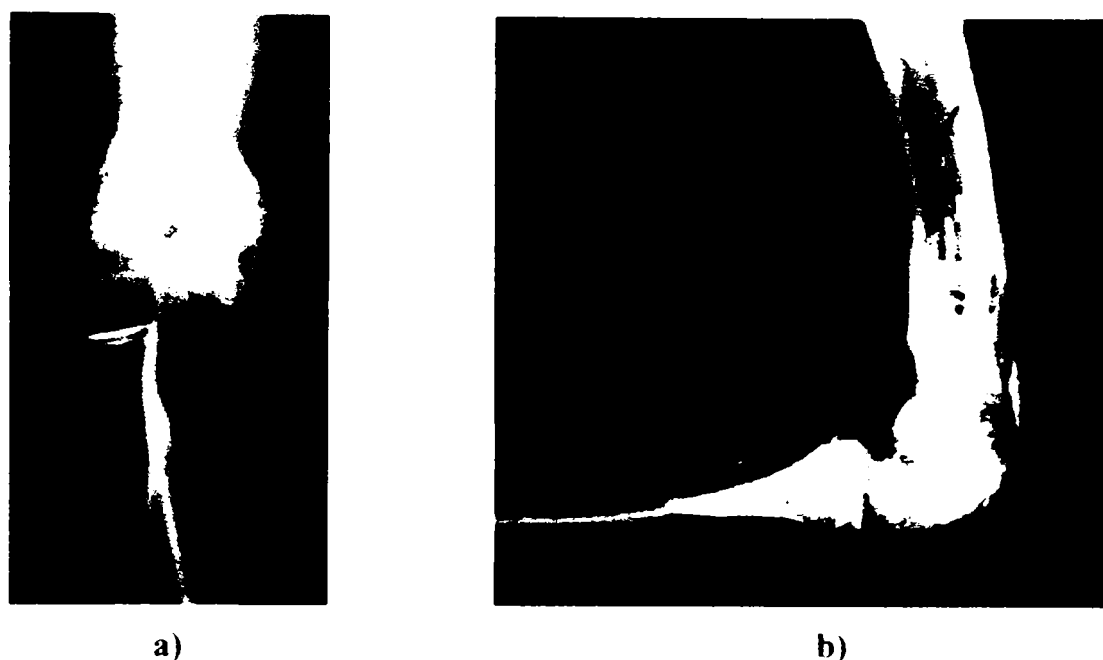


Fig. 7.23. Fractură intercondiliană
a) extensie, b) vedere laterală

Tratamentul ortopedic constă în reducere extemporanee, reducere continuă prin extensie transosoasă urmată de imobilizare în aparat gipsat brahio-palmar, iar cel chirurgical în osteosinteză cu șuruburi în triunghi, broșe și plăci.

Fracturile de epitrohlee

Mecanismul în cadrul acestor fracturi constă în smulgere prin suprasolicitarea ligamentului colateral intern sau prin contracția violentă a mușchilor epitrohleeni.

Aceste fracturi pot fi:

- fără deplasare sau cu deplasare mică.
- cu deplasare mare, caz în care fragmentele se pot deplasa în articulație, între trohlee și cavitatea sigmoidă a olecranului.

Complicațiile în acest caz sunt pierderea posibilității de mișcare a articulației și ulterior apariția osteoartritei.

Tratamentul ortopedic este de multe ori suficient, reasamblarea fragmentelor de os și fixarea fiind necesară numai în cazurile în care fragmentele de os sunt numeroase și total desprinse. Operația este destul de dificilă și rezultatele nu sunt întotdeauna cele mai bune. Fixarea fragmentelor de os se face cu șuruburi și sârmă. O astfel de fractură și fixarea fragmentelor sunt reprezentate în figura 7.24.

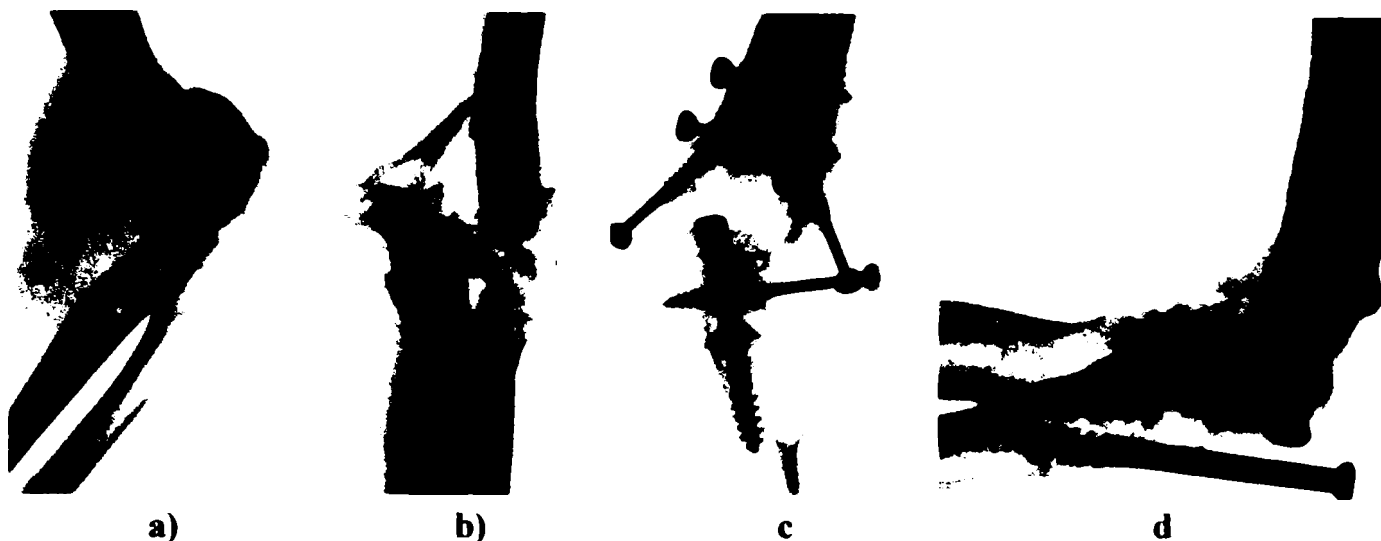


Fig. 7.24. Fractură cominutivă a capătului distal al humerusului
a), b) poziția fragmentelor, c), d) fixarea fragmentelor

Fracturile de epicondil medial

Aceste fracturi sunt produse printr-un mecanism indirect prin care olecranul lovește trohleea sau cupușoara radială la rândul ei lovește capitelul humeral. O astfel de fractură este reprezentată în figura 7.25.

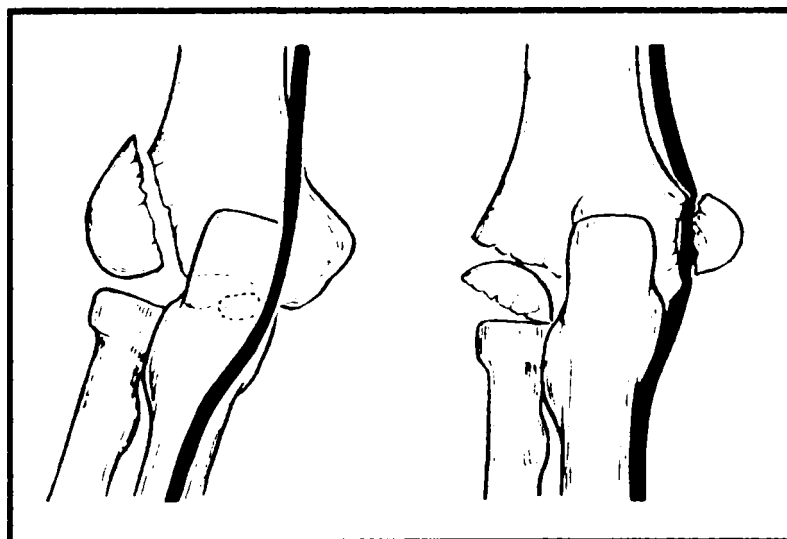


Fig. 7.25. Fracturi ale epicondilului medial

Tratamentul constă în reducerea fragmentelor, intervenție chirurgicală, dacă este cazul și fixarea cu fire Kirschner pentru stabilitate. Firele urmează a fi înlăturate ulterior.

◆ **Fracturile oaselor antebrăului** se pot împărți în trei mari categorii:

1. Fracturile extremităților proximale ale oaselor antebrăului;
2. Fracturile diafizare ale radiusului și ulnei;
3. Fracturile extremităților distale ale radiusului și ulnei.

➤ **Fracturile extremităților proximale ale oaselor antebrăului**

La rândul lor, aceste fracturi sunt împărțite, în funcție de localizare, în: fracturile olecranului și fracturi ale capului radial [16], [53], [63], [67], [82], [102].

Fracturile olecranului

Olecranul este ușor fracturat în căderile directe la nivelul cotului când capătul distal al humerusului acționează ca o daltă și despică partea cea mai slabă a olecranului (figura 7.26), dar și indirect, prin căderi pe cotul în flexie. Fracturile olecranului pot fi fără deplasare sau cu deplasare, caz în care pot fi transversale, oblice, cominutive.



Fig. 7.26. a) Fractură cu deplasare a olecranului, b) Fixarea fracturii

Complicațiile care pot să apară în cazul acestor fracturi sunt: leziuni vasculare și nervoase, leziuni asociate ca fractura coronoidei și luxația cotului, artroza posttraumatică etc. Sunt contraindicate mișcările pasive, masajele, căldura locală care pot determina congestie locală și osificări paraarticulare.

În cazul fracturilor fără deplasare sau cu deplasare minimă, tratamentul constă în

imobilizarea în aparat gipsat brahiopalmar (cu cotul la 90°). În cazul fracturilor cu deplasare care sunt mult mai frecvente, se practică osteosinteza cu hemicerclaj de sârmă, hobanaj sau șuruburi (figura 7.27).

În cazul fracturilor cominutive, în care fragmentele nu mai pot fi asamblate și fixate, se practică rezecția olecranului, în special la bătrâni.

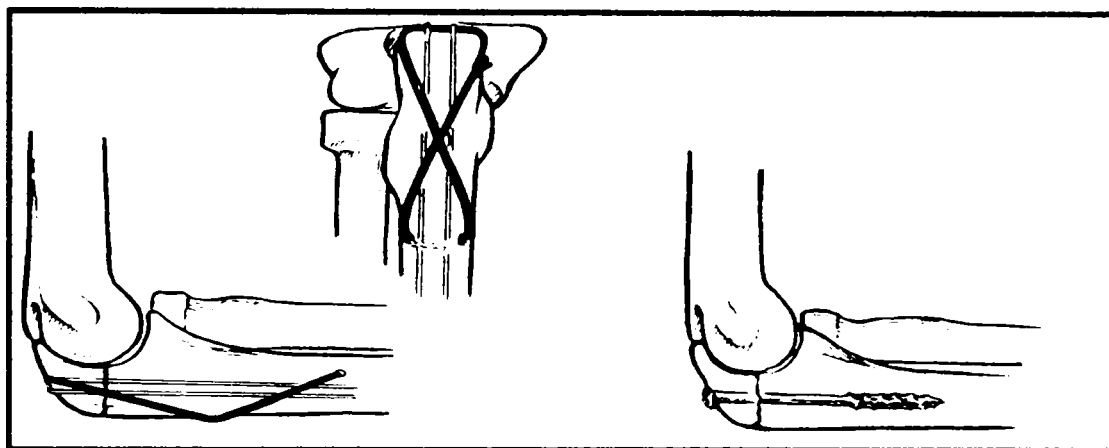


Fig. 7.27. Metode de fixare a fracturilor de olecran

Fracturile capului și colului radial

Aceste fracturi sunt frecvente mai ales la adulți și se produc de obicei indirect prin cădere pe mână cu cotul în extensie și antebrățul în abducție. Peste 50% din fracturile de cap radial sunt asociate cu alte leziuni ale cotului. Ele pot fi de mai multe tipuri: fără deplasare, cu deplasare (transverse, oblice) și cominutive (figura 7.28).

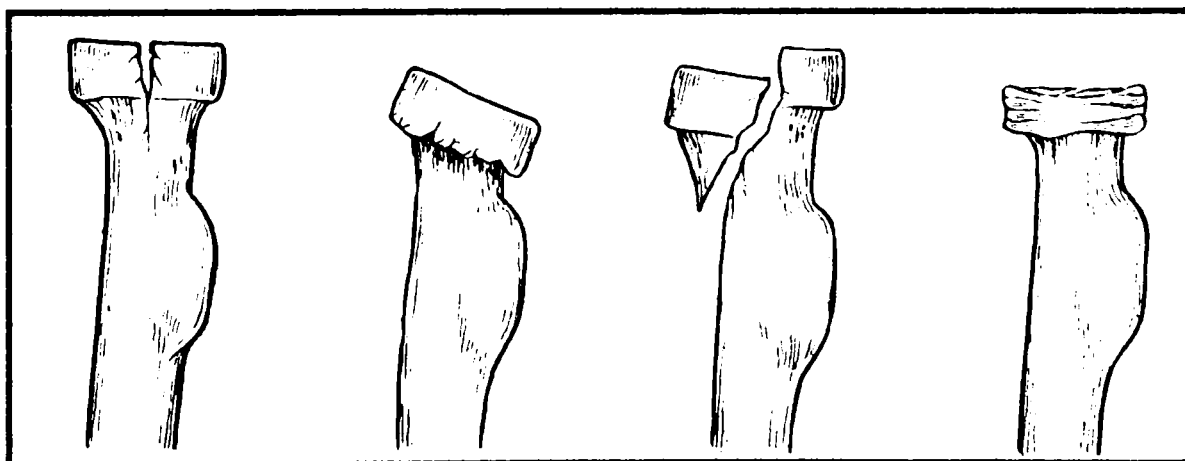


Fig. 7.28. Tipuri de fracturi ale capului radial

În figura 7.29 este reprezentată o fractură a capului radial.



Fig. 7.29. Fractură a capului radial

În cazul fracturilor fără deplasare tratamentul constă în aspirarea sângelui din zona articulară și imobilizarea în atelă gipsată.

În cazul fracturilor cu deplasare cu mai mult de 30° se practică tratamentul chirurgical, pentru fragmente mai mici de 1/3 din capul radial este necesară extirparea fragmentelor, iar pentru fragmente mai mari de 1/3 din capul radial este necesară osteosinteza. La copii aceasta se face cu broșe sau șuruburi, iar la adulți se poate recurge la rezecția capului radial.

Complicațiile care pot apărea în urma osteosintezei sunt artroze radio-cubitale sau sinostoze radio-cubitale, iar în urma rezecției elongație de nerv cubital, ascensiunea osului radial etc.

Fracturile de col radial sunt mai frecvente la copii între 8-12 ani și au același mecanism de producere ca și la fracturile de cap radial.

➤ **Fracturile diafizare ale radiusului și ulnei**

Aceste fracturi se pot produce izolat la unul dintre oase (radius sau ulna) sau la amândouă, în multe cazuri producându-se fracturi - luxații [16], [53], [63], [67], [82], [102].

Fracturile radiusului

Fracturile diafizei radiale sunt mai frecvente în treimea medie și inferioară a radiusului. Mecanismul de producere al acestor fracturi este fie direct, la fracturile transversale, fie indirect, la fracturile oblice sau spiroide.

În cazul fracturilor fără deplasare, tratamentul constă în imobilizarea în aparat gipsat brahio-palmar. În cazul fracturilor cu deplasare, la cele transversale tratamentul constă în reducerea ortopedică și imobilizare în aparat gipsat, iar la cele oblice, spiroide și cominutive se practică reducerea sângerândă, osteosinteză cu placă, șuruburi sau tijă, urmată de imobilizare gipsată.

Fracturile ulnei

Fracturile diafizei ulnei sunt mai rare și se produc direct, ca urmare a căderilor sau loviturilor (de exemplu pararea loviturilor orientate spre cap). Ele sunt mai frecvente în treimea superioară a diafizei ulnare.

În cazul fracturilor fără deplasare, tratamentul constă în imobilizarea în aparat gipsat brahio-palmar, iar în cazul fracturilor cu deplasare, în reducerea ortopedică și imobilizare gipsată sau fixare internă cu șuruburi sau tijă.

Fracturile ambelor oase ale antebrațului

Mecanismul de producere al acestor fracturi poate fi direct, prin lovire cu un corp contondent, sau indirect, prin cădere pe mână sau torsionări. În cazul fracturilor cu deplasare, aceasta este dată de grupele de mușchi care acționează asupra fragmentelor: supinatori (biceps, scurt supinator) pentru treimea proximală și pronatori (rotund pronator, pătrat pronator) pentru treimea distală. Dacă fractura este în treimea medie, decalajul este dat de supinație pentru fragmentul superior și pronație pentru fragmentul inferior. Dacă fractura este în treimea inferioară, deplasările sunt mici pentru că mușchiul pătrat pronator înglobează fragmentele. O fractură de tip „lemn verde”, în treimea medială este reprezentată în figura 7.30.



Fig. 7.30. Fractură de tip „lemn verde” a radiusului și ulnei

În cazul fracturilor fără deplasare sau cu deplasare mică, tratamentul constă în aparat gipsat brahio-palmar. În cazul fracturilor cu deplasare, se efectuează reducere ortopedică prin tracțiune cu mâna: în supinație pentru fracturile din treimea superioară, în poziție intermediară pentru fracturile din treimea medie și în pronație pentru fracturile din treimea inferioară.

Tratamentul chirurgical se face în cazul fracturilor instabile (oblice, spiroide) sau a deplasărilor sub gips. Osteosinteza se efectuează cu placă și șuruburi pe ambele oase sau placă și șuruburi pe radius și tijă centromedulară la nivelul cubitusului. Actul chirurgical este destul de dificil datorită instabilității acestor fracturi. Fixarea internă a fracturilor radiusului și ulnei sunt prezentate în figura 7.31.



Fig. 7.31. Fixarea cu plăci și șuruburi a fracturilor de radius și ulna

Fracturile-luxații ale oaselor antebrăului

Cele mai frecvente fracturi-luxații sunt fractura de radius în treimea distală și luxația postero-anterioară a capului cubital prin ruptura ligamentului triunghiular (Galeazzi) și dislocarea capului radial cu fracturarea ulnei (Monteggia). Cele două tipuri de fracturi-luxații sunt într-un fel similare datorită faptului că dacă unul din oasele antebrăului se scurtează, celălalt poate suporta numai dacă este stabil și în ambele cazuri osul „intact” este dislocat la un capăt.

Fractura-luxație Galeazzi este reprezentată în figura 7.32.

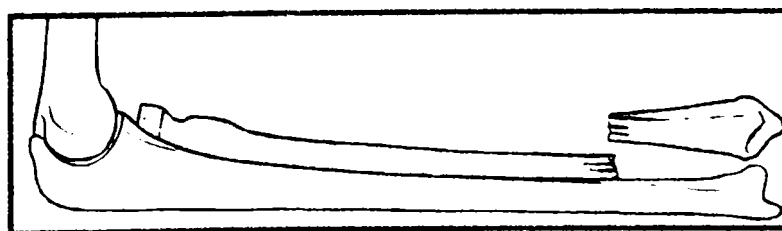


Fig. 7.32. Fractura-luxație Galeazzi

Tratamentul ortopedic de obicei este neeficient. Tratamentul chirurgical constă în reducere și osteosinteză cu placă pe radius precum și reducerea luxației ulnei. În figura 7.33 este reprezentată o fractură Galeazzi înainte și după fixare.



Fig. 7.33. Fractură-luxație Galeazzi, a) înainte de fixare, b) după fixare

Fractura-luxație Monteggia este mai frecventă decât fractura Galeazzi și se produce direct prin lovire sau indirect, prin cădere. O astfel de fractură este reprezentată în figura 7.34.

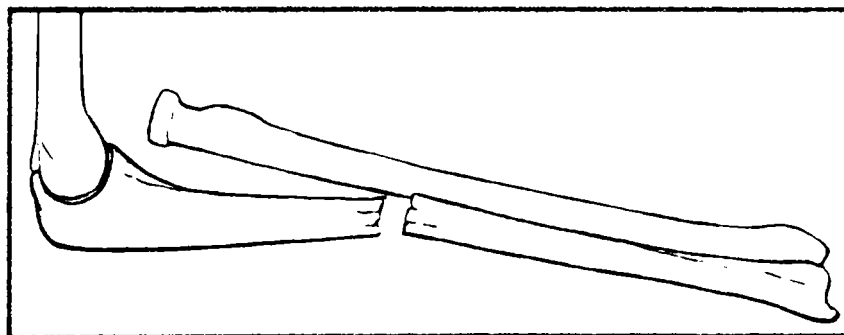


Fig. 7.34. Fractura-luxație Monteggia

Aceste fracturi pot fi tipice – fractură de ulnă în treimea medie cu unghi deschis posterior și capul radial luxat anterior sau atipică – fractură de ulnă în treimea medie unghiul deschis anterior și capul radial luxat posterior.

Tratamentul poate fi ortopedic prin reducere cu tracțiunea antebrațului în supinație și repunerea cupușoarei radiale sau chirurgical, prin osteosinteza ulnei cu tije sau placă, repunerea capului radial și fixarea cu broșă transcondiliană sau rezecția capului radial în luxațiile ireductibile. În figura 7.35. este reprezentată o fractură Monteggia înainte și după fixare.



a)

b)

**Fig. 7.35. Fractură-luxație Monteggia,
a) înainte de fixare, b) după fixare**

- **Fracturile extremității distale ale oaselor antebrăului** [16], [53], [63], [67], [102]

Fracturile extremității distale a ulnei

Fracturile extremității distale a ulnei sunt mai rare, întâlnindu-se fracturi ale procesului stiloidian, ale capului sau ale colului anatomic. Tratamentul ortopedic constă în imobilizare gipsată, iar în cazul fracturilor ireductibile, în rezecția extremității distale.

Fracturile extremității distale a radiusului

Fracturile extremității distale a radiusului (figura 7.36) sunt foarte frecvente atât la adulți, cât și la copii.



Fig. 7.36. Fractura capătului distal al radiusului

Aceste fracturi pot fi de două tipuri: fracturi intraarticulare și fracturi supraarticulare.

Fracturile intraarticulare sunt rare și pot fi parcelare (procesului stiloidian, marginală anterioară, marginală posterioară) sau totale la care fragmentele fracturate pot avea forma literelor Y, V sau T.

Tratamentul în cazul acestor fracturi constă în reducere ortopedică și imobilizare gipsată.

În figura 7.37 este reprezentată o fractură a stiloidei radiale.

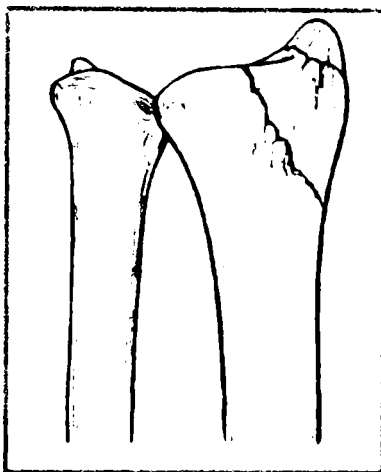


Fig. 7.37. Fractura stiloidei radiale

Fracturile supraarticulare sunt cele mai frecvente fracturi ale scheletului uman, câteva din cele mai cunoscute fiind: fractura Colles, fractura Smith și fractura Barton.

Fractura Colles (figura 7.38) se produce indirect prin căderea pe podul palmei cu mâna în hiperextensie. În cazul acestor fracturi, de obicei, unghiul dintre suprafețele articulare ale radiusului și ulnei și linia orizontală, în plan frontal, este de 30° . În plan sagital, unghiul dintre suprafața articulară, radială și orizontală este, de obicei, deschis anterior de 10° .



Fig. 7.38. Fractura Colles

În cazul acestor fracturi apar deformări, cea mai obișnuită fiind cea denumită „dos de furculiță” care constă din deformările a cinci elemente (figura 7.39): (1) – înclinare posterioară, (2) – deplasare posterioară, (3) – deviație radială, (4) – supinație, (5) – impact roximal.

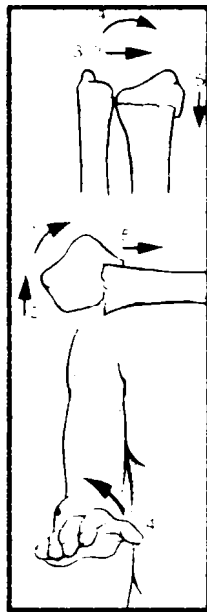


Fig. 7.39. Deplasarea fragmentelor la fractura Colles

Tratamentul ortopedic constă în reducere ortopedică astfel: se realizează contraextensia cu ajutorul unei chingi la perete, se extinde policele, în jurul axei antebrațului și degetele II, III, IV în sens ulnar, se efectuează dezangrenarea prin apăsare digitală și mișcări de flexie palmară și dorsală în focar. Imobilizarea se realizează în atelă gipsată lată antebrahio-palmară sau aparat gipsat circular despicat. Este important ca policele și degetele să fie lăsate libere pentru a se putea mișca.

Tratamentul chirurgical se face în cazul redeplasărilor sub gips sau în cazul fracturilor cominutive instabile. Osteosinteza se realizează cu broșe, șuruburi, placă cu șuruburi sau fixator extern.

Complicațiile care pot apărea în cazul fracturilor Colles sunt: osteoporoză de imobilizare, redori articulare, calus vicios, artroză radiocarpiană etc.

Fractura Smith are un mecanism de producere indirect prin cădere pe dosul mâinii, cu mâna în hiperflexie. Deformarea în plan sagital este inversă celei întâlnite la fractura Colles, producându-se anterior. Această fractură este foarte instabilă și poate duce la deformarea încheieturii mâinii dacă nu este tratată corect. În figura 7.40 a și c este reprezentată o fractură Smith, înainte și după fixare.

La unii pacienți linia fracturii se prelungeste până la nivelul ligamentului astfel încât marginea anterioară a radiusului se deplasează proximal spre mână. Aceasta este o **fractură Barton** (figura 7.40 b).

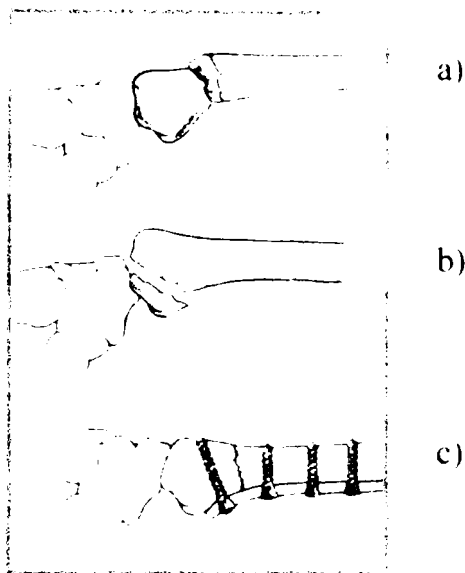


Fig. 7.40. a) Fractură Smith, b) fractură Barton, c) fixarea internă a fracturii Smith

În cazul ambelor fracturi, ele trebuie diferențiate de fractura Colles și tratate cu antebratul îndreptat, cu mâna în supinație și încheietura mâinii în extensie totală.

Tratamentul și complicațiile sunt similare fracturii Colles. În figura 7.41 este reprezentată o fractură Barton înainte și după fixare.

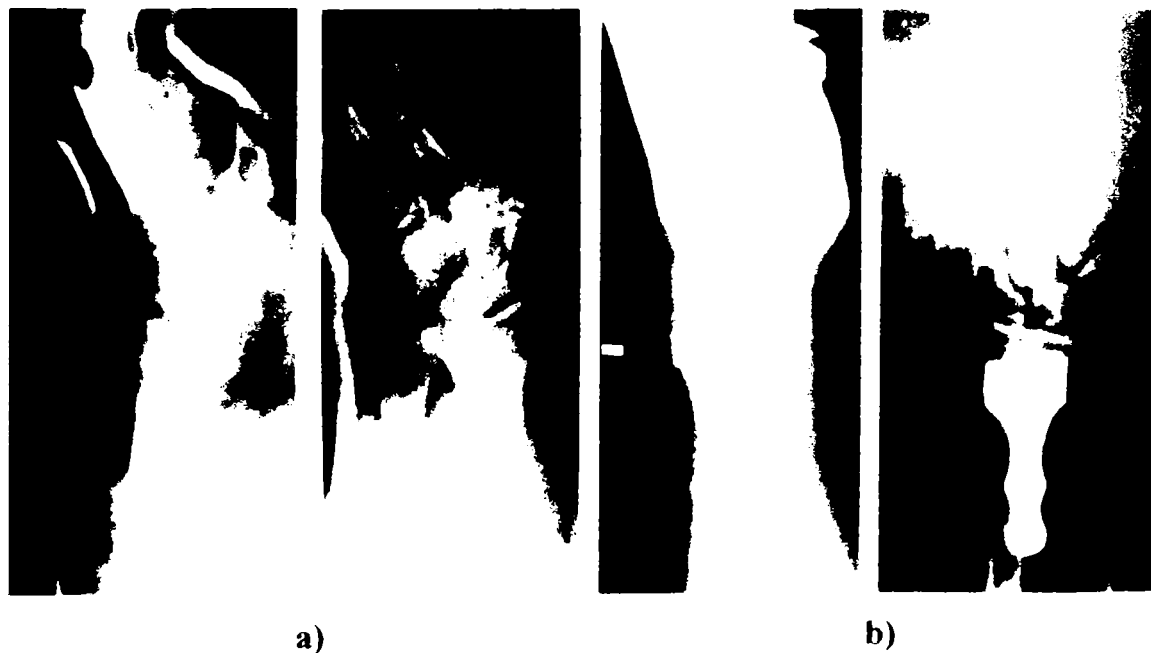


Fig. 7.41. Fractură Barton, a) înainte de fixare, b) după fixarea cu placă Ellis

◆ **Fracturile oaselor mâinii**

Tratarea fracturilor oaselor mâinii, ca și tratarea celorlalte fracturi, urmărește principiul că fracturile stabile trebuie immobilizate imediat, iar cele instabile trebuie stabilizate și apoi immobilizate. Immobilizarea imediată este mai importantă la mână decât în oricare alt loc [16], [53], [63], [67], [82], [102].

Cele mai importante fracturi ale oaselor mâinii sunt:

1. Fracturile oaselor carpiene;
2. Fracturile metacarpienelor;
3. Fracturile falangelor.

➤ **Fracturile oaselor carpiene**

Oasele carpiene sunt aranjate pe două rânduri, proximal și distal. Scafoidul unește cele două rânduri și este astfel supus unui stres mai mare față de celelalte oase carpiene [16], [53], [63], [67], [102].

Fracturile scafoidului

Fracturile scafoidului se produc ca urmare a căderii cu mână în hiperextensie, mai ales în zona mijlocie, care este mai slab vascularizată.

Traiectul fracturii poate fi orizontal, când acționează forțe de forfecare minime în focar, sau vertical, când acționează forțe de forfecare maxime în focar (figura 7.42).



Fig. 7.42. Fractura scafoidului

Tratamentul ortopedic constă în imobilizarea în aparat gipsat antebrahiopalmar, cu degetele II-V libere, dar prinzând prima falangă a policelui. Dacă fractura nu se sudează în maxim 12 săptămâni trebuie intervenit chirurgical. Aceasta se face prin osteosinteză cu șurub de spongie sau broșă Kirschner. Complicațiile care pot să apară sunt pseudoartroza și necroza fragmentului proximal.

Dislocările oaselor carpiene

Cele mai frecvente dislocări sunt dislocarea semilunarului și dislocarea transcafoidă a semilunarului.

Dislocarea semilunarului se produce prin hiperextensie violentă, el rămânând atașat radiusului. Această leziune este greu observabilă într-o simplă radiografie anteroposterioară, dar este evidentă într-una laterală (figura 7.43). Tratamentul constă în reducere ortopedică, numai în anumite cazuri fiind necesar tratamentul chirurgical.



Fig. 7.43. Dislocarea semilunarului

În cazul **dislocării transcafoide a semilunarului**, mecanismul este același, doar că linia fracturii trece de-a lungul scafoidului, lăsând capătul proximal al acestuia atașat de semilunar. Tratamentul constă în reducere ortopedică, iar uneori în intervenție chirurgicală în scopul înlocuirii semilunarului. Dacă și scafoidul este fracturat, este necesară fixarea internă.

➤ **Fracturile oaselor metacarpiene**

Mecanismul de producere al acestor fracturi este direct, asociind fracturilor leziuni ale părților moi (zdrobiri musculare). Localizarea cea mai frecventă este diafizară, iar traiectul

este transversal sau spiroid. Cele mai frecvente fracturi ale metacarpienelor sunt prezentate mai jos [16], [53], [63], [67], [82], [102].

Fracturile metacarpianului V

Cele mai frecvente fracturi ale acestuia sunt fracturile capului metacarpian, fractura oblică a metacarpianului și fractura transversală cominutivă.

Fracturile capului metacarpianului V se produc când are loc o lovire cu pumnul, degetele fiind flexate. O astfel de fractură este reprezentată în figura 7.44.



Fig. 7.44. Fractura capului metacarpianului V

Tratamentul ortopedic constă în imobilizarea pe un rulo de fașă, iar în cazul fracturilor cu deplasare se realizează reducerea prin tracțiune în axul degetului și presiune directă pe metacarp și imobilizare cu atelă gipsată sau metalică. Tratamentul chirurgical constă în osteosinteze cu broșe intramedulare sau plăcuțe cu șuruburi.

Fracturile oblice a metacarpului V se produc prin prinderea degetului mic și răsucire. Tratamentul constă în corectarea atentă a rotației și menținerea poziției, prin prinderea degetului mic de inelar.

Fracturile cominutive se produc lateral, aproape de mijlocul metacarpianului datorită unor lovituri, în special specifice jocului de karate. Tratamentul este asemănător celui aplicat fracturilor oblice.

Fracturile Bennett

Aceste fracturi se produce la baza metacarpianului I și sunt asociate cu luxații metacarpo-trapeziene. Mecanismul de producere este direct, prin lovitură cu pumnul strâns și

policele ascuns. În figura 7.45 este reprezentată o fractură de tip Bennett și tratamentul aplicat.

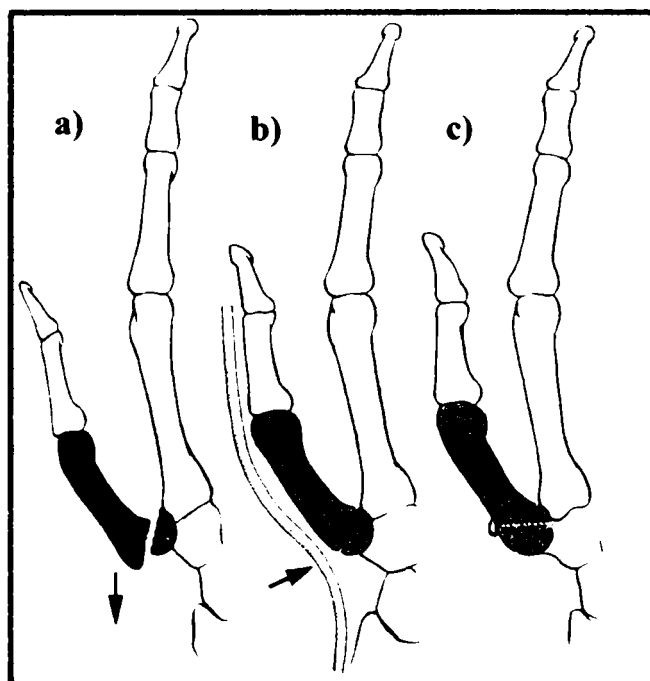


Fig. 7.45. a) Fractură Bennett, b) fixare prin presiune, c) fixare cu șurub

Tratamentul ortopedic se realizează prin manevra Böhler care constă în tracțiunea policelui în abducție maximă cu presiunea pe baza metacarpianului I. Imobilizarea se face în gips, antebrațio-palmar cu prinderea falangei proximale a policelui. Dacă este necesar, tratamentul chirurgical constă în osteosinteză cu broșe sau plăci.

➤ Fracturile falangelor

Aceste fracturi sunt de trei tipuri: fracturi ale epifizelor distale, fracturi ale epifizelor proximale și fracturi ale diafizelor (figura 7.46) [16], [63], [67], [82], [102].

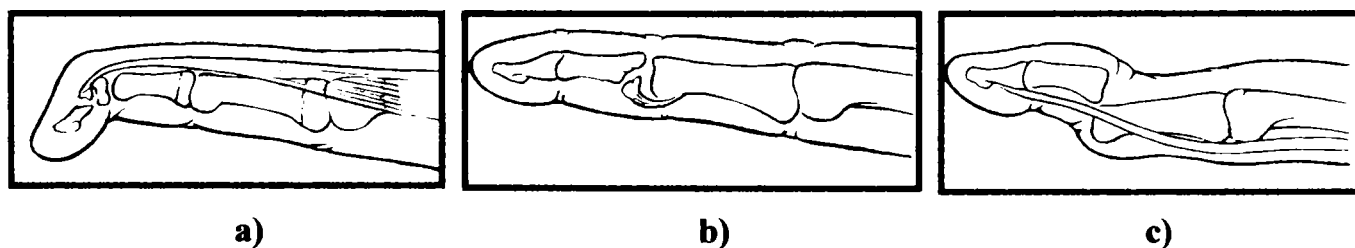


Fig. 7.46. Fracturile falangelor, a) fractura epifizară, b) fractură intraarticulară, c) fractură cu dislocarea capului falangei proximale.

Fracturile falangelor se produc de cele mai multe ori prin forțe de răsucire sau oblice. Astfel de fracturi sunt reprezentate în figura 7.47.



a)

b)

c)

Fig. 7.47. Fracturi ale falangelor

a) fractură a falangei distale a policelui, b) fractură a falangei proximale a arătătorului, c) fractură a falangei proximale a policelui (fără deplasare)

Cel mai simplu și eficace tratament pentru a stabili falangele fracturate este prinderea degetului fracturat de cel alăturat și încurajarea flexiei, care este imposibilă dacă există o deformare de rotație.

În cazul fracturilor epifizelor distale și a diafizelor falangelor, tratamentul ortopedic se face prin imobilizare gipsată, iar în cazul fracturilor epifizelor proximale ale falangelor fie gipsat, fie chirurgical (figura 7.48).



a)

b)

Fig. 7.48. Fractura falangei proximale

a) înainte de fixare, b) după fixare

7.2. Bază de date privind deficiențele motorii a membrului superior

◆ Structura bazei de date

Sistemele de gestiune a bazelor de date sunt instrumente esențiale în numeroase medii, de la utilizările tradiționale în contexte de afaceri, cercetare, învățământ și până la aplicațiile mai recente, cum ar fi operarea utilizând motoarelor de căutare pe Internet. Utilizarea bazelor de date este tot mai frecventă și la nivel individual în scopul stocării unor date obținute în urma cercetărilor genealogice, întreținerea unor colecții etc.[83], [86], [87], [89], [105].

Sistemul de baze de date utilizat în această teză este MySQL datorită avantajelor pe care le prezintă [38], [43]:

- ◆ **Viteza:** se consideră că MySQL este cel mai rapid sistem de baze de date.
- ◆ **Ușurință în utilizare:** MySQL este un sistem de baze de date cu performanțe ridicate, dar relativ simplu, a cărui configurare și administrare sunt mult mai simple decât în cazul sistemelor mai mari.
- ◆ **Cost:** MySQL este gratuit pentru majoritatea utilizărilor interne.
- ◆ **Suport pentru limbaje de interogare:** MySQL înțelege SQL (Structured Query Language), limbajul preferat al tuturor sistemelor moderne de baze de date.
- ◆ **Caracteristici:** la server se pot conecta mai mulți clienți simultan care pot utiliza mai multe baze de date simultan. Accesul la MySQL se poate obține interactiv folosind numeroase interfețe care permit introducerea interogărilor și vizualizarea rezultatelor. De asemenea este disponibilă o varietate de interfețe de programare pentru limbaje precum C, Perl, Java, PHP și Python.
- ◆ **Conectivitate și securitate:** MySQL poate fi folosit integral în rețele, iar bazele de date sunt accesibile de oriunde din Internet, deci datele pot fi partajate cu oricine, oriunde. MySQL are controlul accesului astfel încât persoanele care nu au dreptul să citească aceste date nu vor avea această posibilitate.
- ◆ **Portabilitate:** MySQL rulează pe numeroase varietăți de Unix, precum și pe alte sisteme ca Windows și OS/2. De asemenea rulează pe echipamente de la calculatoare de birou, la servere cu performanțe ridicate.
- ◆ **Distribuție liberă:** MySQL este ușor de obținut de pe web. Dacă nu se înțelege funcționarea unei componente se poate procura codul sursă.

Etapile realizării bazei de date privind deficiențele motorii sunt:

1. Realizarea structurii bazei de date;
2. Realizarea formularului de completare a bazei de date;
3. Asigurarea accesibilității bazei de date pe Internet.

Baza de date privind deficiențele motorii ale aparatului locomotor, numită *Ortoped*, conține atât date despre pacient, cât și date privind diagnosticul și tratamentul acestor deficiențe. Sunt prezentate și imagini pentru cazurile care necesită investigații de tip radiografie, tomografie computerizată sau rezonanță magnetică. Din acest motiv, ea are în componență trei tabele cu denumirile *Pacient*, *Consultații* și *Imagini*. Cele trei tabele au fost create utilizând comanda **Create table on database Ortoped** și trecând numărul de câmpuri corespunzător fiecărui tabel. Structura bazei de date este reprezentată în figura 7.49.

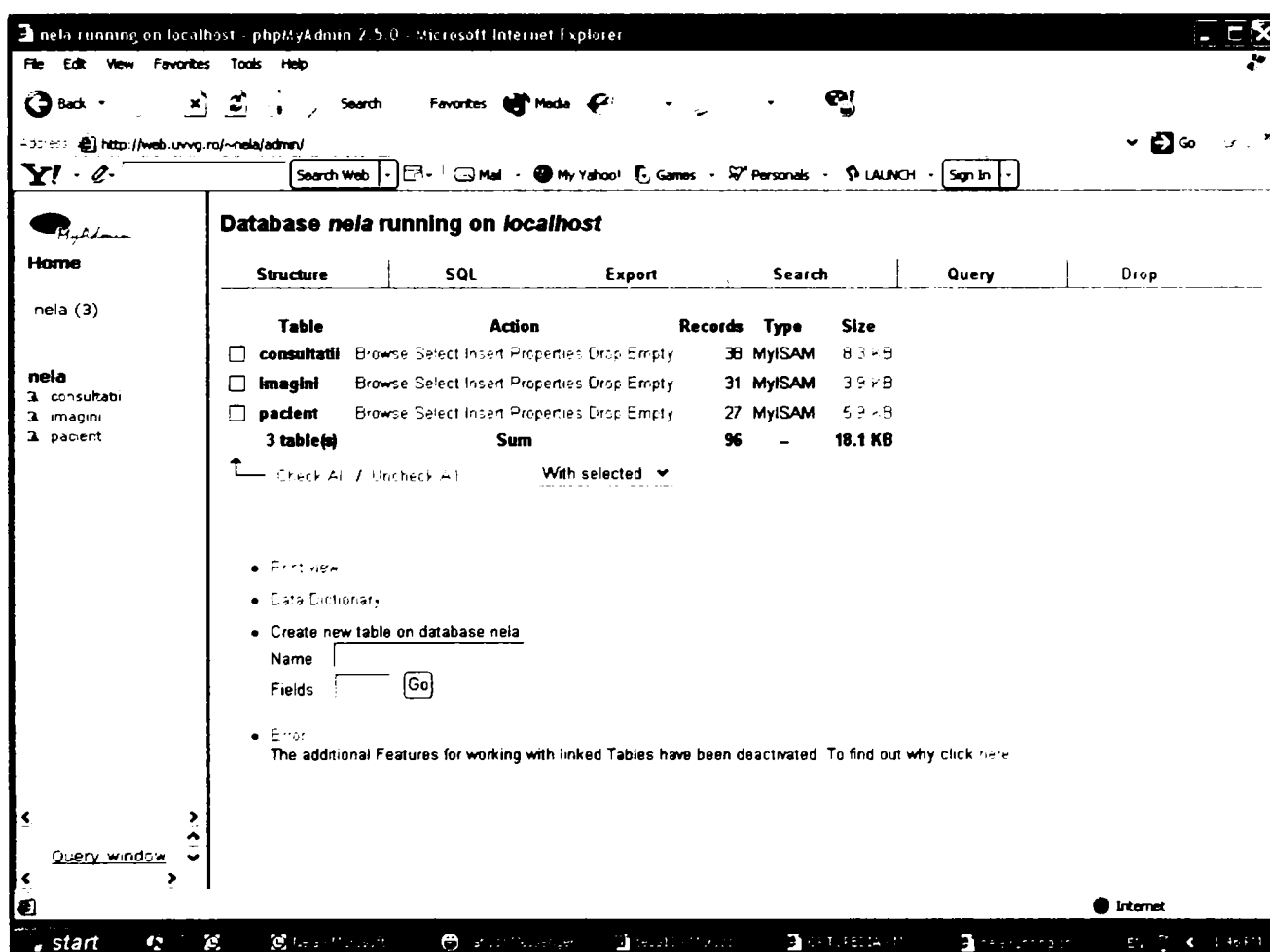


Fig. 7.49. Structura bazei de date

Tabelul **Pacient** conține 15 câmpuri cu caracteristici menționate în figura 7.50. Tipurile de câmpuri utilizate în acest tabel sunt:

- ◆ **INT(M)** – date de tip număr întreg (integer), care, pentru numere pozitive, pot fi cuprinse între 0 și 4294967295; **M** reprezintă lungimea câmpului,
- ◆ **VARCHAR(M)** – date de tip șir de caractere de lungime variabilă, cuprinsă între 1 și 255 de caractere,
- ◆ **ENUM** – date speciale de tip șir pentru care valorile coloanelor trebuie alese dintr-un set fix de șiruri, o enumerare putând avea maxim 65536 elemente; se folosește pentru valori mutual exclusive,
- ◆ **TEXT** – date de tip text care poate varia ca lungime de la un rând la altul.

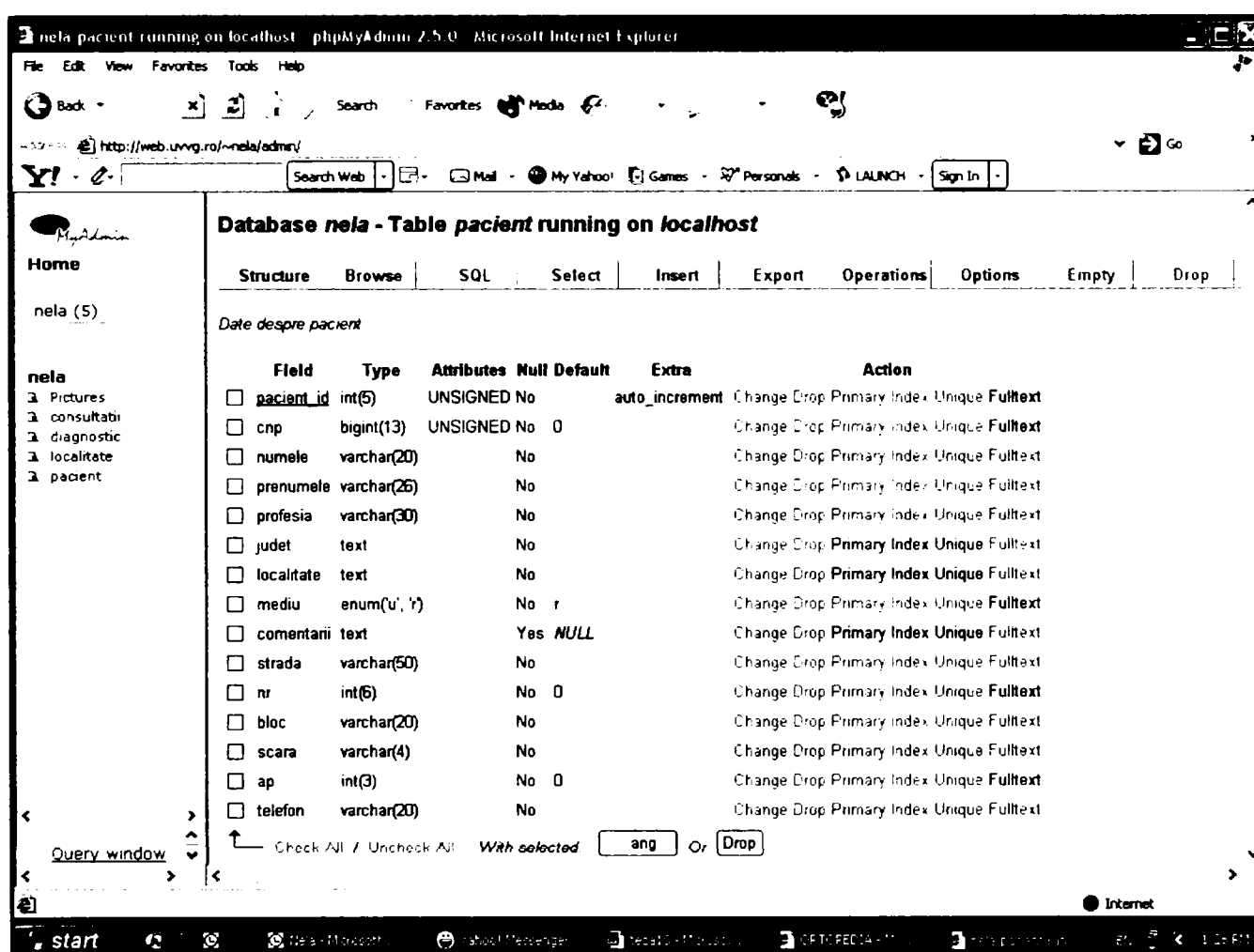


Fig. 7.50. Structura tabelului Pacient

Fiecare linie dintr-un tabel trebuie să aibă o coloană (sau o serie de coloane) care o identifică în mod unic. Coloana sau seria de coloane care identifică în mod unic un tabel se numește **cheie primară**. Orice coloană poate fi cheie primară dacă respectă următoarele condiții:

- ✓ două linii nu pot avea aceeași valoare a cheii primare,

- ✓ fiecare linie trebuie să aibă o valoare a cheii primare,
- ✓ coloana care conține valorile cheilor primare nu poate fi niciodată modificată sau actualizată,
- ✓ valorile cheilor primare nu pot fi niciodată refolosite.

Pentru tabelul *Pacient*, cheia primară este coloana numită **pacient_id**.

În ceea ce privește atributele câmpurilor s-au folosit:

- ◆ **UNSIGNED** – variabila de tip întreg nu are semn,
- ◆ **NOT NULL** sau **NULL** – oferă posibilitatea ca o coloană să conțină sau nu valori; de exemplu câmpul „comentarii” va cuprinde valori numai dacă pacientul a mai avut antecedente sau reprezintă un caz special, ceea ce nu este valabil la toți pacienții, în schimb câmpul CNP este obligatoriu să conțină valori,
- ◆ **AUTO_INCREMENT** – generează automat numere într-o anumită secvență; de obicei această opțiune se utilizează pentru coloana care reprezintă cheia primară.

Ținând seama de precizările de mai sus, tabelul *Pacient* a fost creat utilizând următoarea secvență de program:

```
# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.5.0
# http://www.phpmyadmin.net/ (download page)
#
# Host: localhost
# Generation Time: Nov 06, 2004 at 01:43 PM
# Server version: 4.0.12
# PHP Version: 4.3.1
# Database : `nela`
# -----
#
# Table structure for table `pacient`
#
# Creation: Sep 29, 2004 at 10:30 AM
# Last update: Oct 14, 2004 at 02:08 PM
#
CREATE TABLE `pacient` (
  `pacient_id` int(5) unsigned NOT NULL auto_increment,
  `cnp` bigint(13) unsigned NOT NULL default '0',
  `numele` varchar(20) NOT NULL default '',
  `prenumele` varchar(26) NOT NULL default '',
  `profesia` varchar(30) NOT NULL default '',
  `judet` text NOT NULL,
  `localitate` text NOT NULL,
  `mediu` enum('u','r') NOT NULL default 'r',
```

```

`comentarii` text,
`strada` varchar(50) NOT NULL default '',
`nr` int(6) NOT NULL default '0',
`bloc` varchar(20) NOT NULL default '',
`scara` varchar(4) NOT NULL default '',
`ap` int(3) NOT NULL default '0',
`telefon` varchar(20) NOT NULL default '',
PRIMARY KEY (`pacient_id`),
UNIQUE KEY `cnp` (`cnp`)
) TYPE=MyISAM COMMENT='Date despre pacient' AUTO_INCREMENT=29 ;
#
# Dumping data for table `pacient`
#

```

Introducerea datelor se poate face fie direct în MySql, fie utilizând un formular accesibil pe Internet pentru anumiți utilizatori, pe baza unui nume de utilizator și a unei parole unice pentru fiecare dintre aceștia. Interfața de introducere a datelor direct în baza de date este reprezentată în figura 7.51.

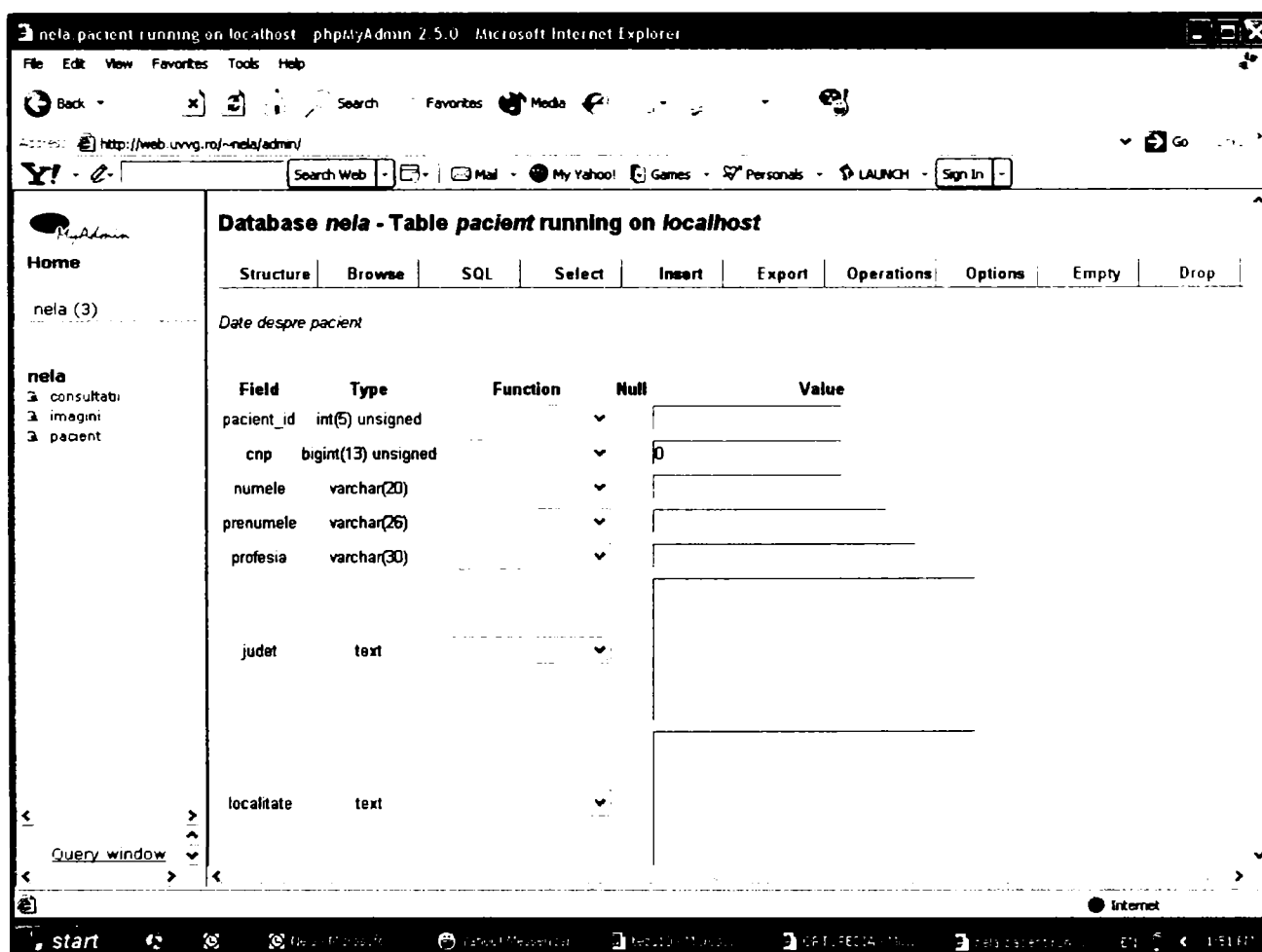


Fig. 7.51. Interfață de introducere a datelor pentru tabelul Pacient

După introducerea datelor, tabelul Pacient apare ca în figura 7.52.

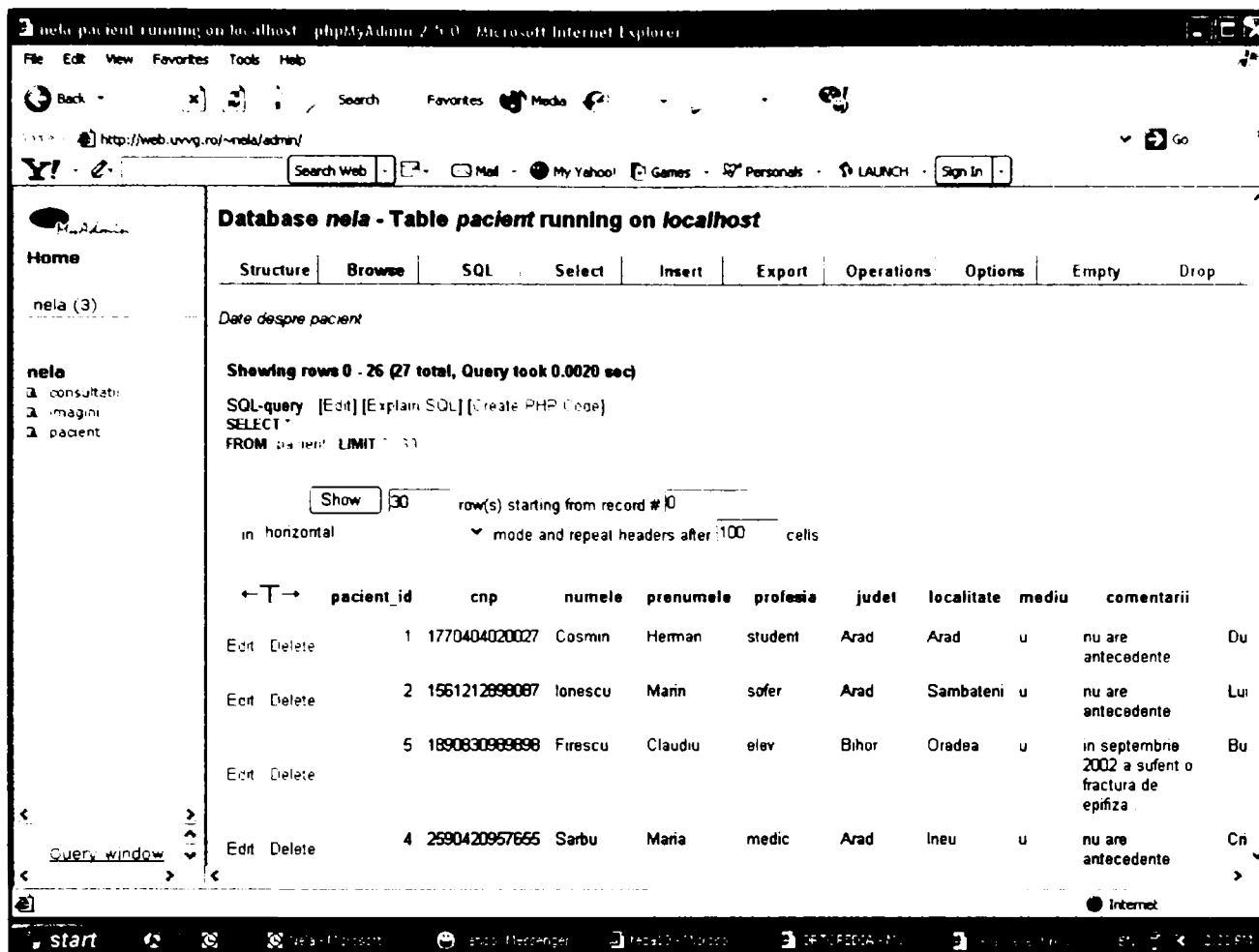


Fig. 7.52. Tabelul Pacient

Pentru realizarea tabelului **Consultații** s-au utilizat aceleași tipuri de date ca și la tabelul **Pacient**, în plus apărând și un câmp de tipul **DATE** pentru valorile de tip dată de forma AAAA-LL-ZZ (A – an, L – lună, Z – zi). Tabelul conține 12 câmpuri, cheia primară fiind coloana **pacient_id**. Structura tabelului **Consultații** este reprezentată în figura 7.53.

Secvența de program corespunzătoare este:

```
# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.5.0
# http://www.phpmyadmin.net/ (download page)
#
# Host: localhost
# Generation Time: Nov 06, 2004 at 02:01 PM
# Server version: 4.0.12
# PHP Version: 4.3.1
# Database : `nela`
#
#
# Table structure for table `consultatii`
#
```

```
# Creation: Sep 29, 2004 at 10:30 AM
# Last update: Nov 06, 2004 at 01:50 PM
#
CREATE TABLE `consultatii` (
  `id_cons` int(4) NOT NULL auto_increment,
  `data` date NOT NULL default '0000-00-00',
  `pacient_id` bigint(20) NOT NULL default '0',
  `localizare` enum('-', 'craniu', 'regiune cervicala', 'torace', 'coloana
vertebrala', 'pelvis', 'membru superior', 'membru inferior') NOT NULL default
'-',
  `tip_investigatie` varchar(30) NOT NULL default '',
  `diagnostic` text NOT NULL,
  `nr_cons` int(3) default NULL,
  `cons_curent` int(4) NOT NULL default '0',
  `urm_cons` varchar(20) NOT NULL default '',
  `ora` varchar(10) NOT NULL default '',
  `tratament` text NOT NULL,
  `complicatii` text,
  PRIMARY KEY (`id_cons`)
) TYPE=MyISAM COMMENT='Tabel consultatii' AUTO_INCREMENT=42 ;
#
# Dumping data for table `consultatii`
#
```

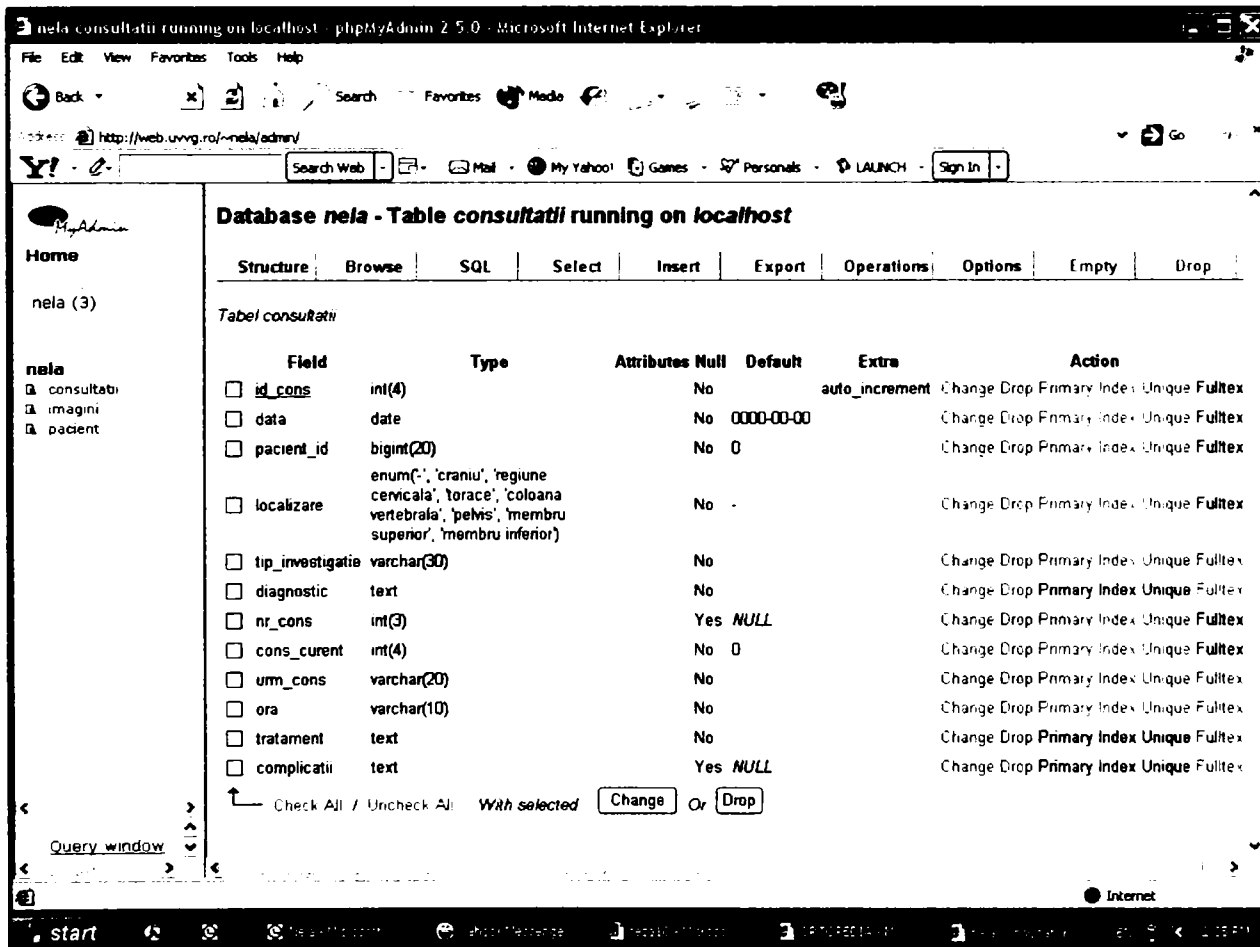


Fig. 7.53. Structura tabelului Consultații

Interfața de introducere a datelor direct în baza de date este reprezentată în figura 7.54.

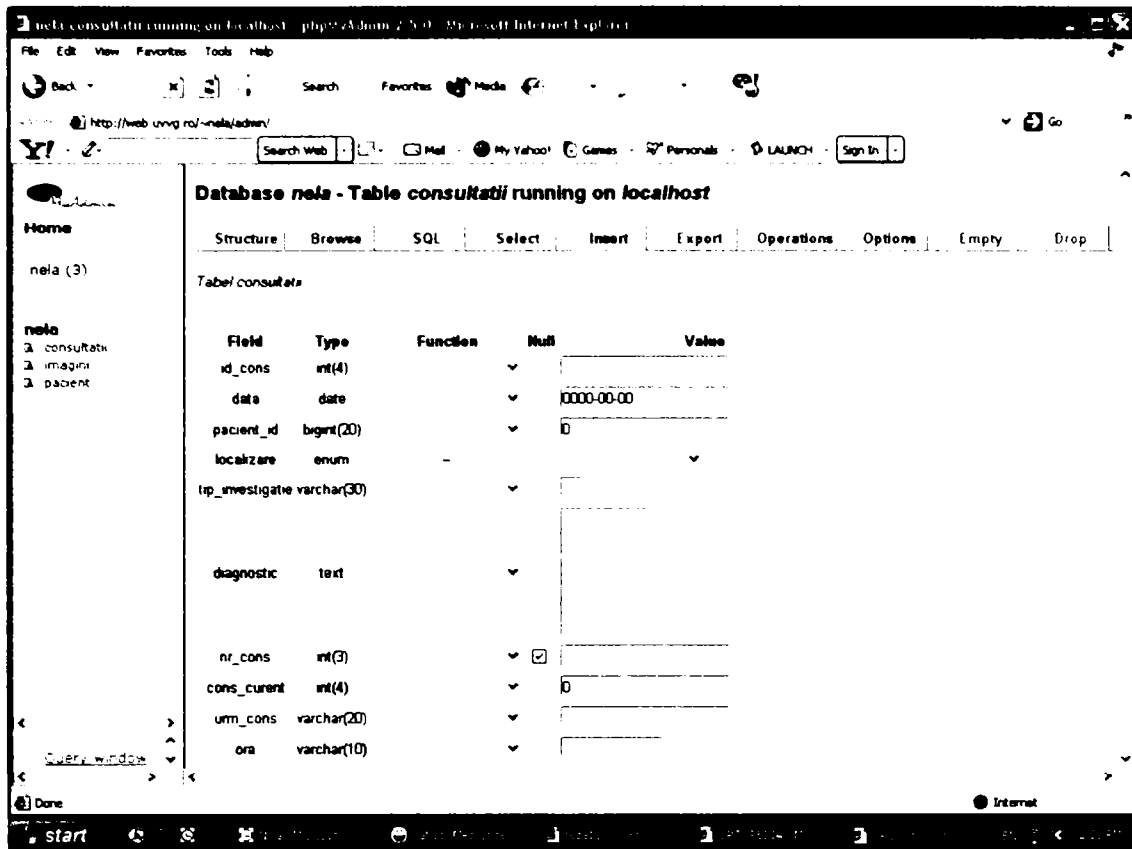


Fig. 7.54. Interfață de introducere a datelor pentru tabelul Consultații

După introducerea datelor, tabelul Consultații apare ca în figura 7.55.

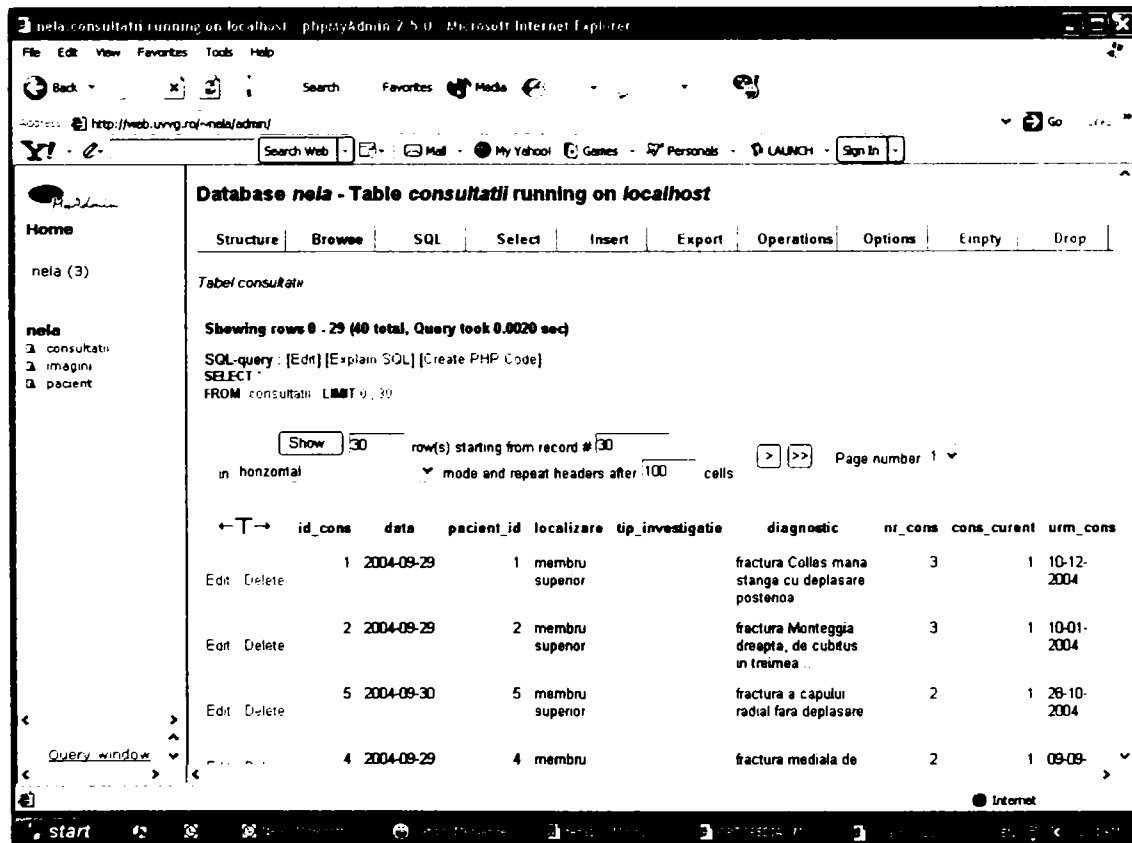


Fig. 7.55. Tabelul Consultații

Pentru realizarea tabelului **Imagini** s-au utilizat aceleași tipuri de date ca și la tabelele anterioare, numărul de câmpuri conținute fiind 4, iar cheia primară ID, reprezentând numărul imaginii. Structura tabelului **Imagini** este reprezentată în figura 7.56.

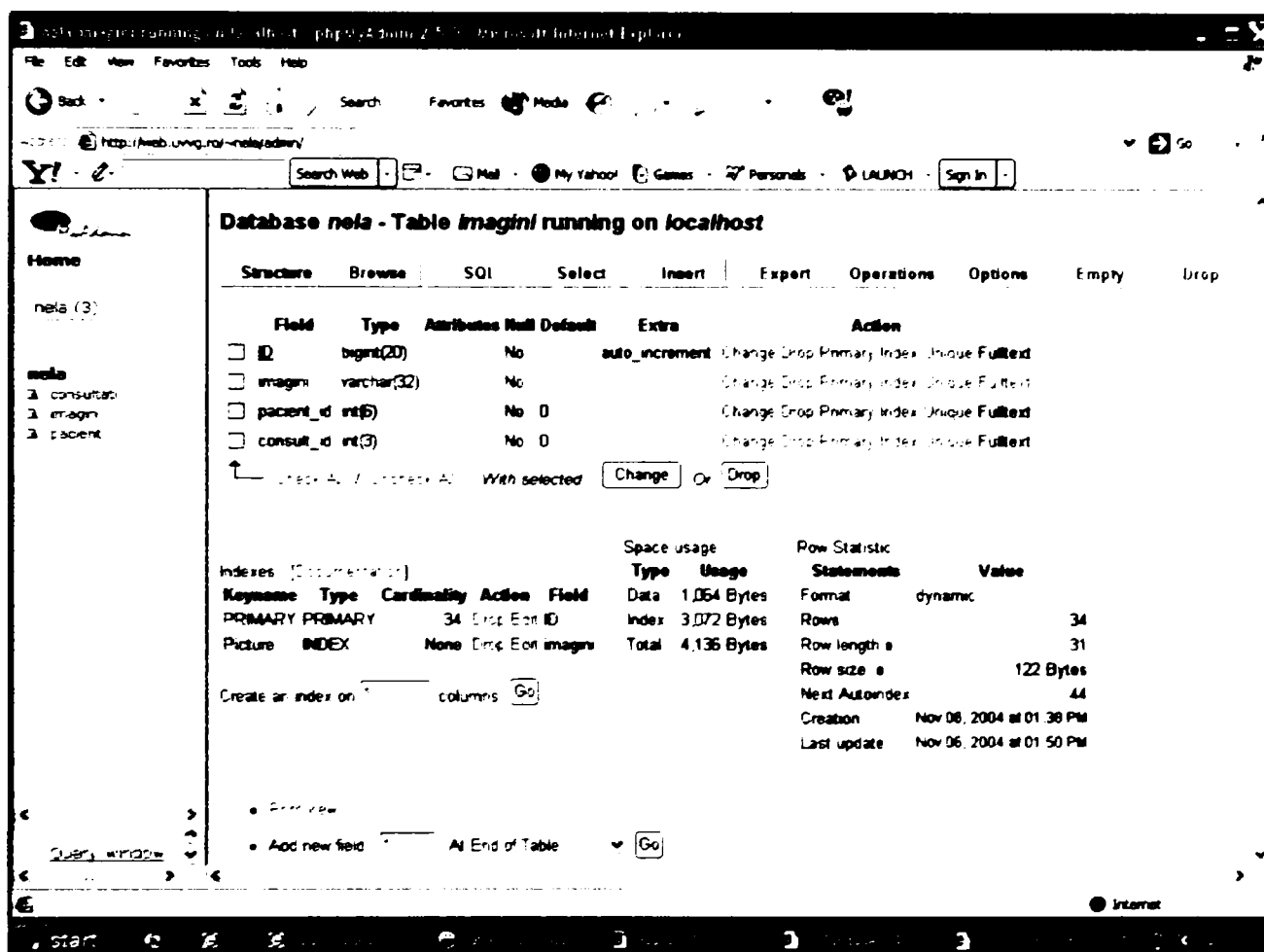


Fig. 7.56. Structura tabelului Imagini

Secvența de program corespunzătoare este:

```
# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.5.0
# http://www.phpmyadmin.net/ (download page)
#
# Host: localhost
# Generation Time: Nov 06, 2004 at 02:33 PM
# Server version: 4.0.12
# PHP Version: 4.3.1
# Database : nela
#
#-----
# Table structure for table imagini
#
# Creation: Nov 06, 2004 at 01:38 PM
# Last update: Nov 06, 2004 at 01:50 PM
```

```
#
CREATE TABLE `imagini` (
  `ID` bigint(20) NOT NULL auto_increment,
  `imagini` varchar(32) NOT NULL default '',
  `pacient_id` int(6) NOT NULL default '0',
  `consult_id` int(3) NOT NULL default '0',
  PRIMARY KEY (`ID`),
  KEY `Picture` (`imagini`)
) TYPE=MyISAM AUTO_INCREMENT=44 ;
#
# Dumping data for table `imagini`
#
```

Interfața de introducere a datelor direct în baza de date este reprezentată în figura 7.57.

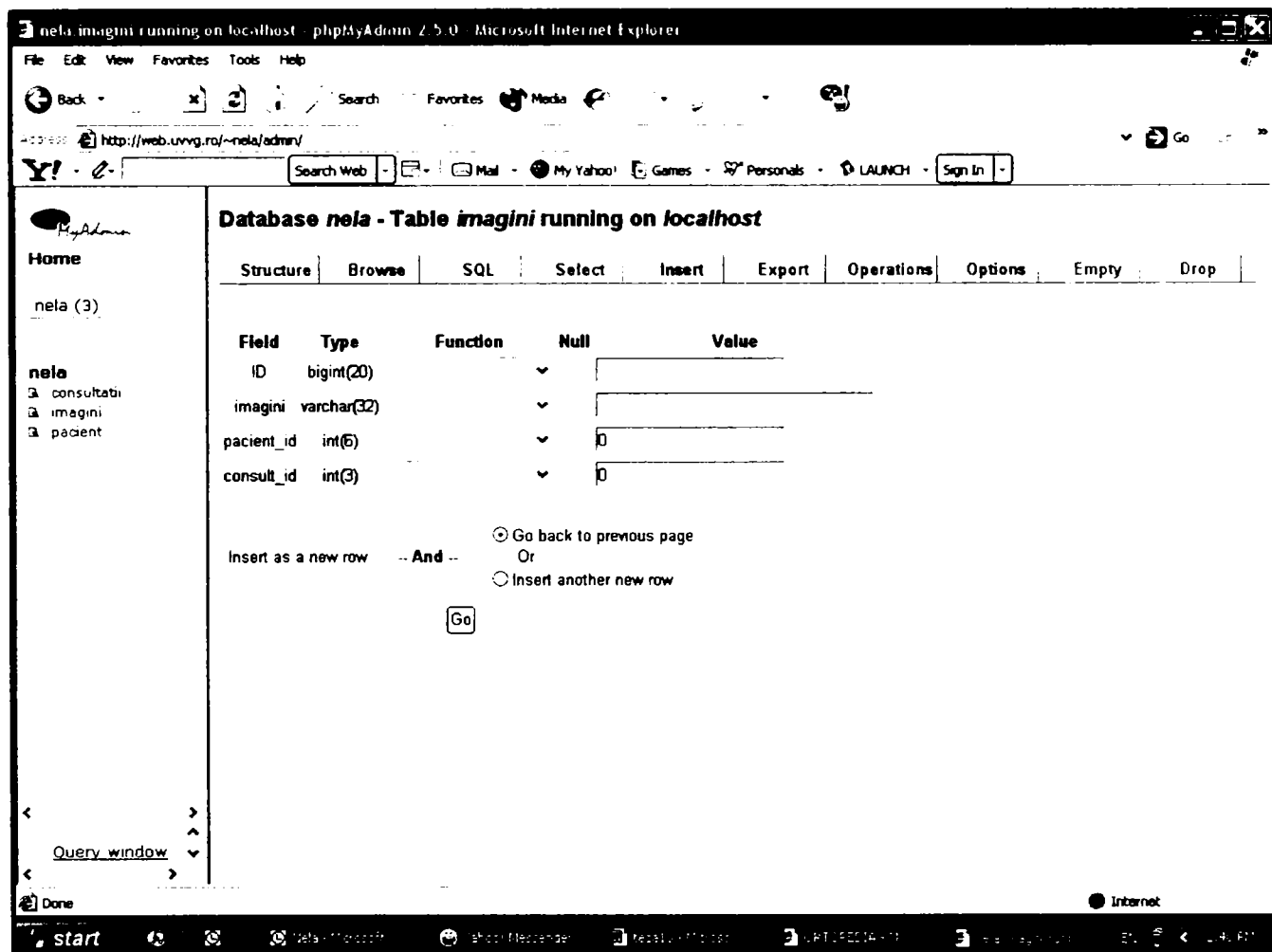


Fig. 7.57. Interfață de introducere a datelor pentru tabelul Imagini

După introducerea datelor, tabelul **Imagini** apare ca în figura 7.58.

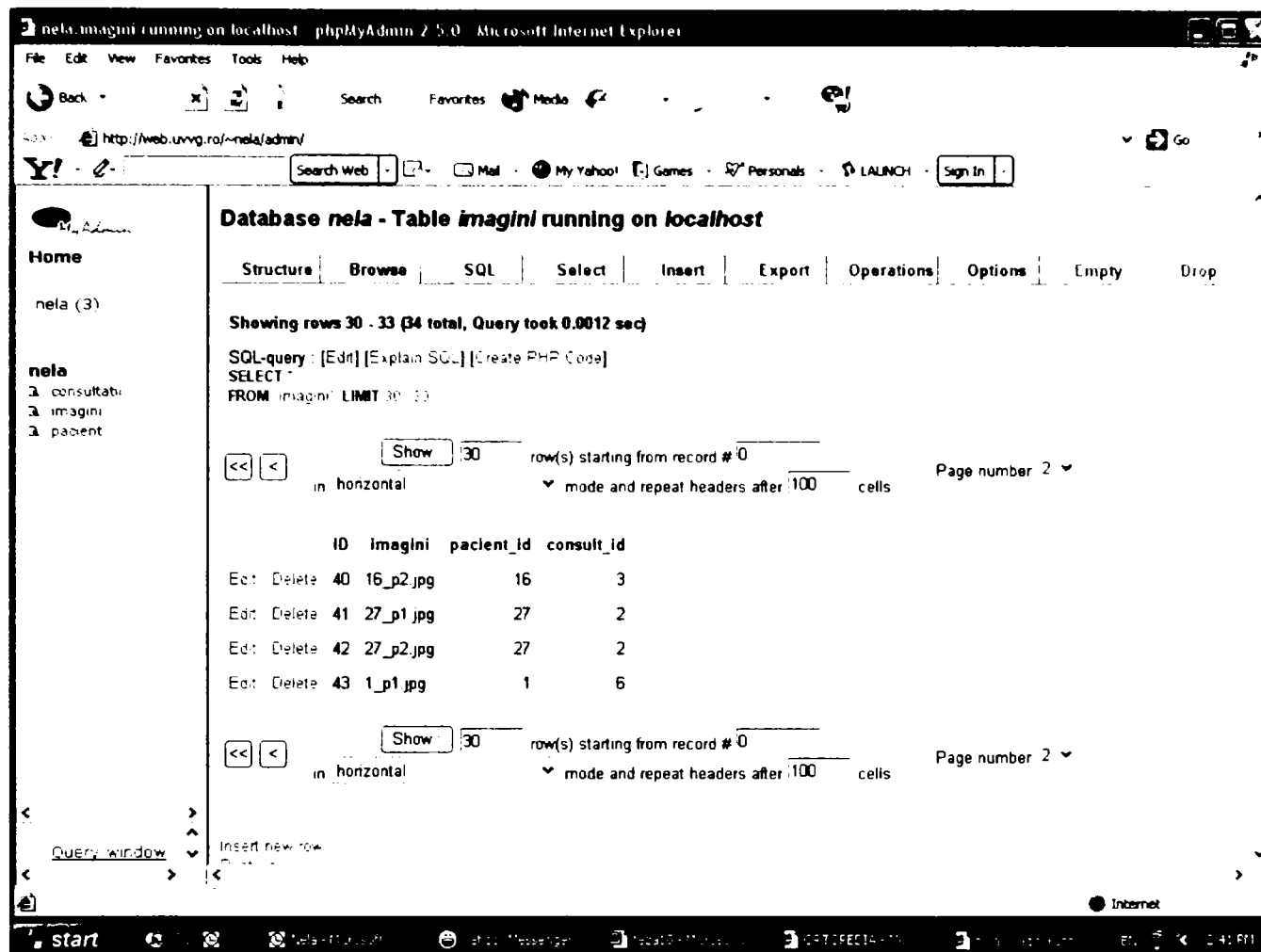


Fig. 7.58. Tabelul Imagini

◆ Introducerea datelor în baza de date prin intermediul unui formular

Formularul, numit *Ortoped*, asemenea bazei de date, a fost creat utilizând limbajul HTML (Hyper Text Markup Language – limbaj de marcare hipertext) [48], [118]. HTML este un limbaj de coduri speciale care se inserează într-un text, pentru a adăuga informații despre formatare și despre legături. Prin convenție, toate informațiile HTML încep cu o paranteză unghiulară deschisă (<) și se termină cu o paranteză unghiulară închisă (>). Acest marcaj HTML comunică unui interpretor HTML (program de navigare) că documentul este scris și formatat în limbajul HTML standard.

Pentru realizarea formularului s-au utilizat marcaje cum ar fi:

<HEAD>, </HEAD> pentru definirea antetului,

<BODY>, </BODY> pentru definirea corpului,

<TITLE>, </TITLE> pentru definirea titlului,

 pentru linie nouă,

<H1>, <H2>...</H1>, </H2> pentru formatarea subtitlurilor,
<HR>, </HR> pentru linie orizontală,
, , <I>, </I> pentru formatarea textului,
, pentru dimensiunea caracterelor,
, pentru culoarea textului,
<TABLE>, </TABLE> pentru definirea tabelelor,
<TD>, </TD> pentru definirea celulelor,
<TR>, </TR> pentru definirea rândurilor,
CELLPADDING pentru spațierea dintre chenar și conținutul celulei,
WIDTH pentru definirea lățimii tabelului,
ALIGN pentru alinierea datelor în celule,
<FORM>, </FORM> pentru delimitarea formularelor,
<INPUT> câmp pentru date de tip text,
TYPE pentru tipul câmpului de intrare,
NAME pentru numele simbolic al valorii câmpului,
VALUE pentru conținutul prestabilit al câmpului de tip text,
<SELECT> pentru casete de validare,
<TEXTAREA> pentru câmpurile de intrare de tip text pe linii multiple.

Formularul cuprinde o pagină home și trei link-uri către paginile de Introducere Pacient, Consultatii și Statistici, reprezentate în figurile 7.59, 7.60, 7.61 și 7.62.

Pagina **Introducere pacient** reprezintă un formular prin intermediul căruia se introduc datele referitoare la pacient, diagnostic, tratament, dar și date referitoare la numărul necesar de consultații și programarea acestora.

Prin intermediul paginii **Consultații** se face căutarea unui pacient după nume și căutarea după dată. Tot în această pagină se afișează orarul consultațiilor din ziua curentă și următoare.

Pentru realizarea unei evidențe complexe, aplicația conține și un modul de **statistici**.

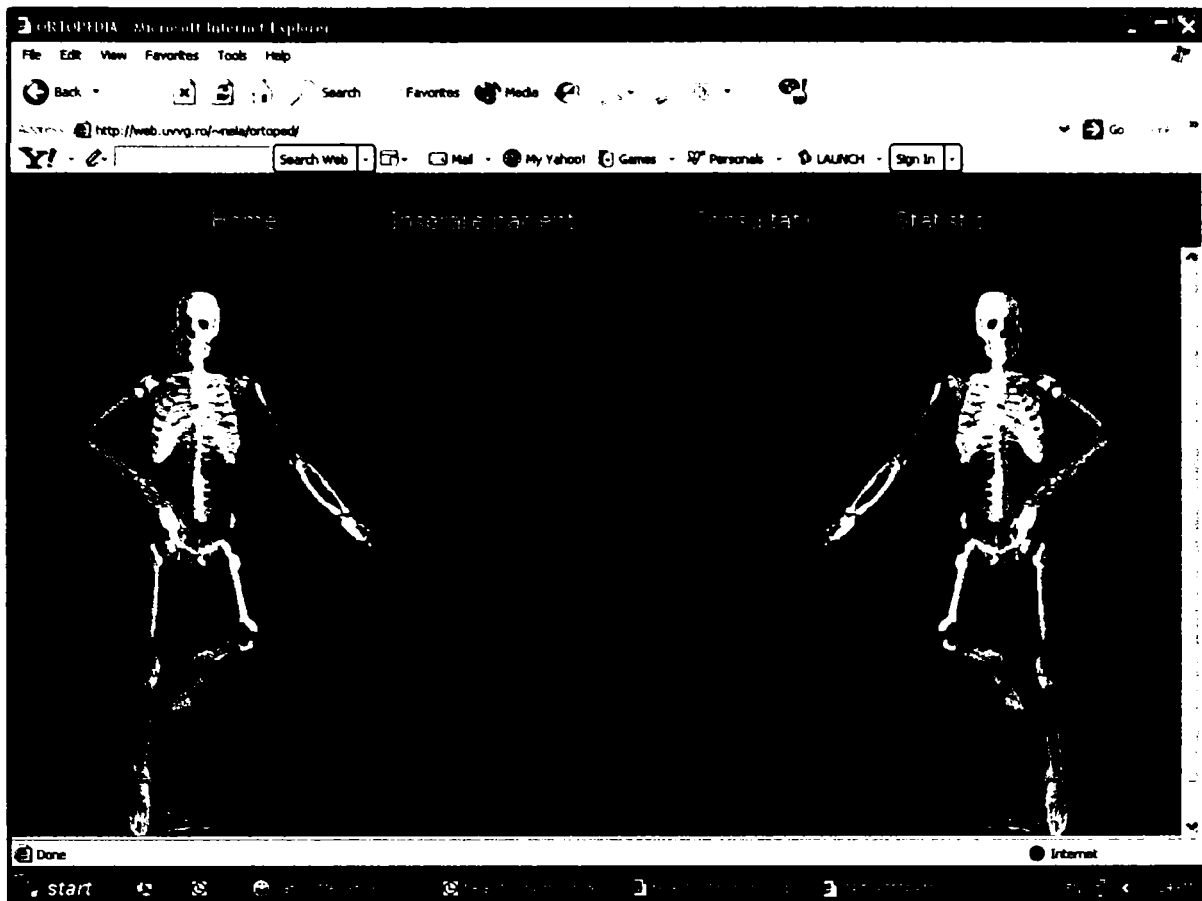


Fig. 7.59. Pagina principală a site-lui Ortopaedia

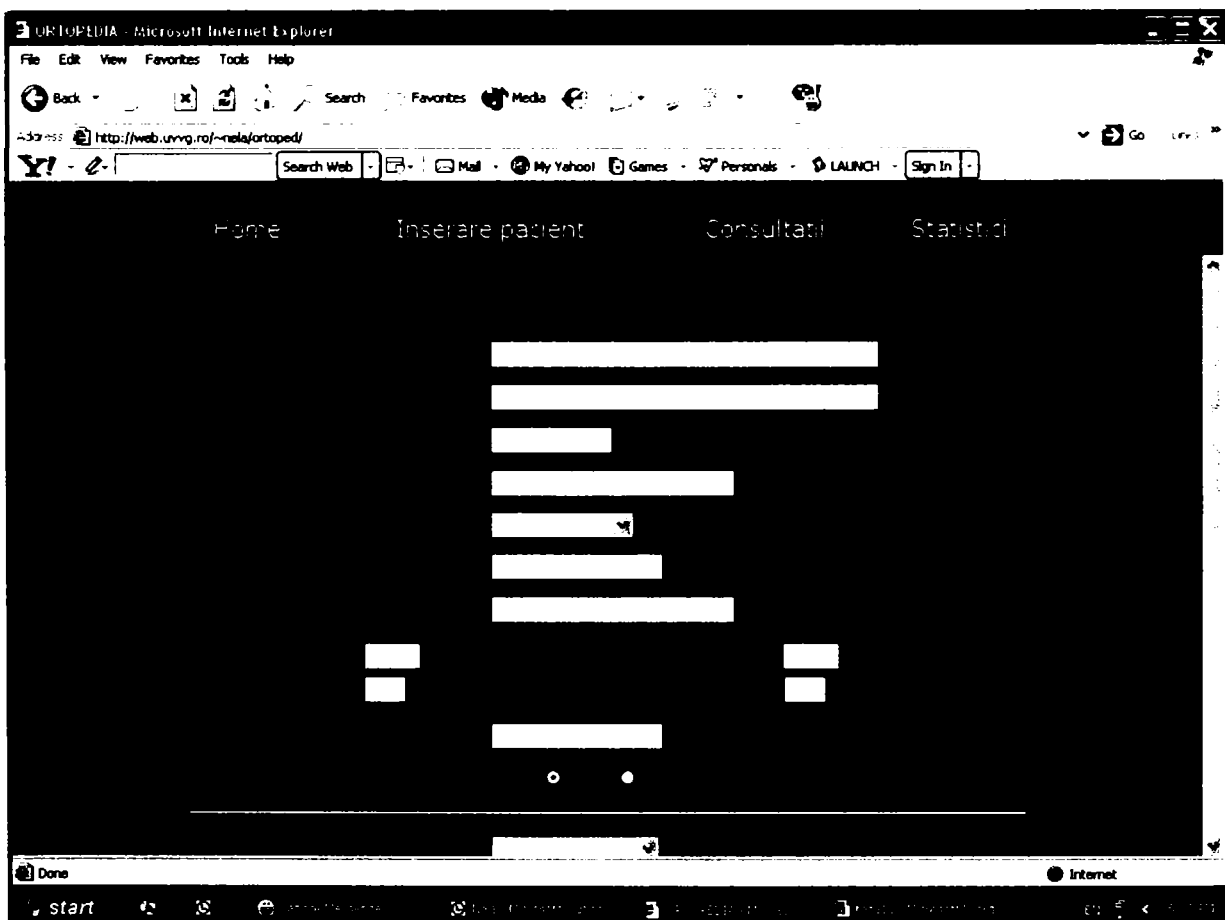


Fig. 7.60. Formularul de introducere a datelor

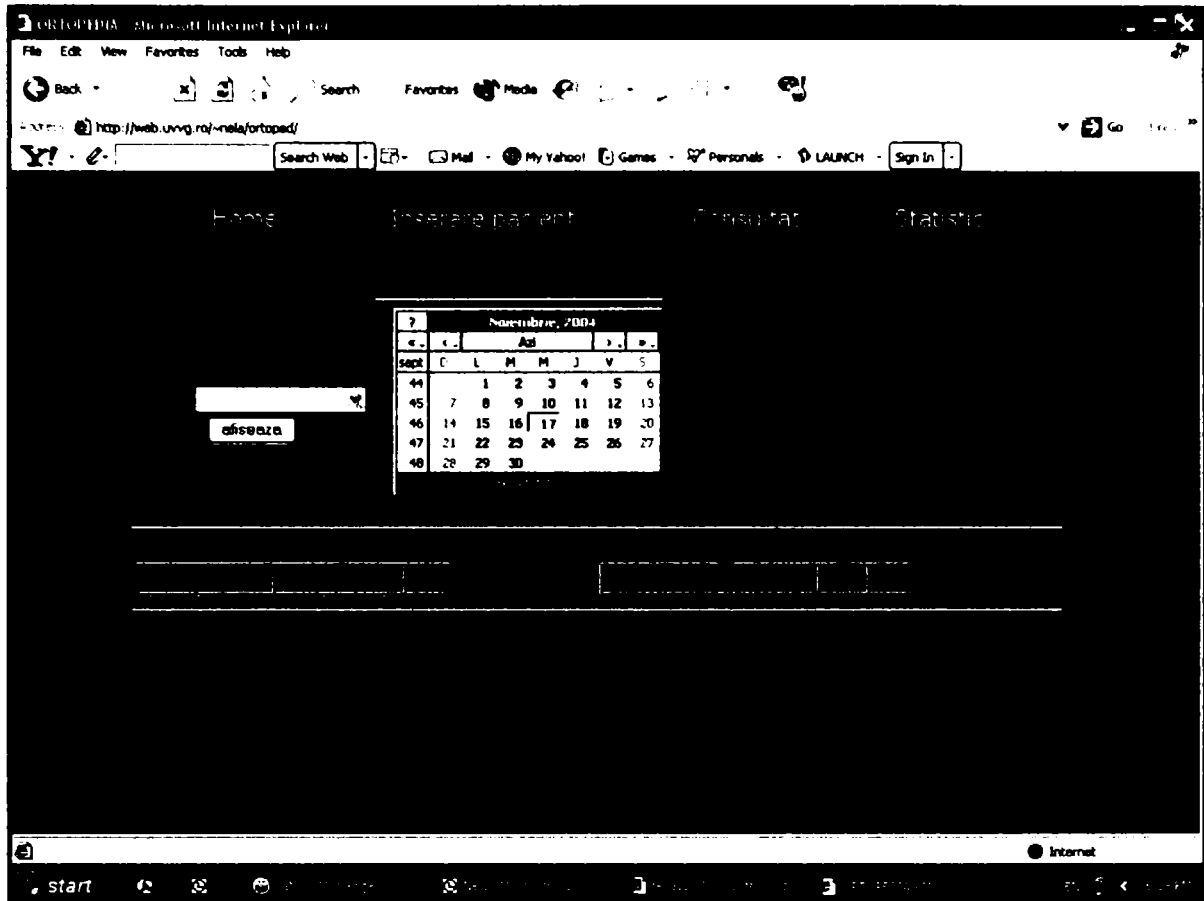


Fig.7.61. Pagina de căutare a pacienților după nume și orarul consultațiilor

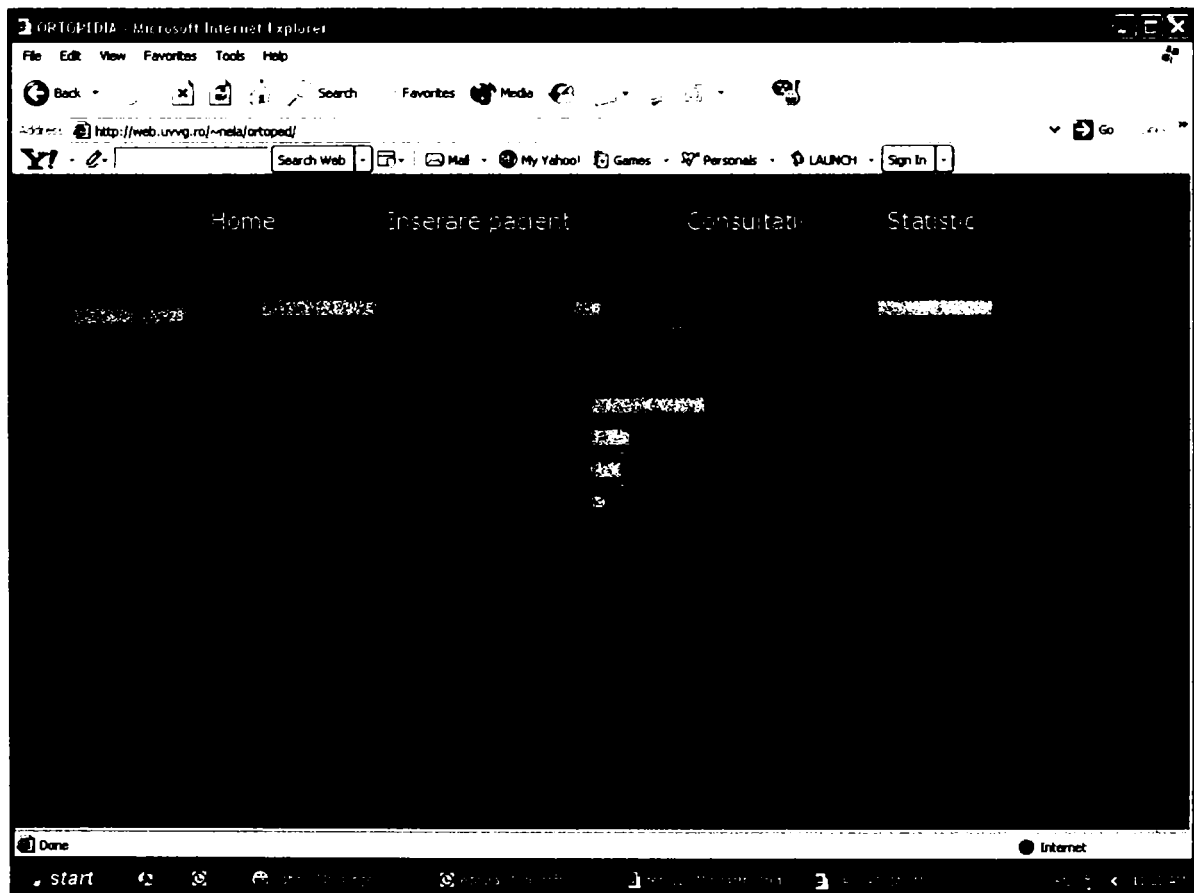


Fig. 7.62. Pagina de statistici


```

#divWrite2 {position:absolute; top:250px; left:200px; width:300px;
visibility:hidden}
</style>
<script language="JavaScript" type="text/javascript">

function lib_bwcheck(){ //Browsercheck (needed)
    this.ver=navigator.appVersion
    this.agent=navigator.userAgent
    this.dom=document.getElementById?1:0
    this.opera5=this.agent.indexOf("Opera 5")>-1
    this.ie5=(this.ver.indexOf("MSIE 5")>-1 && this.dom &&
!this.opera5)?1:0;
    this.ie6=(this.ver.indexOf("MSIE 6")>-1 && this.dom &&
!this.opera5)?1:0;
    this.ie4=(document.all && !this.dom && !this.opera5)?1:0;
    this.ie=this.ie4||this.ie5||this.ie6
    this.mac=this.agent.indexOf("Mac")>-1
    this.ns6=(this.dom && parseInt(this.ver) >= 5) ?1:0;
    this.ns4=(document.layers && !this.dom)?1:0;
    this.bw=(this.ie6 || this.ie5 || this.ie4 || this.ns4 || this.ns6 ||
this.opera5)
    return this
}
var bw=new lib_bwcheck()

//Here are the variables you have to set:

//There are 2 ways this script can work.
// 0 = WriteText
// 1 = RemoveText
wWorks = 0

var wText = "ORTOPAEDIA" //The text you want write out
var wFontSize = 72 //Set the fontsize you want
var wColor = "#003399" //The text color
var wAlign = "center" //the alignment of the text, you can choose
center, right or left.
var wSpeed = 150 //Set the speed you want it to write in (in
milliseconds between each letter)
var wFont = 'monotype corsiva,bold,arial,helvetica,sans-serif' //The font
face
var wHide = false //do you want it to hide when its done? (true
or false)
var wHidewait = 1000 //Set the time you want it to wait before it
hides

/*You can remove this if you don't want it to start right away.
You can have it start if someone clicks a link (make a link like this:
<a href="#" onclick="writeInit()">Click to writetext</a>)*
onload = writeInit;

/***** You shouldn't really have to set anything below this point
*****/
//Object functions
function
makeWriteObj(obj,text,size,color,align,speed,font,hide,hidewait,works){
    this.css=bw.dom?
document.getElementById(obj).style:bw.ie4?document.all[obj].style:bw.ns4?do
cument.layers[obj]:0;

```



```

    this.writeref=bw.dom?
document.getElementById(obj):bw.ie4?document.all[obj]:bw.ns4?document.layers[obj].document:0;
    this.text=text; this.size=size; this.color=color; this.align=align;
this.speed=speed;
    this.font=font; this.hide=hide; this.hidewait=hidewait;
this.writeWrite=b_writeWrite;
    this.writeText=b_writeText; this.removeText=b_removeText;
this.works=works; this.write=b_write
    if(bw.dom || bw.ie4){ //Setting the style properties
        this.css.fontFamily=this.font;
this.css.fontSize=this.size+"px"; this.css.color=this.color;
        this.css.textAlign=this.align
    }
    this.obj = obj + "Object";    eval(this.obj + "=this"); return this
}
function b_write(num,fn){
    if(!fn) fn=""
    if(!this.works) this.writeText(num,fn)
    else this.removeText(fn)
}
function b_writeWrite(text){
    if(bw.ns4){
        this.writeref.write('<p style="text-align:'+this.align+'; font-size:'
+this.size+'px; font-family:'+this.font+'; color:'+this.color+'">'+text+'</p>')
        this.writeref.close()
    }else this.writeref.innerHTML = text
}
function b_writeText(num,fn){
    if (num<=this.text.length){
        wtext = this.text.substr(0,num)
        this.writeWrite(wtext)
        num ++
        setTimeout(this.obj+".writeText("+num+", '"+fn+"')",this.speed)
    }else{
        if(this.hide)
setTimeout(this.obj+".css.visibility='hidden'",this.hidewait);
        eval(fn)
    }
}
function b_removeText(fn){
    if (this.text.length>0){
        this.text = this.text.slice(0,this.text.length-1)
        this.writeWrite(this.text)
        setTimeout(this.obj+".removeText('"+fn+"')",this.speed)
    }else{
        if(this.hide)
setTimeout(this.obj+".css.visibility='hidden'",this.hidewait);
        eval(fn)
    }
}
}
/*Initiates the object, shows it and starts the zoom
*****
/
function writeInit(){
    if(bw.bw){
        oWrite = new
makeWriteObj('divWrite',wText,wFontSize,wColor,wAlign,wSpeed,wFont,wHide,wHidewai,wWorks)

```

```
//Change the line below to: oWrite.write(0) if you only have
one object.

oWrite.write(0,'oWrite2.css.visibility="visible";oWrite2.write(0)')
oWrite.css.visibility = "visible"

//Another object, just remove this line if you only want one
object. It's just to show you how can have more objects.
oWrite2 = new
makeWriteObj('divWrite2',"",20,"red","left",100,"Verdana,Arial",1,500,0)
}
}
</script>
</head>

<body marginleft="0" marginheight="0">
<!-- START DELETE -->

<!-- END DELETE -->

<div id="divWrite">asdasd</div>
<div id="divWrite2"></div>

<table border=0 width=100%><tr><td>
<img src=poze/schelet1.jpg align=left height=500>
</td><td>
<img src=poze/schelet.jpg align=right height=500>
</td></tr></table>

</body>
</html>
```

Pagina Inserare pacienți (datepacient.php):

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE></TITLE>
</HEAD>

<BODY bgcolor=#6699CC leftmargin="100">

<B><h2><font color="#003399">Date pacient</h2></B>
<form method="post" action="date.php">
<center>
<table border=0 cellpadding="5" width=90%>
<tr>
<td><b><font color="#003399"></font></b></td>
<td><input type="hidden" name="pacient_id" size="5"></td>
</tr><tr>
<td><b><font color="#003399">Numele:</b></td>
<td><input type="text" name="numele" size=50></td>
</tr>
<tr>
<td><b><font color="#003399">Prenumele:</b></td>
<td><input type="text" name="prenumele" size=50></td>
</tr>
```

```

<tr>
  <td><b><font color="#003399">CNP:</b></td>
  <td><input type="text" name="cnp" size="13" MAXLENGTH="13"></td>
</tr>
<tr>
  <td><b><font color="#003399">Profesia:</b></td>
  <td><input type="text" name="profesia" size=30></td>
</tr><tr>
  <td><b><font color="#003399">Judet:</b></td>
  <td>
    <SELECT name="judet">
      <OPTION value=0></OPTION>
<OPTION value=alba>Alba</OPTION>
<OPTION value="arad">Arad</OPTION>
<OPTION value=arges>Arges</OPTION>
<OPTION value=bacau>Bacau</OPTION>
<OPTION value=bihor>Bihor</OPTION>
<OPTION value=bistrita-nasaud>Bistrita-Nasaud</OPTION>
<OPTION value=botosani>Botosani</OPTION>
<OPTION value=braila>Braila</OPTION>
<OPTION value=brasov>Brasov</OPTION>
<OPTION value=bucuresti>Bucuresti</OPTION>
<OPTION value=buzau>Buzau</OPTION>
<OPTION value=calarasi>Calarasi</OPTION>
<OPTION value=caras-severin>Caras-Severin</OPTION>
<OPTION value=cluj>Cluj</OPTION>
<OPTION value=constanta>Constanta</OPTION>
<OPTION value=covasna>Covasna</OPTION>
<OPTION value=dambovita>Dambovita</OPTION>
<OPTION value=dolj>Dolj</OPTION>
<OPTION value=galati>Galati</OPTION>
<OPTION value=giurgiu>Giurgiu</OPTION>
<OPTION value=gorj>Gorj</OPTION>
<OPTION value=hargita>Harghita</OPTION>
<OPTION value=hunedoara>Hunedoara</OPTION>
<OPTION value=ialomita>Ialomita</OPTION>
<OPTION value=iasi>Iasi</OPTION>
<OPTION value=ilfov>Ilfov</OPTION>
<OPTION value=maramures>Maramures</OPTION>
<OPTION value=mehedinti>Mehedinti</OPTION>
<OPTION value=mures>Mures</OPTION>
<OPTION value=neamt>Neamt</OPTION>
<OPTION value=olt>Olt</OPTION>
<OPTION value=prahova>Prahova</OPTION>
<OPTION value=salaj>Salaj</OPTION>
<OPTION value=satumare>Satu Mare</OPTION>
<OPTION value=sibiu>Sibiu</OPTION>
<OPTION value=suceava>Suceava</OPTION>
<OPTION value=teleorman>Teleorman</OPTION>
<OPTION value=timis>Timis</OPTION>
<OPTION value=tulcea>Tulcea</OPTION>
<OPTION value=valcea>Valcea</OPTION>
<OPTION value=vaslui>Vaslui</OPTION>
<OPTION value=vrancea>Vrancea</OPTION>
</SELECT>
</tr>
<tr>
  <td><b><font color="white">Localitate:</b></td>
  <td><input type="text" name="localitate">
</td>

```



```

</tr>
<tr>
  <td><b><font color="white">Tip investigatie:</font></b></td>
  <td><select name="tipinvestigatie">
    <option value="0"> </option>
    <option>radiografie
    <option>tomografie computerizata
    <option>rezonanta magnetica
    <option>fara
  </select></td>
</tr>

<tr>
  <td><b><font color="white">Diagnostic:</b></td>
  <td><textarea name="diagnostic" cols="40" rows="4">
  </textarea></td>
</tr>
<tr>
  <td><b><font color="white">Tratament:</b></td>
  <td><textarea name="tratament" cols="40" rows="4">
  </textarea></td>
</tr>

<tr>
  <td><b><font color="white">Comentarii:</b></td>
  <td><textarea name="comentarii" cols="40" rows="4">
  </textarea></td>
</tr>
  <tr>
    <td><b><font color="white">Nr. de consultatii necesare:</b></td>
    <td><font color="white"><b>
      <select name=nr_cons>
<option value=1>1</option>
<option value=2>2</option>
<option value=3>3</option>
<option value=4>4</option>
<option value=5>5</option>
<option value=6>6</option>
<option value=7>7</option>
<option value=8>8</option>
<option value=9>9</option>
<option value=10>10</option>
<option value=11>11</option>
<option value=12>12</option>
<option value=13>13</option>
<option value=14>14</option>
<option value=15>15</option>
<option value=16>16</option>
<option value=17>17</option>
<option value=18>18</option>
<option value=19>19</option>
<option value=20>20</option>
</select>
      </td>
    </tr>
  <tr>
    <td><b><font color="white">Urmatoarea cosultatie:</b></td>

```

```

<td>

<html style="background-color: buttonface; color: buttontext;">

<head>
<meta http-equiv="content-type" content="text/xml; charset=utf-8" />

<title>Simple calendar setups [popup calendar]</title>

  <!-- calendar stylesheet -->
  <link rel="stylesheet" type="text/css" media="all" href="cal/calendar-
win2k-cold-1.css" title="win2k-cold-1" />

  <!-- main calendar program -->
  <script type="text/javascript" src="cal/calendar.js"></script>

  <!-- language for the calendar -->
  <script type="text/javascript" src="cal/lang/calendar-en.js"></script>

  <!-- the following script defines the Calendar.setup helper function,
which makes
      adding a calendar a matter of 1 or 2 lines of code. -->
  <script type="text/javascript" src="cal/calendar-setup.js"></script>

</head>

<body>
dt.php
<hr />
<!-- <form action="#" method="get">-->
<input type="text" name="date" id="f_date_b" /><button type="reset"
id="f_trigger_b"> seteaza</button>
<!-- </form> -->

<script type="text/javascript">
  Calendar.setup({
    inputField      :    "f_date_b",      // id of the input field
    ifFormat        :    "%d-%m-%Y %I:%M %p", // format of the
input field
    showsTime       :    true,           // will display a time
selector
    button          :    "f_trigger_b",   // trigger for the calendar
(button ID)
    singleClick     :    false,          // double-click mode
    step            :    1                // show all years in drop-down
boxes (instead of every other year as default)
  });
</script>

<hr />

</body>
</html>
</td>
</tr>
<tr>
<td align=center><br><input type="reset" value="Sterge"></td>
<td align=center><br><input type="submit" value="Trimite"></td>
</tr>
</table>

```

```

</form>
<hr>
<br> <br> <br> <br>
</body>

```

Pagina Consultații (orarconsult.php):

```

<HTML>
<HEAD>
<TITLE></TITLE>
</HEAD>
<BODY bgcolor=#6699CC leftmargin="100">
<font size=4 color="#003399">Orar consultatii</font</center>

<table border=0><tr>
<td align=center>
<HTML>
<HEAD>
<TITLE></TITLE>
</HEAD>
<BODY bgcolor=#6699CC leftmargin="100">

<center><font size=4 color="#003399">Afisare pacient</font</center>
<form method="post" action="cautare_pacient.php">
<table border=0><tr>
<td>
<font color="#003399">Nume : </font>
</td><td>
<select name="numele">

  <option value="0"> </option>
  <option value=Andone>Andone Adela</option>
  <option value=Ciongradi>Ciongradi Aurel</option>
  <option value=Ciorbea>Ciorbea Victor</option>
  <option value=Cosmin>Cosmin Herman</option>
  <option value=dtruyrtuy>dtruyrtuy ftyuftyu</option>
  <option value=Dumbrava>Dumbrava Daniel</option>
  <option value=Evgheny>Evgheny Primakov</option>
  <option value=Fireescu>Fireescu Claudiu</option>
  <option value=Gligor>Gligor Shandor</option>
  <option value=Ionescu>Ionescu Marin</option>
  <option value=kkk>kkk kkk</option>
  <option value=maertr>maertr ertryh</option>
  <option value=mani>mani iukjkk</option>
  <option value=Melci>Melci Eva</option>
  <option value=Micloshi>Micloshi Laurentiu</option>
  <option value=Mihailescu>Mihailescu Augustin</option>
  <option value=Mioarca>Mioarca Corina</option>
  <option value=Naaji>Naaji laith</option>
  <option value=Nagy>Nagy Ildicoooo</option>
  <option value=Nita>Nita Maria</option>
  <option value=Norbert>Norbert Alina</option>
  <option value=Peres>Peres Viorel</option>
  <option value=Petraichi>Petraichi Adrian</option>
  <option value=Pintea>Pintea Pavel</option>
  <option value=Sarbu>Sarbu Maria</option>
  <option value=Tarlea>Tarlea Alina</option>
  <option value=Vesa>Vesa Dominique</option>
</select>

```

```

</td></tr>
</table>
<input type=submit value=afiseaza>
</form>

</body>
</html>
</td><td>
<html style="background-color: buttonface; color: buttontext;">

<head>
<meta http-equiv="content-type" content="text/xml; charset=utf-8" />

<title>Simple calendar setup [flat calendar]</title>

<!-- calendar stylesheet -->
<link rel="stylesheet" type="text/css" media="all" href="cal/calendar-
win2k-cold-1.css" title="win2k-cold-1" />

<!-- main calendar program -->
<script type="text/javascript" src="cal/calendar.js"></script>

<!-- language for the calendar -->
<script type="text/javascript" src="cal/lang/calendar-en.js"></script>

<!-- the following script defines the Calendar.setup helper function,
which makes
    adding a calendar a matter of 1 or 2 lines of code. -->
<script type="text/javascript" src="cal/calendar-setup.js"></script>

</head>

<body>

<hr />

<div style="float: right; margin-left: 1em; margin-bottom: 1em;"
id="calendar-container"></div>

<script type="text/javascript">
function dateChanged(calendar) {
    // Beware that this function is called even if the end-user only
    // changed the month/year. In order to determine if a date was
    // clicked you can use the dateClicked property of the calendar:
    if (calendar.dateClicked) {
        // OK, a date was clicked, redirect to /yyyy/mm/dd/index.php
        var y = calendar.date.getFullYear();
        var m = 1 +
            calendar.date.getMonth(); // integer, 0..11
        var d = calendar.date.getDate(); // integer, 1..31
        // redirect...
        window.location = "orar_consult.php?d=" + d + "-" + m + "-" + y + "";
    }
};

Calendar.setup(
{
    flat          : "calendar-container", // ID of the parent element
    flatCallback : dateChanged          // our callback function
}

```



```

);
</script>
</body>
</html>
</td></tr>
</table>

<hr>
<table border=0 width=100%><tr><td>

<table border=1>
<tr>
<td>
<font color="aquamarine">Nume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Prenume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Cons. nr. : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Data : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Ora : </font>
</td>
</tr>
Consultatiile de azi <b>06-11-2004</B>      </table>

</td><td valign=top>
<table border=1>
<tr>
<td>
<font color="aquamarine">Nume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Prenume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Cons. nr. : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Data : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Ora : </font>
</td>
</tr>

Consultatiile de maine <b>07-11-2004</B>      </table>
</td></tr></table>
<hr>
</body>
</html>

```

Pagina Statistici (statistica.php):

```
<body bgcolor=#6699CC>
  <table width=100% border=0>
    <tr>
      <td width=120>

          <table style='font-family: Arial; font-size:
8pt'><tr><tr><td colspan=2 align='center'><u><b>Numarul
pacientilor</b></u></td></tr><td align='right'>
      <div style ='height: 10px;'>2004</div>
      </td><td>
          <TABLE style='border-bottom: 1px solid black; border-
left: 1px solid black;font-family: Arial; font-size: 8pt; '>
              <tr><td>

                  <div style='background-color: #a0a0a0; text-align:
right; color: white;
                                height: 10px;
                                width: 100px;'> 27&nbsp;</div>

          </td></tr>
          </table></td></tr>
      <tr><td></td><td>Pacinti</td></tr>
    </table>

  </td><td>

          <table style='font-family: Arial; font-size:
8pt'><tr><tr><td colspan=2 align='center'><u><b>Clasificare dupa
Sex</b></u></td></tr><td align='right'>
      <div style ='height: 10px;'>Masculin</div><div style ='height:
10px;'>Feminin</div>
      </td><td>
          <TABLE style='border-bottom: 1px solid black; border-
left: 1px solid black;font-family: Arial; font-size: 8pt; '>
              <tr><td>

                  <div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                                height: 10px;
                                width: 100px;'> 16&nbsp;</div>

                  <div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
                                height: 10px;
                                width: 68.75px;'> 11&nbsp;</div>

          </td></tr>
          </table></td></tr>
      <tr><td></td><td>Pacinti M / F</td></tr>
    </table>
  </td>

  <td>

          <table style='font-family: Arial; font-size:
8pt'><tr><tr><td colspan=2 align='center'><u><b>Clasificare dupa
varsta</b></u></td></tr><td align='right'>
      <div style ='height: 10px;'>Majori</div><div style ='height:
10px;'>Minori</div>
      </td><td>


```

```

        <TABLE style='border-bottom: 1px solid black; border-
left: 1px solid black;font-family: Arial; font-size: 8pt; '>
            <tr><td>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
            height: 10px;
            width: 28.5714285714px;''>
6&nbsp;</div>

<div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
            height: 10px;
            width: 100px;''> 21&nbsp;</div>

            </td></tr>
        </table></td></tr>
        <tr><td></td><td>Pacinti Maj / Min</td></tr>
    </table>
</td>

    <td>

        <table style='font-family: Arial; font-size:
8pt;'><tr><tr><td colspan=2 align='center'><u><b>Clasificare dupa
provenienta</b></u></td></tr><td align='right'>
            <div style ='height: 10px;''>Urban</div><div style ='height:
10px;''>Rural</div>
            </td><td>
                <TABLE style='border-bottom: 1px solid black; border-
left: 1px solid black;font-family: Arial; font-size: 8pt; '>
                    <tr><td>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                    height: 10px;
                    width: 100px;''> 21&nbsp;</div>

<div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
                    height: 10px;
                    width: 28.5714285714px;''>
6&nbsp;</div>

                    </td></tr>
                </table></td></tr>
                <tr><td></td><td>Pacinti U / R</td></tr>
            </table>
        </td>
    </tr>
    <tr>
        <td colspan=4 align=center>

            <table style='font-family: Arial; font-size:
8pt;'><tr><tr><td colspan=2 align='center'><u><b>Clasificare dupa
localizare</b></u></td></tr><td align='right'>
                <div style ='height: 10px;''><a
href=detalii.php?q=1>Craniu</a></div><div style ='height: 10px;''><a
href=detalii.php?q=2>Regiune cervicala</a></div><div style ='height:
10px;''><a href=detalii.php?q=3>Torace</a></div><div style ='height:
10px;''><a href=detalii.php?q=4>Coloana vertebrala</a></div><div style
='height: 10px;''><a href=detalii.php?q=5>Pelvis</a></div><div style

```

```

='height: 10px; '><a href=detalii.php?q=6>Membru superior</a></div><div
style = 'height: 10px; '><a href=detalii.php?q=7>Membru inferior</a></div>
    </td><td>
        <TABLE style='border-bottom: 1px solid black; border-
left: 1px solid black;font-family: Arial; font-size: 8pt; '>
            <tr><td>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 100px; '> 14&nbsp;</div>

<div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 42.8571428571px; '>
6&nbsp;</div>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 35.7142857143px; '>
5&nbsp;</div>

<div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 28.5714285714px; '>
4&nbsp;</div>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 28.5714285714px; '>
4&nbsp;</div>

<div style='background-color: #707070; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 35.7142857143px; '>
5&nbsp;</div>

<div style='background-color: #a0a0a0; text-align: right; color: white;
                height: 10px;
                width: 14.2857142857px; '>
2&nbsp;</div>

            </td></tr>
        </table></td></tr>
    <tr><td></td><td>Numarul de cazuri</td></tr>
</table>

    &nbsp;</td>
</tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

```

◆ Preluarea datelor din formular

Pentru a descrie un formular se utilizează eticheta FORM, care are următoarea formă elementară: `<FORM METHOD="metoda" ACTION="url">` [80].

Atributul **METHOD** poate lua una din valorile GET sau POST. Când METHOD este GET (implicit), datele introduse în form sunt trimise ca o cerere HTTP GET cu `?form_data` adăugat la sfârșitul URL-ului specificat de atributul ACTION. Astfel, datele trimise prin metoda GET pot fi vizualizate de către utilizator. Folosirea metodei GET permite ca trimiterea form-ului să fie conținută în URL. Aceasta prezintă avantajul că poate fi făcută bookmark în browser-ele actuale, dar, datele nu pot conține caractere non-ASCII precum "é" și "©". De asemenea, cantitatea de date care poate fi procesată prin metoda GET este limitată de lungimea maximă a URL-ului pe care o acceptă server-ul și browser-ul. Pentru siguranță, form-urile care ar putea conține caractere non-ASCII sau mai mult de 100 de caractere trebuie să folosească METHOD=POST. Cu valoarea METHOD egală cu POST, datele introduse în form sunt trimise ca o cerere HTTP POST, iar datele sunt conținute în interiorul cererii. Majoritatea browser-urilor actuale nu pot face bookmark la cereri POST, dar, astfel POST nu limitează lungimea și tipul de caracter introdus.

Variabilele din php pot fi preluate și afișate într-o fereastră nouă prin una din modalitățile:

1. `$_POST["nume_variabila"]` sau cu `$_GET["nume_variabila"]` (în funcție de atributul method al formularului – post sau get)
2. `$HTTP_POST_VARS["nume_variabila"]` sau `$HTTP_GET_VARS ["nume_variabila"]`.

Așa cum se observă din sursele prezentate, pentru preluarea datelor am utilizat metoda POST.

◆ Posibilități de accesare a formularului pe Internet

Fișierele corespunzătoare formularelor de introducere a datelor în baza de date Ortoped au fost salvate cu denumirile `datepacient.php`, respectiv `orarconsult.php`. Pagina principală a fost salvată în fișierul `index.html`. Fișierele au fost copiate pe serverul de unde pot fi accesate formularele prin intermediul Internetului utilizând tehnologia SSH (Secure Shell).

Tehnologia SSH reprezintă standardul folosit ca securizare a accesului la distanță pentru conectarea în rețele ce folosesc protocolul IP. SSH securizează conectarea prin Internet

realizând o criptare a tuturor datelor transmise: parole, fișiere sau comenzi de administrare. SSH înlocuiește în întregime programele comune de Telnet, FTP și poate chiar oferi o canalizare securizată pentru alte aplicații ce rulează în rețea oferind suport integrat pentru Public Key Infrastructure (PKI) și alte metode de autentificare (smart cards sau chei USB).

Pentru conectarea la serverul utilizat pentru găzduirea fișierelor menționate și a bazei de date, trebuie introduse câteva date ca: **Host Name**, **User Name**, și **Port Number**.

Interfața programului SSH Workstation 3.2.3. este prezentată în figura 7.63.

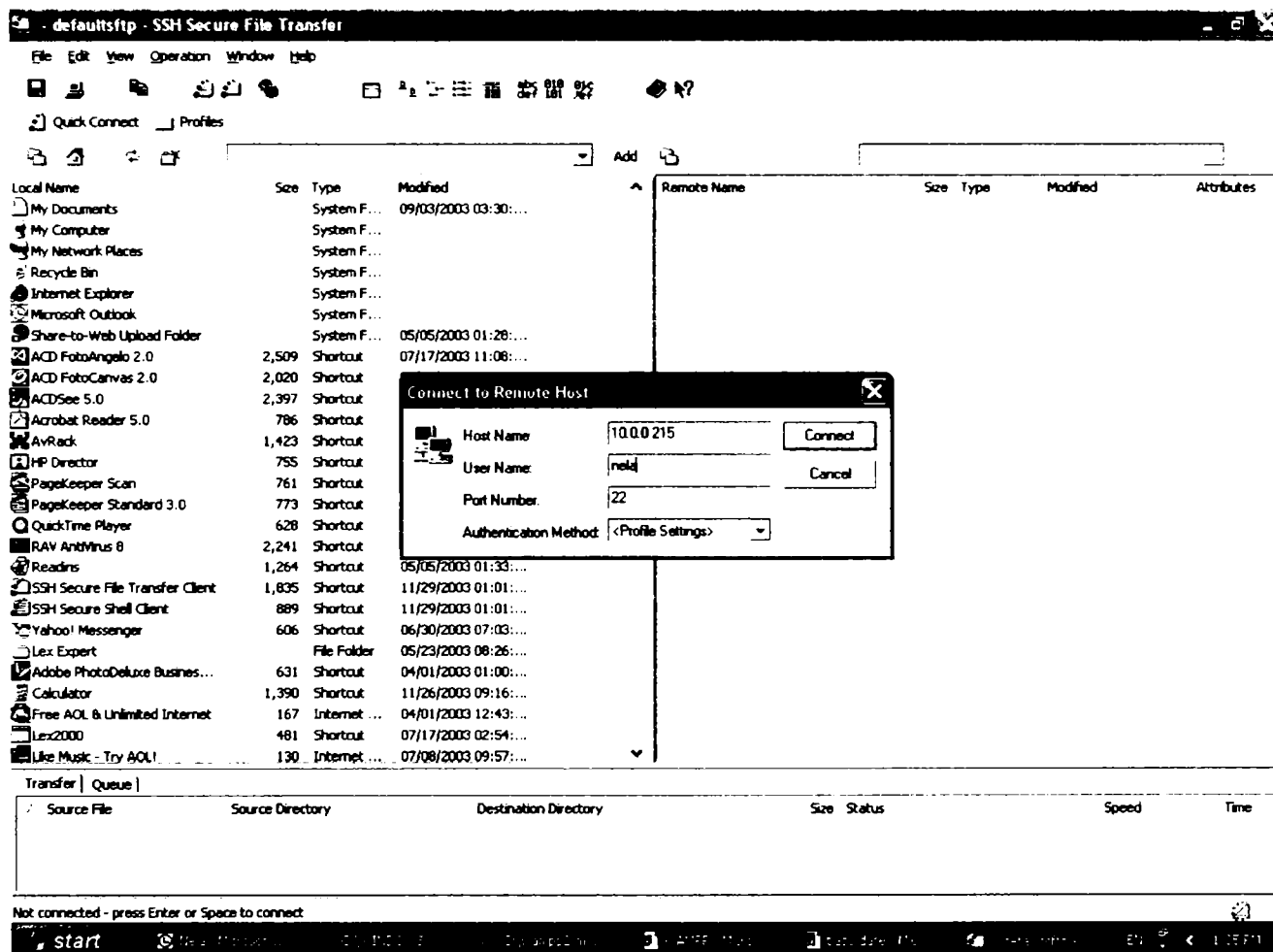


Fig. 7.63. Interfața programului SSH Workstation 3.2.3

Server-ul utilizat pentru găzduirea fișierelor menționate, cu adresa **bb.uvvg.ro/ortoped** funcționează pe sistemul de operare Linux, directorul corespunzător bazei de date găsindu-se în directorul Home din rădăcină.

Pentru crearea fișierelor *.html* și *.php* s-a optat pentru utilizarea editorului de texte sub Windows, Edit Plus, transferul pe server făcându-se prin fereastra de transfer de fișiere a aplicației SSH workstation.

◆ Conectarea la o bază de date din PHP

Un browser web nu se poate lega direct la server-ul MySQL, nu poate trimite interogări și nu poate afișa rezultatul returnat de acestea. Un browser web nu poate decât să afișeze pagini HTML. Din acest motiv este necesar PHP, care se poate conecta la MySQL, poate trimite interogări și poate afișa rezultatul interogărilor în format HTML, format înțeles de un browser web. Ca și alte limbaje de scripting pentru Web, PHP permite furnizarea unui conținut Web dinamic. Principiul de funcționare este reprezentat în figura 7.64 [64], [65].

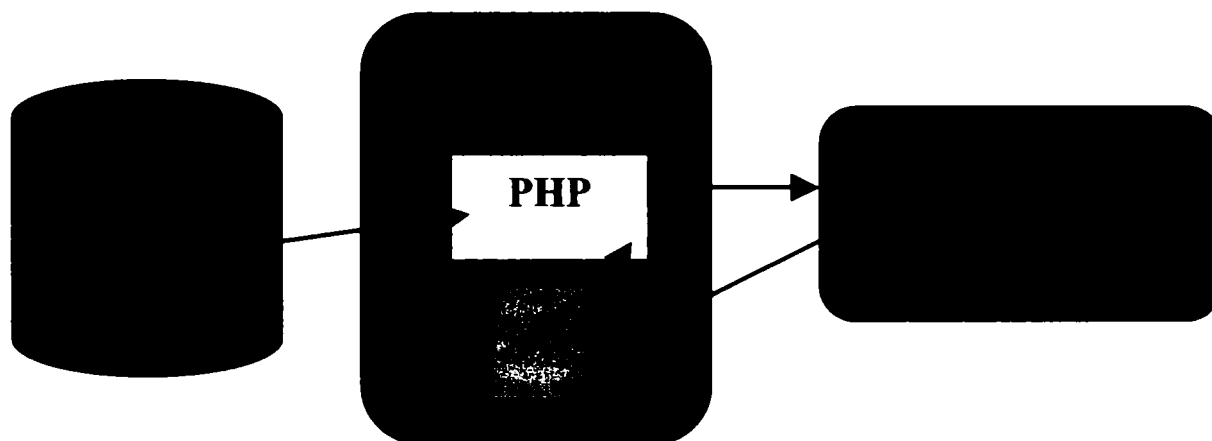


Fig. 7.64. Principiul de funcționare PHP

În cazul în care browser-ul web vrea să afișeze o pagină, el cere această pagină serverului web, care recunoaște că este o pagină de tip PHP și o trimite spre prelucrare modulului PHP instalat. Acesta interpretează codul, vede că sunt cerute date din baza de date, se conectează la aceasta, le obține și generează codul html pentru afișarea lor. Astfel pagina generată este trimisă browser-ului care o afișează.

Realizarea acestor etape presupune:

1. Conectarea PHP la MySql care se face prin următoarea funcție PHP:

```

<?php
$link = mysql_connect("mysql_host", "mysql_user", "mysql_password")
or die("Nu se poate conecta");
?>
  
```

unde funcția *mysql_connect* se conectează la MySQL folosind ca parametrii adresa serverului unde rulează MySQL și parola, funcția *die* face să se afișeze mesajul și să nu se mai execute

nici un cod după, iar variabila *\$link* reprezintă un identificator pentru această conexiune (pentru că ne putem conecta simultan la mai multe server MySQL).

2. **Trimiterea de interogări cu PHP** care se face prin intermediul funcției *mysql_query* care transmite serverului MySQL interogarea pe care dorim să o executăm. Se pot executa orice fel de interogări, dar cele mai importante sunt cele care selectează și afișează informații din baza de date.

3. **Manipularea rezultatelor selectate** care se face prin intermediul funcției *mysql_fetch_array*, funcție ce ia pe rând fiecare înregistrare returnată de query și o introduce într-un vector (*\$myrow*). Cheile acestui vector sunt chiar numele câmpurilor din tabele.

4. **Introducerea de date noi în baza de date** care se face prin intermediul unui formular (fișier html) și a unui script (fișier php) care va prelua datele din formularul și le va introduce în baza de date.

În cazul bazei de date *Ortopaedia*, interogarea poate apare după numele pacientului și datei. Rezultatele căutării sunt afișate într-o altă pagină (figura 7.65).

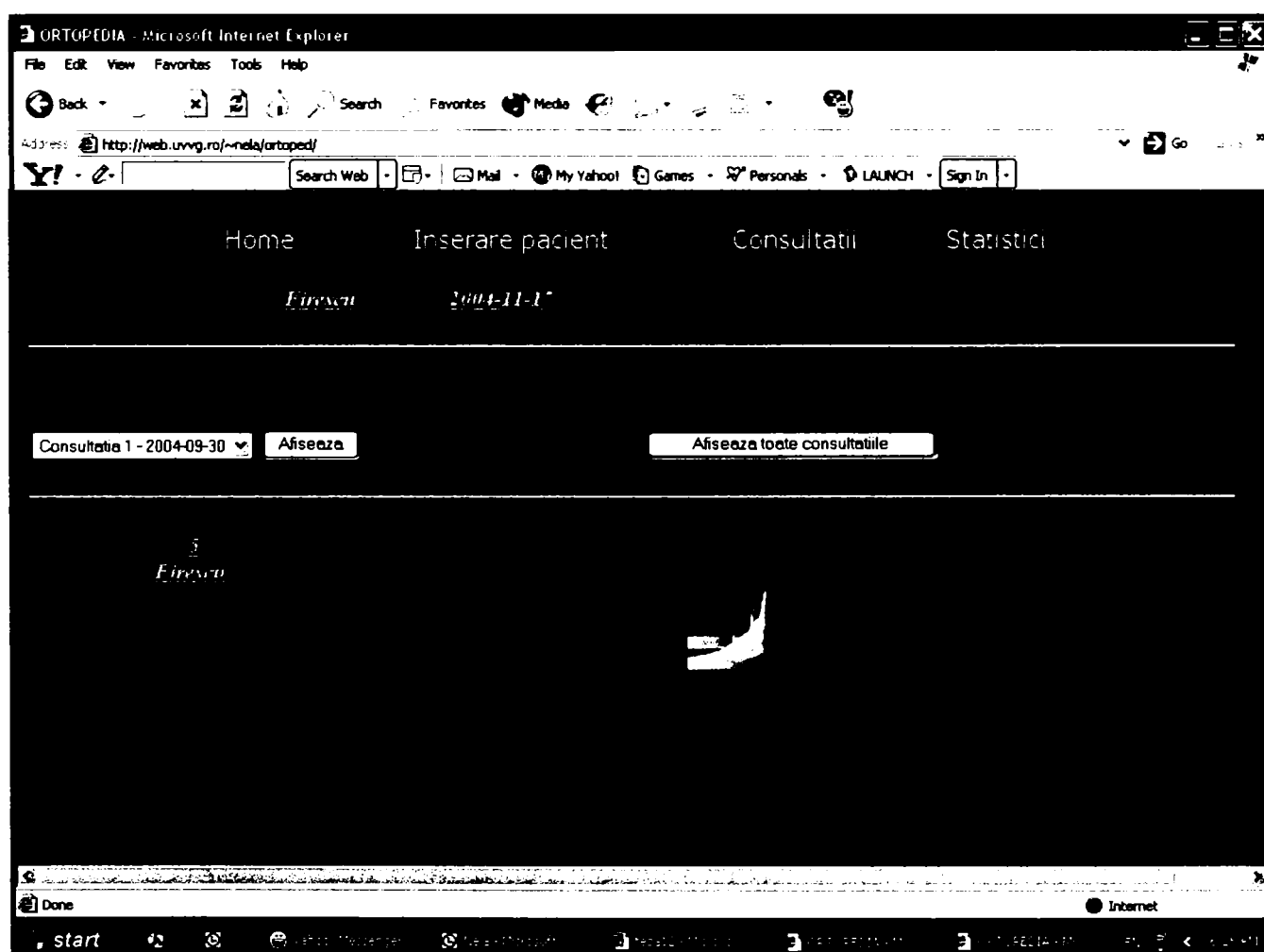


Fig. 7.65. Pagina de afișare a rezultatelor

date.php

```

<?
include("conectare.php");
#-----
#print $date;
#print $s = $an=substr("$date",0,10);
#print $e = $an=substr("$date",11,6);
#-----

if ($numele == null || $prenumele == null || $cnp == null || $profesia ==
null || $judet == null || $localitate == null || $strada == null || $nr ==
null || $bloc == null || $scara == null || $ap == null || $telefon == null
|| $mediu == null || $comentarii == null)
{
#print '<td valign="top" align="center" ><table width="60%"
class="formItemBlue" cellpadding="10"><tr><td align="center"><font
face=verdana size=1 color=white><b>Nu ati introdus toate
datele</b></td></tr><tr><td align="center"><a href="newaccount.php"
class="formItemBlue" onClick="history.go(-1)"><font face=verdana size=1
color=white><b><< inapoi</b></a></td></tr></table></td>';
#exit;
echo "Nu ati completat toate campurile &nbsp; <input type=\"button\"
value=\"<<< inapoi\" onClick=\"history.go(-1)\">";
exit;
}

#-----

if (!is_numeric($cnp)){

echo "Campul CNP trebuie sa fie de tip numeric &nbsp; <input
type=\"button\" value=\"<<< inapoi\" onClick=\"history.go(-1)\"> ";

exit;
}

if (!is_numeric($nr)){

die("Campul Nr. trebuie sa fie de tip numeric &nbsp; <input type=\"button\"
value=\"<<< inapoi\" onClick=\"history.go(-1)\">");

}

if (!is_numeric($telefon)){

print "Campul Telefon trebuie sa fie de tip numeric &nbsp; <input
type=\"button\" value=\"<<< inapoi\" onClick=history.go(-1)>";

exit;
}

#-----
# verificam daca pacientul este in baza de date, dupa CNP
#

$sql="select cnp from pacient where cnp=".$cnp;
$resursa = mysql_query($sql) or die(mysql_error());
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))

```

```

    {
        $cnp_old = $row['cnp'];
    }
if ($cnp == $cnp_old)
    {
        print "<body bgcolor=teal> date.php";

die('Acest CNP<b>'. $cnp. '</b> e deja introdus in baza de
date.<br><br><input type="button" value="<<< inapoi" onClick="history.go(-
1)" align=left>');
    }
// urmatoarea consultatie

    $urm_cons = substr("$date",0,10);
#print "<br>";
#print $ora = substr("$date",11,8);
#print "<br>";
#print $test = $urm_cons." ".$ora;
#print "<br>";

# $urm_cons=$a."-".$l."-".$z;
# $ora= $o.":".$m;
//-----date1

$sql="select urm_cons, ora from consultatii";

    $resursa = mysql_query($sql) or die(mysql_error());

    while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {

        $test_in = $row['urm_cons']." ".$row['ora'];
//-----date2
$date2 = $row['urm_cons']." ".$row['ora'];

        if($test_in == $test)
        {
            print "<body bgcolor=teal>";
            die('Reprogramati pacientul '.$numele.'
'.$prenumele.' pentru alta data/ora .<br><b>'.$test.'</b> e deja
ocupat.<br><br>
                <input type="button" value="<<< inapoi"
onClick="history.go(-1)" align=left>');
        }
    }

$prima=substr("$cnp",0,1);
$an=substr("$cnp",1,2);
$luna=substr("$cnp",3,2);
$zi=substr("$cnp",5,2);
$ultima=substr("$cnp",7,6);

if($luna > 12)
    {

        print "<body bgcolor=teal>";
        die('Formatul luni nu trebuie sa depaseasca limita de 12. Ati
introdus '.$prima.' '.$an.' <u><b>'.$luna.'</b></u> '.$zi.' '.$ultima.'

```

```

&nbsp; <input type="button" value="<<< inapoi" onClick="history.go(-1)"
align=left>');

    }

if($zi > 31)
{
    print "<body bgcolor=teal>";
    die('Formatul zilei nu trebuie sa depaseasca limita de 31. Ati
introdus  '.$prima.' '.$san.' '.$luna.' <u><b>'.$zi.</b></u>
'.$ultima.</b> &nbsp; <input type="button" value="<<< inapoi"
onClick="history.go(-1)" align=left>');

}

print "<body bgcolor=teal>";
print "<table border=1 cellpadding=5 width=90%>";
print "<tr><td><b><font color=white>Nume:</b></td><td>".$numele."</td>";
print "<tr><td><b><font
color=white>Prenume:</b></td><td>".$prenumele."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>CNP:</b></td><td>".$scnp."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Profesia:</b></td><td>".$profesia."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Judet:</b></td><td>".$judet."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Localitatea:</b></td><td>".$localitate."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Strada:</b></td><td>".$strada."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Numar:</b></td><td>".$nr."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Bloc:</b></td><td>".$bloc."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Scara:</b></td><td>".$scara."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Apartament:</b></td><td>".$ap."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Telefon:</b></td><td>".$telefon."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Mediu:</b></td><td>".$mediu."</td>";
print "</tr></table>";
print "<hr>";
print "<table border=1 cellpadding=5 width=90%>";
print "<tr><td><b><font
color=white>Localizare:</b></td><td>".$localizare."</td>";
print "<tr><td><b><font color=white>Tip
investigatie:</b></td><td>".$tipinvestigatie."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Diagnostic</b></td><td>".$diagnostic."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Tratament:</b></td><td>".$tratament."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font
color=white>Comentarii</b></td><td>".$comentarii."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Numar
consultatii:</b></td><td>".$nr_cons."</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Urmatoarea
consultatie:</b></td><td>".$urm_cons." ".$ora."</td>";
print "</tr></table>";
#exit;
#-----
# aflam sexul pacientului din CNP

```

```

if (ereg("^1",$cnp))
    {
        $sex="M";
    }
else
    {
        $sex="F";
    }
#-----
# aflam anul luna si ziua nasterii pacientului din CNP
#-----
# scriem toate datele in tabelul PACIENT
$sql="INSERT INTO `pacient` (`pacient_id`, `cnp`, `numele`, `prenumele`,
`profesia`, `judet`, `localitate`, `mediu`, `comentarii`, `strada`,
`nr`, `bloc`, `scara`, `ap`, `telefon`)
        VALUES ('', '$cnp', '$numele',
'$prenumele', '$profesia', '$judet', '$localitate', '$mediu',
'$comentarii', '$strada', '$nr', '$bloc', '$scara', '$ap', '$telefon)";
mysql_query($sql) or die(mysql_error());
#-----
$sql="select pacient_id ,numele, prenumele from pacient where numele
='".$numele."' and prenumele = '".$prenumele."'";
$resursa=mysql_query($sql);
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {
        $pacient_id=$row['pacient_id'];
    }
$prima=1;

$sql="INSERT INTO `consultatii` (`id_cons`, `data`, `pacient_id`
, `localizare`, `tip_investigatie`, `diagnostic`, `nr_cons`,
`cons_curent`, `urm_cons`, `ora`, `tratament`, `complicatii` )
        VALUES ( '', NOW(), '$pacient_id',
'$localizare', '$investigatie', '$diagnostic', '$nr_cons', '$prima',
'$urm_cons', '$ora', '$tratament', '$complicatii)";
mysql_query($sql) or mysql_error($sql);

?>
    <table>
        <TR><TD colspan=2 align=center width=100%><font
face=verdana size=1 color=silver>
            <form method=POST>
                <input type="button" value="Adauga imagini"
onClick="window.open('addpic.php?pacient_id=<?=$pacient_id?>&consult_id=1',
'mywindow', 'width=850,height=500,status=no,menubar=no,toolbar=no,scrollbars
=yes,location=no')">
            </form>
        </td></tr></table>

```

cautare_pacient.php

```

<?
#includem fisierul de conectare la baza de date
include("conectare.php");
?>
<body bgcolor=#6699CC>
<h1> <font color=#003399>Rezultatele cautarii</h1>
<blockquote>
<?

```

```

if($numele=='')
{
    print "Nu ati introdus numele pacientului.";
exit;
}

print '<B>Datele pacientului :<br><br></b>';

#-----
# cautam pacientul dupa nume
$sql="select cons_curent, nr_cons from consultatii where pacient_id =
'".$pacient_id."'";
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());
while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
    $cons_curent = $row['cons_curent'];
    $nr_cons = $row['cons_curent'];
}

$sql="select * from pacient where numele like '%$numele%' and prenumele
like '%$prenumele%'";
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());
if(mysql_num_rows($resursa)==0)
{
    print '<I>Pacientul <FONT SIZE="3"
COLOR="WHITE"><U><B><em>' . $numele . '</em></B></U></FONT> nu este in baza de
date !</I>';
    exit;
}
while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
#-----
#aflam din CNP sexul si varsta pacientului
    $cnp=$row['cnp'];

    $cod_sex = substr("$cnp",0,1);
    if (($cod_sex == 1) || ($cod_sex == 5))

        {
            $sex="M";
        }
    else
        {
            $sex="F";
        }

#----- daca prima cifra este 5 sau 6 anul nasterii este dupa anul
2000
    if ($cod_sex > 3)
        {
#                substragem din CNP de la pozitia 1 urmatoarele 2 cifre

            $an_2000=substr("$cnp",1,2);
            $varsta='20' . $an_2000;
            $varsta1=(2003-$varsta);

        }
    else
        {

            $an=substr("$cnp",1,2);

```

```

$varsta='19'.$an;
$varstal=(2003-$varsta);

}

#-----
#afisam rezultatele cautarii
print 'Id : <u>'.$row['pacient_id'].'</u><br>';
print 'Numele <u>'.$row['numele'].'</u><BR>';
print 'Preumele <u>'.$row['prenumele'].'</u><BR>';
print 'CNP : <u>'.$row['cnp'].'</u><BR>';
print 'Sex : <u>'.$sex.'</u><br>';
print 'Varsta : <u>'.$varstal.'</u><BR>';
print 'Profesia : <u>'.$row['profesia'].'</u><br>';
print 'Localitatea : <u>'.$row['localitate'].'</u><BR>';
print 'Mediu : <u>'.$row['mediu'].'</u><BR>';

print 'Strada : <u>'.$row['strada'].'</u><BR>';
print 'Numar : <u>'.$row['nr'].'</u><BR>';

print 'Bloc : <u>'.$row['bloc'].'</u><BR>';
print 'Scara : <u>'.$row['scara'].'</u><BR>';
print 'Apartament : <u>'.$row['ap'].'</u><BR>';
print 'Telefon : <u>'.$row['telefon'].'</u><BR>';

$id=$row['pacient_id'];
$numele=$row['numele'];
}

#          cautam consultatia pacientului din data specificata
$sql="select * from consultatii where pacient_id=".$id;
$resursa=mysql_query($sql);
print "<br><b>Consultatia din data de :</b>";
print "<form action=\"consultatii_pacient.php\" method=\"post\">";
#-----trimitem scriptului numele pacientului
print "<input type=\"hidden\" name=\"numele\" value=\"".$numele.">";
print "<select name=data>";
$resursa=mysql_query($sql);
$i=1;
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
{
    print "<option value=\"".$row['data'].\">Consultatia ".$i." -
".$row['data']."</option>";
    $cons_curent = $row['cons_curent']+1;
    $nr_cons = $row['nr_cons'];
}
print "</select>";
print "&nbsp;&nbsp;&nbsp;<input type=submit value=\"Afiseaza\"></form>";

print "<form action=\"cons_curenta.php?pacient_id=$id\" method=\"post\">";

print "&nbsp;&nbsp;&nbsp;<input type=submit value=\"Consultatie curenta
($cons_curent din $nr_cons) \"></form>";

?>
</blockquote>

```

orar_consult.php

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE></TITLE>
</HEAD>
<BODY bgcolor=#6699CC leftmargin="100">
<font size=4 color="aquamarine">Orar consultatii</font</center>

<table border=0><tr>
<td align=center>
<? include("cautarepacient.php"); ?>
</td><td>
<? include("dttt.php"); ?>
</td></tr>
</table>

<hr>
<table border=0 width=100%><tr><td>

<table border=1>
<tr>
<td>
<font color="aquamarine">Nume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Prenume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Cons. nr. : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Data : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Ora : </font>
</td>
</tr>
</table>
<?
include("conectare.php");
$t = mktime (0,0,0,date("m"),date("d"),date("Y"));
$maine = date("d-m-Y", $t);
print "Consultatiile de azi <b>". $maine. "</B>";
$sql="select * from consultatii where urm_cons = '". $maine. "' order by
urm_cons";
$resursa=mysql_query($sql);
?>
    <?
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {
    $sql1="select pacient_id, numele, prenumele from pacient where pacient_id
    ='". $row['pacient_id']. "' ";
    $resursal=mysql_query($sql1);
    while ($row1 = mysql_fetch_array($resursal))
        {
        $nume=$row1['numele'];
        $prenume=$row1['prenumele'];
        }
    $nr = $row['cons_curent']+1;
```



```

        print "<tr><td><a
href=cautare_pacient.php?numele=$nume&prenumele=$prenume>". $nume. "</a
></td>";
        print "<td>". $prenume. "</td>";
        print "<td align=center>". $nr. "</td>";
        print "<td>". $row['urm_cons']. "</td>";
        print "<td>". $row['ora']. "</td></tr>";
#        exit;
        }
        ?>
</table>

</td><td valign=top>
<table border=1>
<tr>
<td>
<font color="aquamarine">Nume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Prenume : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Cons. nr. : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Data : </font>
</td>
<td>
<font color="aquamarine">Ora : </font>
</td>

</tr>

<?
include("conectare.php");

$tt = mktime (0,0,0,date("m"),date("d")+1,date("Y"));

$mainee = date("d-m-Y", $tt);

print "Consultatiile de maine <b>". $mainee. "</B>";

$sql1="select * from consultatii where urm_cons = '". $mainee. "' order by
urm_cons";

$resursaa=mysql_query($sql1);

?>
        <?
while ($roww = mysql_fetch_array($resursaa))
        {
        $sql1="select pacient_id, numele, prenumele from pacient where pacient_id
=''. $row['pacient_id']. "' ";
        $resursal=mysql_query($sql1);
        while ($rowl = mysql_fetch_array($resursal))
        {
                $nume=$rowl['numele'];
                $prenume=$rowl['prenumele'];
        }
        $nr = $row['cons_curent']+1;

```

```

        print "<tr><td><a
href=cautare_pacient.php?numele=$nume&prenumele=$prenume>". $nume. "</a
></td>";
        print "<td>". $prenume. "</td>";
        print "<td align=center>". $nr. "</td>";
        print "<td>". $row['urm_cons']. "</td>";
        print "<td>". $row['ora']. "</td></tr>";
#     exit;
        }
        ?>
</table>
</td></tr></table>
<hr>
</body>
</html>

```

consultatii.php

```

<?
include("conectare.php");

$pacient = $_POST['pacient'];
$cons_curent = $_POST['cons_curent']+1;
$nr_cons = $_POST['nr_cons'];

$sql="select numele, prenumele from pacient where pacient_id
='".$pacient.'"";
$resursa=mysql_query($sql);
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {
        $numele=$row['numele'];
        $prenumele=$row['prenumele'];
    }

// urmatoarea consultatie

$urm_cons = substr("$date",0,10);
$ora = substr("$date",11,8);

$test = $urm_cons." ".$ora;

# $urm_cons=$a."-".$l."-".$z;
# $ora= $o." : ".$m;

$sql="select urm_cons, ora from consultatii";

        $resursa = mysql_query($sql) or die(mysql_error());

        while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
        {

                $test_in = $row['urm_cons']." ".$row['ora'];

                if($test_in == $test)
                {
                        print "<body bgcolor=teal>";
                        die('Reprogramati pacientul<b>'. $numele.'
.$prenumele.'</b> pentru alta data/ora .<br><b>'. $test.'</b> e deja
ocupat.<br><br>

```

```

        <input type="button" value="<<< inapoi"
onClick="history.go(-1)" align=left>');
    }
}

print "<body bgcolor=\"teal\">consultatii.php";
print "<table border=1 cellpadding=5 width=90%>";
print "<tr><td><b><font color=white>Pacient : </b></td><td>\".$numele.\"
\".$prenumele.\"</td>";
print "<tr><td><b><font color=white>Cod pacient :
</b></td><td>\".$pacient.\"</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Localizare :
</b></td><td>\".$localizare.\"</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Tip investigatie :
</b></td><td>\".$investigatie.\"</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Diagnostic :
</b></td><td>\".$diagnostic.\"</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Complicatii :
</b></td><td>\".$tratament.\"</td>";
print "</tr><tr><td><b><font color=white>Consultatia cu numarul :
</b></td><td>\".$cons_curent.\"</td>";
print "</tr></table>";

$sql="INSERT INTO `consultatii` (`id_cons`, `data`, `pacient_id`
,`localizare`, `tip_investigatie`, `diagnostic`, `nr_cons`,
`cons_curent`, `urm_cons`, `ora`, `tratament`, `complicatii` )
VALUES ( '', NOW(), '$pacient', '$localizare',
'$investigatie', '$diagnostic', '$nr_cons', '$cons_curent', '$urm_cons',
'$ora', '$tratament', '$complicatii' );
mysql_query($sql) or mysql_error($sql);

?>
    <table>
        <TR><TD colspan=2 align=center width=100%><font
face=verdana size=1 color=silver>
            <form method=POST>
                <input type="button" value="Adauga imagini"
onClick="window.open('addpic.php?consult_id=<?=$cons_curent?>&pacient_id=<?
=$pacient?>', 'mywindow', 'width=850,height=500,status=no,menubar=no,toolbar=
no,scrollbars=yes,location=no') ">
            </form>
        </TD></TR>
    </table>

```

detalii.php

```

<?
include("conectare.php");

if($q==1){
    $qq="craniu";
}
elseif($q==2){
    $qq="regiune cervicala";
}elseif($q==3){
    $qq="torace";
}

```

```

        }elseif($q==4){
        $qq="coloana vertebrala";
        }elseif($q==5){
        $qq="pelvis";
        }elseif($q==6){
        $qq="membru superior";
        }elseif($q==7){
        $qq="membru superior";
        }
    ?>

<body bgcolor=#6699CC >
detalii.php
<P>Localizare <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em><?=$qq?></em></B></U></FONT></P>

<blockquote>
<?

$n=1;

$sql="select distinct pacient_id from consultatii where localizare like
'%"$qq%" ";
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());
if(mysql_num_rows($resursa)==0)
{
        print '<I>Pacientul <FONT SIZE="3"
COLOR="WHITE"><U><B><em>'. $numele.'</em></B></U></FONT> nu este in baza de
date !</I>';
}

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
        {
                $cnp=$row['cnp'];
                $row['pacient_id'];
print "<table border=0>";
        $sql1="select * from pacient where pacient_id='". $row['pacient_id']."'
";
        $resursal=mysql_query($sql1) or die(mysql_error());
        while ($row1= mysql_fetch_array($resursal))

                $cnp=$row1['cnp'];
print "<tr><td width=30>". $n."</td><td><a
href=detalii_cons.php?id_p='". $row1['pacient_id']."'> ". $row1['numele']."
". $row1['prenumele']."</a></td></tr>";

        $n++;

print "</table>";

        }

?>
</blockquote>

```

consultatii_pacient.php

```

<?
include("conectare.php");
?>

```

```

<body bgcolor=#6699CC 1>
<h1> </h1>
<P>Rezultatele consultatiei pacientului <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em><?=$numele?></em></B></U></font> din data de
<FONT SIZE="4" COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>
<?=$data?></em></B></U></FONT></P>
<hr>
<?

$sql="select * from pacient where numele like '%$numele%';
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
    $id=$row['pacient_id'];
}

$sql="select * from consultatii where pacient_id =".$id;
$resursa=mysql_query($sql);
print "<br><table width=100%><tr><td width=50%><b>Afiseaza consultatia din
data de :</b>";
print "<form action=\"consultatii_pacient.php\" method=\"post\">";
#-----trimitem scriptului numele pacientului
print "<input type=\"hidden\" name=\"numele\" value=\".$numele.\">";
print "<select name=data>";
$resursa=mysql_query($sql);
$i=1;
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {
        print    "<option    value='\".$row['data'].\"'>Consultatia    ".$i."    -
\".$row['data'].\"</option>";
        $i++;
    }
    print "</select>";
print "&nbsp;&nbsp;&nbsp;<input type=submit value=\"Afiseaza\"></form>";

print    "</td><td><br><br><form    action=\"toate_cons_pacient.php\"
method=\"post\">";
#-----trimitem scriptului numele pacientului
print "<input type=\"hidden\" name=\"numele\" value=\".$numele.\">";

print    "&nbsp;&nbsp;&nbsp;<input    type=submit    value=\"Afiseaza    toate
consultatiile\"></form>";
?>
</td></tr></table>
<hr>
<blockquote>
<table width=100%><tr><td valign=top width=50%>
<?
$sql="select * from pacient where numele like '%$numele%';
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
    print 'Cod pacient : <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'.$row['pacient_id'].'</em></B></U></FONT><br>'
;
    print 'Numele : <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'.$row['numele'].'</em></B></U></FONT><BR>';

```

```

        $id=$row['pacient_id'];
        $pacient_id=$row['pacient_id'];
    }

    print "<br>Consultatii<br><br>";
    $sql="select * from consultatii where data like '%$data%' and pacient_id
    like '%$id%' ";
    $resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());
    if(mysql_num_rows($resursa)==0)
    {
        print '<I>Pacientul <FONT SIZE="3"
        COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'. $numele.'</em></B></U></FONT> nu a fost la
        consultatii!</I>';
    }
    while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
    {
        print 'Data : <u>'. $row['data'].'</u><br>';
        print 'Localizare <u>'. $row['localizare'].'</u><BR>';
        print 'Tip investigatie : <u>'. $row['tip_investigatie'].'</u><br>';
        print 'Diagnostic : <u>'. $row['diagnostic'].'</u><br>';
        print 'Cod fractura : <u>'. $row['cod_fractura'].'</u><BR>';
        print 'Tratament : <u>'. $row['tratament'].'</u><br>';
        $cons_curent = $row['cons_curent'];
    }

    $pacient_id = $id;
    print "</td><td valign=top width=50%><table>";

    $current_images = mysql_query("SELECT ID, imagini FROM imagini where
    pacient_id='".$id.'" and consult_id='".$cons_curent.'"");
    while($row = mysql_fetch_array($current_images))
    {

    print "<tr><td valign=top><font color=white> Denumire imagine
    <b>". $row["imagini"];

        ?>
        </td></tr>
        <tr><td>
        <img src=images/<?=$row["imagini"]?>>
        </td></tr>
        <?
        }

    print "</table> </td></tr></table>";

    ?>
    </blockquote>

```

toate_cons_pacient.php

```

<?
include("conectare.php");
?>
<body bgcolor=#6699CC >
<h1> </h1>
<P>Toate consultatiile pacientului <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em><?=$numele?></em></B></U></font></P>
<hr>
<?

```

```

$sql="select * from pacient where numele like '%$numele%';
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
    $id=$row['pacient_id'];
}

$sql="select * from consultatii where pacient_id =".$id;
$resursa=mysql_query($sql);
print "<br><b>Afiseaza consultatia din data de :</b>";
print "<form action=\"consultatii_pacient.php\" method=\"post\">";

#-----trimitem scriptului numele pacientului

print "<input type=\"hidden\" name=\"numele\" value=\".$numele.\">";
print "<select name=data>";
$resursa=mysql_query($sql);
$i=1;
while ($row = mysql_fetch_array($resursa))
    {
        print "<option value='".$row['data']."'>Consultatia ".$i." -
".$row['data']."</option>";
        $i++;
    }
print "</select>";
print "&nbsp;&nbsp;&nbsp;<input type=submit value=\"Afiseraza\"></form>";

?>
<hr>
<?

$sql="select * from pacient where numele like '%$numele%';
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))
{
    print 'Cod pacient : <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'.$row['pacient_id'].'</em></B></U></FONT><br>'
;
    print 'Numele : <FONT SIZE="4"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'.$row['numele'].'</em></B></U></FONT><BR>';
    $id=$row['pacient_id'];
}

    print "<br>Consultatii<br><br>";
    $sql="select * from consultatii where data like '%$data%' and pacient_id
like '%$id%' ";
$resursa=mysql_query($sql) or die(mysql_error());
if(mysql_num_rows($resursa)==0)
{
    print '<hr><I>Pacientul <FONT SIZE="3"
COLOR="LIGHTBLUE"><U><B><em>'.$numele.'</em></B></U></FONT> nu a fost la
consultatii!</I>';
}

print "<table>";

while ($row= mysql_fetch_array($resursa))

```

```

        {
        print '<tr><td width=40% valign=top><hr>Data :
<u>'. $row['data']. '</u><br>';
        print 'Localizare <u>'. $row['localizare']. '</u><BR>';
        print 'Tip investigatie : <u>'. $row['tip_investigatie']. '</u><br>';
        print 'Diagnostic : <u>'. $row['diagnostic']. '</u><br>';
        print 'Cod fractura : <u>'. $row['cod_fractura']. '</u><BR>';
        print 'Tratament : <u>'. $row['tratament']. '</u><br>';
                $cons_curent = $row['cons_curent'];

        print "</td><td valign=top><hr><table>";
        $current_images = mysql_query("SELECT ID, imagini FROM imagini where
pacient_id='". $sid.'" and consult_id='". $cons_curent.'"");
                while($row = mysql_fetch_array($current_images))

                print "<tr><td valign=top><font color=white> Denumire imagine
<b>". $row["imagini"];
                ?>
</td></tr><tr><td><img src=images/<?=$row["imagini"]?>>
</td></tr>
                <?

        print "</table>";

        }

        print "</td></tr></table>";
        ?>

```


CAPITOLUL VIII. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Este evident că studiile biomecanice au contribuții importante la progresul clinic, atât în cazul deficiențelor motorii cât și al bolilor degenerative ca: osteoporoza și osteoartrita. În plus, este important ca pe lângă crearea modelelor oaselor și mușchilor să se realizeze o simulare a stimulilor mecanici în scopul realizării unui model funcțional cât mai apropiat de cel real.

În teză s-a făcut uz de metodologia de modelare cinematică și dinamică a membrului superior scoțându-se în evidență avantajele modelării în biomecanică. Modelarea dinamică s-a bazat pe modelele realizate în Solid Works. Față de alte abordări, în care formele componentelor scheletului uman sunt echivalate cu paralelipede, cilindri, trunchiuri de con, etc., în prezenta teză s-a ținut seama de forma reală a acestora și segmentele anatomice au fost modelate realist.

Capitolul I, INTRODUCERE prezintă pe scurt obiectivele ce vor fi dezvoltate în celelalte capitole.

În **Capitolul II, CONCEPTELE FUNDAMENTALE ALE MODELĂRII**, s-a realizat un studiu bibliografic privind conceptele de model și modelare precum și o sinteză a celor mai cunoscute clasificări privind tipurile de modele. Au fost identificate etapele necesare realizării unui model, avantajele și dezavantajele utilizării tehnicilor de modelare, raportate în special la modelarea sistemului osteoarticular uman. S-a concluzionat că pentru abordarea cu succes a tuturor problemelor teoriei generale a modelării trebuie fixate foarte clar conceptele de sistem și model și că un proces de modelare fidelă trebuie să țină seama atât de izvoarele filozofice ale cunoașterii, dar și de mijloacele de abordare rațională.

În **Capitolul III, ASPECTE ANATOMICE ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN**, se realizează un studiu bibliografic privind aspectele anatomice ale membrului superior uman, prezentându-se totodată aspectele legate de biomecanica membrului superior. Se insistă în mod special pe anatomia sistemului osteoarticular și a tipurilor de mișcări din fiecare articulație în vederea unei modelări corecte. Cunoașterea acestora este importantă pentru identificarea lanțului cinematic al membrului superior pe baza căruia se va realiza

modelul cinematic și dinamic al acestuia. În studiul sistemului muscular se scoate în evidență rolul diferitelor categorii de mușchi în mișcările de flexie-extensie, abducție-adducție, pronatie-supinație, rotație și circumducție.

În **Capitolul IV, MODELAREA GEOMETRICĂ A MEMBRULUI SUPERIOR UMAN**, sunt descrise principalele tehnici de modelare care sunt studiate din perspectiva modelării sistemului osteoarticular. În urma identificării avantajelor și dezavantajelor acestor tehnici, se constată că pentru modelarea elementelor membrului superior uman, ca de altfel și a altor corpuri cu forme neregulate, cea mai potrivită tehnică de modelare este cea care utilizează curbe. În acest sens se face o sinteză a tehnicilor de modelare utilizând curbele Bézier și spline. Având în vedere că, curbele spline prezintă anumite avantaje și că majoritatea programelor de tip CAD pot proiecta corpuri cu forme geometrice diverse, în acest capitol s-au realizat modelele în plan ale elementelor osoase ale membrului superior uman ca: scapula, clavicula, humerusul, radiusul, ulna și mâna. Pentru realizarea acestor modele s-a utilizat programul AutoCad. Crearea curbilor spline propriu-zise s-a realizat utilizând comanda *Spline*. În prima fază au fost specificate punctele de ajustare, de exemplu pentru scapulă 97 de puncte, după care s-au trasat curbele respective. Numărul de puncte care definesc o anumită curbă diferă în funcție de gradul de curbură a acesteia. Astfel, pentru reprezentarea oaselor degetelor, numărul de puncte a fost mult mai mare. Ulterior, s-a făcut editarea curbilor obținute în scopul obținerii unor modele 2D cât mai apropiate de realitate.

Pentru a face o comparație între modele, s-au realizat modele ale elementelor osoase ale membrului superior și în programul MatLab. Și în acest caz formele geometrice ale oaselor s-au obținut cu ajutorul curbilor spline. În plus, s-a realizat și un program de animație a antebrațului în mișcarea de flexie-extensie. În acest caz, realizarea modelelor s-a făcut cu ajutorul funcției *getcurve* din pachetul *Spline Toolbox*. Funcția menționată crează interactiv o curbă pe măsură ce punctele care definesc curba sunt selectate de către utilizator. Comparând cele două programe, se constată că în AutoCad modelarea se face mai simplu, fără a fi necesară scrierea unor programe, în schimb în MatLab se pot realiza modelări mai complexe.

Pentru că membrul superior este alcătuit din elemente spațiale, în acest capitol se face și o sinteză privind obținerea suprafețelor pornind de la curbe. Programele prin care se pot realiza modele tridimensionale fiind numeroase, se prezintă doar câteva dintre acestea, domeniul lor de aplicabilitate, precum și avantajele și dezavantajele utilizării fiecăruia dintre ele. Acest studiu a fost necesar pentru a putea identifica programele cele mai potrivite pentru realizarea modelelor 3D ale elementelor membrului superior uman. Ca urmare, în acest

capitol s-au realizat: modelul capătului distal al humerusului utilizând programul Spach, modelele humerusului, radiusului, ulnei și mâinii utilizând programul Solid Works. Având în vedere că acesta din urmă este un program foarte complex în care se pot proiecta atât corpuri simple, cât și ansambluri, s-a considerat util ca modelele obținute prin acest program să fie utilizate la modelarea dinamică a membrului superior uman. Pentru ca modelele să fie cât mai apropiate de cele reale, s-a realizat și o structură musculară care să îmbrace oasele brațului.

Pentru realizarea modelelor în Solid Works s-a pornit de la dimensiunile măsurate pe modele de ghips, cu ajutorul imaginilor din atlasele de anatomie. Fiecare model de os s-a realizat prin unirea mai multor secțiuni paralele obținute cu comanda *Sketch*. Brațul întreg s-a obținut din asamblarea componentelor obținute independent în modul *Assembly*. Pentru îmbrăcarea oaselor cu mușchi au fost modelați separat 29 de mușchi, în special mușchi ai brațului și antebrățului. Prin asamblarea acestora s-a obținut modelul membrului superior uman.

Având în vedere că modelele cele mai apropiate de realitate sunt cele obținute prin computer tomografie și rezonanță magnetică, s-a făcut și un studiu al acestor tehnici de investigare, a avantajelor pe care le prezintă și s-a realizat un model al humerusului prin CT și un model al mâinii prin RMI. Fiind cunoscut faptul că fișierele corespunzătoare modelelor obținute sunt incompatibile cu alte tipuri de fișiere, s-a prezentat și o metodă de transformare a fișierelor de tip *.dcm*, DICOM fiind cel mai cunoscut standard pentru imagistică medicală, în formatele specifice fișierelor imagine (*.tif*, *.jpg*, etc.). Acest lucru a fost necesar deoarece baza de date prezentată la capitolul VII conține și elemente legate de investigațiile clasice utilizate în ortopedie: radiografie, tomografie computerizată sau rezonanță magnetică.

În **Capitolul V, MODELUL CINEMATIC AL MEMBRULUI SUPERIOR**, se prezintă membrul superior ca un lanț cinematic cu 8 grade de libertate. Pentru realizarea modelului cinematic, s-au luat în considerare mișcările de flexie-extensie, abducție-adducție și rotație a brațului, flexie-extensie și pronație-supinație a antebrățului, flexie-extensie și înclinare radioulnară a mâinii și de flexie-extensie a degetelor. Pentru exemplificarea acestor mișcări s-a realizat o aplicație de animație în 3DS Max.

Utilizând convenția Denavit-Hartenberg, s-au exprimat matricele de transfer aferente lanțului cinematic și s-a calculat matricea generală ce precizează evectorul final, în cazul de față, mâna, în raport cu sistemul fix, obținându-se sistemul de ecuații ce exprimă coordonatele operaționale ca funcții de coordonate articulare. Datorită faptului că ecuațiile sunt deosebit de complexe, s-a realizat și un model cinematic simplificat, cu 5 grade de libertate: trei în

articulația umărului, unul la cot și unul la încheietura mâinii. După obținerea ecuațiilor cinematice s-a reprezentat grafic variația vectorului de poziție și a proiecțiilor acestuia în funcție de variabilele articulare pentru fiecare dintre cele 5 mișcări corespunzătoare gradelor de libertate. Reprezentările grafice s-au realizat în Microsoft Excel pentru unghiuri de la 0^0 la maxim 180^0 , în funcție de amplitudinea maximă a mișcării considerate. Se observă că toate reprezentările coincid integral spațiului biologic valabil pentru mișcările membrului superior în condițiile impuse, deci modelul cinematic obținut este corect.

Pentru că modelarea spațiilor descrise de capătul lanțului cinematic este una dintre cele mai importante aplicații ale reprezentării parametrice a unui sistem, în teză s-a realizat modelarea suprafețelor în interiorul cărora se află în permanență membrul superior în timpul efectuării sarcinii de lucru. Modelarea s-a efectuat în programul MatLab considerând 10 variante, începând de la mișcările simple și până la cele mai complexe. Pentru fiecare variantă s-a scris un program în care, pentru mișcările simple, din cele cinci variabile articulare patru se consideră nule, iar pentru mișcările complexe doar două sau trei. Și aceste reprezentări coincid integral spațiului biologic valabil pentru mișcările membrului superior în condiții impuse.

În **Capitolul VI, MODELUL DINAMIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN**, pentru a obține un model dinamic cât mai corect posibil, s-au trecut în revistă proprietățile materialelor biologice ce alcătuiesc corpul uman. S-a considerat membrul superior ca un sistem cu 5 grade de libertate pentru simplificarea sistemului de ecuații diferențiale, posibilitatea integrării acestuia și obținerii unor soluții utilizabile în protetică.

Ecuațiile diferențiale ale mișcării s-au determinat în formalism Lagrange. Calculul momentelor de inerție în raport cu axele de rotație s-a realizat cu ajutorul programului Solid Works luând în considerare modelele prezentate în capitolul V. Cunoscând densitatea medie a ansamblului oase – mușchi și dimensiunile acestora, cu ajutorul comenzii *Mass Properties* s-au obținut masa și volumul lor, precum și principalele momente de inerție. Prin integrarea sistemului de ecuații rezultat, s-au obținut soluțiile pentru variabilelor articulare și vitezelor articulare considerând un interval de timp de 0,4 secunde.

S-a realizat și o prelucrare statistică din care rezultă: valorile medii în intervalul temporal considerat, abaterile medii pătratice, valorile mediane și intervalul global de variație indicat și ca atare, și prin valorile extreme respective.

Pentru ca rezultatele modelării dinamice să poată fi utilizate și pentru realizarea unor proteze de membru superior, pe baza soluțiilor obținute prin integrarea ecuațiilor diferențiale

s-a realizat și aproximarea funcțiilor prin metoda polinoamelor ortogonale în vederea calculării forțelor generalizate. Funcțiile polinomiale ce aproximează legile de mișcare s-au obținut în MatLab, urmărindu-se ca gradul polinomului de aproximare să fie corespunzător unor abateri cât mai reduse. S-a constatat că nu pentru toate variabilele articulare s-a putut obține o funcție polinomială ce asigură o aproximare suficient de bună.

În teză sunt studiate încă două variante: cea în care condițiile inițiale sunt nule și cea în care intervalul de timp este de 1 secundă. S-a realizat și pentru aceste legi de mișcare aproximarea analitică prin funcții poligonale, rezultatele fiind ilustrate pentru o variabilă articulară. Toate reprezentările obținute permit multiple utilizări ulterioare.

În **Capitolul VII, BAZE DE DATE PRIVIND DEFICIENȚELE MOTORII ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN**, pentru întocmirea unei structuri de bază de date privind deficiențele motorii a membrului superior uman, a fost necesară studierea tipurilor de fracturi care se pot produce la membrul superior uman, precum și posibilitățile de fixare a acestora. Realizarea diferitelor modele are ca scop tocmai îmbunătățirea posibilităților de fixare a fracturilor prin implante sau în unele cazuri, de proiectare a protezelor.

Pentru realizarea bazei de date s-au folosit cunoștințe avansate de programare, deoarece ea s-a dorit a fi utilă atât medicilor din cabinetele de ortopedie, cât și celor care studiază acest domeniu. Etapele parcurse pentru realizarea bazei de date sunt: realizarea structurii bazei de date, realizarea formularului de introducere a datelor și asigurarea accesibilității sale pe Internet. Ca structură, baza de date cuprinde trei tabele: *Pacient*, *Consultații* și *Imagini*. Ea a fost creată în MySQL. Formularul de introducere a datelor este realizat în HTML, iar extragerea datelor din baza de date se face dinamic, prin intermediul limbajului PHP. Pagina de introducere a datelor cuprinde două secțiuni: cu datele personale ale pacientului și cu datele privind diagnosticului, tratamentul și programarea consultațiilor. Ea suportă și introducerea imaginilor, în acest caz radiografii, tomografii sau imagini RM. Pentru ținerea evidenței exacte a consultațiilor, a fost prevăzut și un sistem de planificare a acestora pentru fiecare pacient în parte. Pe baza acestei planificări se obține și orarul de consultații pe zile și ore. Prin intermediul conținutului bazei de date se poate urmări evoluția fiecărui pacient. Pentru ca datele existente în bază să poată face obiectul unor studii de specialitate, s-a prevăzut și o pagină pentru realizarea evidențelor statistice după vârstă, sex, mediu de proveniență, localizarea fracturii etc. Pentru a fi ușor accesibilă pe Internet, aplicației i s-a realizat un design simplu, care nu împiedică încărcarea rapidă de către utilizator. Ca și dezvoltare ulterioară, se poate realiza un modul de prelucrare a imaginilor, în

special de extragere și mărire a unor porțiuni care prezintă interes din punct de vedere medical.

Ca urmare a celor prezentate în toate cele 8 capitole ale tezei, se poate trage concluzia că aceasta reprezintă o abordare multidisciplinară a unei teme importante pentru diagnostic, tratament și recuperare: modelarea membrului superior uman, în scopul de a perfecționa metodele utilizate în chirurgia recuperatorie, realiza truse pentru implante și proiectare proteze performante. Se îmbină astfel cunoștințe din domenii ca: medicină (ortopedie), mecanică, matematică și informatică pentru care au fost necesare studiile bibliografice prezentate în teză. Abordarea acestor domenii s-a realizat din perspectiva informaticii, cunoscând fiind faptul că aceasta a revoluționat toate domeniile științei.

Contribuțiile autoarei s-au materializat pe capitole astfel:

În **Capitolul I, INTRODUCERE** nu se pune problema unor contribuții originale deoarece el conține doar conceptele de bază pe care au fost dezvoltate ulterior celelalte capitole.

Capitolul II, CONCEPTELE FUNDAMENTALE ALE MODELĂRII realizează o ierarhizare a etapelor unui proces de modelare subliniind importanța abordării unor elemente de teoria modelării în biomecanica sistemului osteoarticular. Elementele originale conținute în acest capitol sunt:

- ◆ *un studiu bibliografic privind conceptele de model și modelare precum și o sinteză a celor mai cunoscute clasificări privind tipurile de modele;*
- ◆ *au fost identificate etapele necesare realizării unui model, avantajele și dezavantajele utilizării tehnicilor de modelare, raportate în special la modelarea sistemului osteoarticular uman, elaborându-se un algoritm general al unui proces de modelare;*
- ◆ *a fost abordată o teorie structurală a modelării prin tratarea noțiunilor de: validare, simplificare și simulare;*
- ◆ *se prezintă conceptele modelării în biomecanică ca modalitate de studiu, dacă nu foarte precisă, cel puțin de neînlocuit într-un domeniu în care studiile in-vivo nu sunt întotdeauna posibile.*

Capitolul III, ASPECTE ANATOMICE ALE MEMBRULUI SUPERIOR UMAN prezintă structura anatomică a membrului superior la nivelul scheletului, articulațiilor și mușchilor într-o manieră care să permită realizarea modelelor cât mai apropiate de realitate. În acest capitol se poate menționa ca originală:

- ◆ *realizarea unei prezentări sintetice a sistemelor osteoarticular și muscular a membrului superior axată pe descrierea mișcărilor posibile, ca element fundamental în realizarea unor modele corecte.*

Capitolul IV, MODELAREA GEOMETRICĂ A MEMBRULUI SUPERIOR UMAN tratează diferite tehnici de modelare a elementelor de schelet prin curbe și porțiuni de suprafață, modelele fiind realizate cu ajutorul programelor AutoCad și MatLab. Acest capitol prezintă următoarele contribuții originale:

- ◆ *modelele 2D ale diferitelor componente ale sistemului osteoarticular ale membrului superior: clavicula, humerusul, radiusul, ulna, utilizând curbe;*
- ◆ *modele 3D ale unor porțiuni ale membrului superior pornind de la imagini de bază achiziționate prin tomografie computerizată și rezonanță magnetică; aceste modele prezintă marele avantaj că sunt obținute în format compatibil cu alte programe de prelucrare a imaginilor;*
- ◆ *s-a realizat un model real al membrului superior în varianta oase încărcate de mușchi deosebit de util în calculul caracteristicilor de masă necesare în modelarea dinamică.*

Capitolul V, MODELUL CINEMATIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN realizează două variante de model ca lanț cinematic deschis: unul cu 8 grade de libertate și unul simplificat cu 5 grade de libertate. Acest capitol prezintă următoarele contribuții originale:

- ◆ *un model funcțional al membrului superior cu 8 grade de libertate;*
- ◆ *un model funcțional simplificat cu 5 grade de libertate;*
- ◆ *realizarea unor programe de modelare a traiectoriilor mâinii, ca efector final, luând în considerare diferite variații posibile ale variabilelor articulare; s-a certificat prin această modelare că modelele propuse sunt corecte din punct de vedere al mișcărilor posibile;*

- ◆ realizarea unor programe de modelare a hipersuprafețelor ce mărginesc spațiul descris de extremitatea distală a membrului superior verificând astfel corectitudinea modelelor propuse.

Capitolul VI, MODELUL DINAMIC AL MEMBRULUI SUPERIOR UMAN

realizează modelul în formalism Lagrange integrând numeric ecuațiile diferențiale obținute prin utilizarea programării în MATLAB. Acest capitol conține ca și contribuții originale:

- ◆ un model dinamic corect al membrului superior care a permis studierea mișcărilor din articulații în cazul segmentelor aflate doar sub acțiunea forțelor proprii de greutate;
- ◆ rezolvarea în MATLAB a ecuațiilor diferențiale ale mișcării în diferite condiții inițiale pentru vitezele și variabilele articulare;
- ◆ evaluarea prin polinoame ortogonale a legilor de mișcare în articulații în vederea proiectării de proteze inteligente.

Capitolul VII, BAZE DE DATE PRIVIND DEFICIENȚELE MOTORII ALE MEMBRULUI SUPERIOR prezintă succesiunea creării acestei baze: realizarea structurii sale, realizarea formularului de completare a bazei de date și asigurarea accesibilității sale pe Internet. Contribuțiile originale conținute în acest capitol sunt:

- ◆ o sinteză a diferitelor tipuri de fracturi proprii membrului superior și a tratamentelor recomandate;
- ◆ conceperea bazei de date Ortoped pentru înregistrarea deficiențelor motorii ale aparatului locomotor; ea are în componență trei tabele cu denumirile Pacient, Consultații și Imagini;
- ◆ baza de date realizată oferă posibilitatea de a prezenta și imagini ale deficiențelor semnalate și urmărirea evoluției în timp a reabilitării;
- ◆ realizarea unui formular numit Ortoped care cuprinde o pagină home și trei link-uri către paginile de Introducere Pacient, Consultații și Statistici;
- ◆ asigurarea unei accesări rapide a bazei de date prin Internet și a posibilității de înregistrare simultană a mai multor pacienți.

Teza permite dezvoltări ulterioare de tipul:

- ◆ Construirea de modele mai performante, mai ales la nivelul mâinii și degetelor; aceste dezvoltări ar putea servi la realizarea protezelor inteligente pentru asigurarea funcției de prehensiune și manipulare;

- ◆ Modelări ale membrului superior ca sistem automat cu autoreglare prin considerarea comenzilor furnizate de sistemul nervos și reproducerea lor într-un astfel de model performant;

- ◆ Extinderea bazei de date cu un modul de prelucrare a imaginilor care va putea fi util în stabilirea mai precisă a diagnosticului.

* * *

La finalul aceste teze doresc să mulțumesc în mod deosebit doamnei Prof.dr.ing. Doina Drăgulescu pentru sprijinul acordat pe tot parcursul perioadei de doctorat, contribuția dânzei reflecându-se atât în conținutul științific dar și pe plan afectiv, încurajându-mă să finalizez această teză.

Pentru că, așa cum am amintit, teza abordează un domeniu multidisciplinar, mulțumesc domnului Prof.dr. Ștefan Mărușter pentru ajutorul acordat la înțelegerea unor noțiuni matematice, în special în domeniul modelării cu ajutorul curbelor spline și integrării ecuațiilor diferențiale și domnului Prof.dr. Alexandru Cicortaș pentru sprijinul acordat în înțelegerea unor noțiuni de programare în MatLab.

Pentru ajutorul acordat în domeniul ingineriei mecanice, în special al proiectării în AutoCad și Solid Works, mulțumesc tatălui meu, Ing. Nicolae Chicin și domnului Ing. Ioan Vetro.

Medicina, în special ortopedia fiind un domeniu care a stat la baza realizării modelului membrului superior și a structurii bazei de date privind deficiențele motorii, a fost necesar sprijinul unui medic care lucrează în acest domeniu și cunoaște realitățile cu care se confruntă. Mulțumesc celui care mi-a acordat suport la elaborarea acestor capitole, domnul Dinu Vermeșan.

Și pentru că, cunoștințele de informatică aplicate în această teză acoperă o plajă destul de mare din acest domeniu, mulțumesc studenților mei, Cosmin Herman și Cosmin Dolha cu care am colaborat la implementarea bazei de date și realizarea animației.

ANEXE

ANEXA 1. Valori ale variabilelor și vitezelor articulare obținute prin integrarea în MatLab a sistemului de ecuații (6.34-6.38), $t \in [0, 0.4]$

q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	\dot{q}_1	\dot{q}_2	\dot{q}_3	\dot{q}_4	\dot{q}_5
-1.5700	0.0000	-3.1400	0.0000	-1.5700	0.0000	0.0000	-5.0000	0.0000	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5700	-0.0000	-0.0001	-5.0000	-0.0000	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5700	-0.0000	-0.0001	-5.0000	-0.0001	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5700	-0.0000	-0.0002	-5.0000	-0.0001	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5700	-0.0000	-0.0002	-5.0000	-0.0002	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5699	-0.0000	-0.0005	-5.0000	-0.0003	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1400	-0.0000	-1.5699	-0.0001	-0.0007	-5.0000	-0.0005	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1401	-0.0000	-1.5699	-0.0001	-0.0010	-5.0000	-0.0007	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1401	-0.0000	-1.5698	-0.0001	-0.0012	-5.0000	-0.0009	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1402	-0.0000	-1.5697	-0.0002	-0.0025	-5.0000	-0.0019	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1403	-0.0000	-1.5695	-0.0004	-0.0037	-5.0000	-0.0029	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1403	-0.0000	-1.5693	-0.0005	-0.0050	-5.0001	-0.0038	10.0000
-1.5700	-0.0000	-3.1404	-0.0000	-1.5691	-0.0006	-0.0062	-5.0001	-0.0048	9.9999
-1.5700	-0.0000	-3.1409	-0.0000	-1.5683	-0.0013	-0.0125	-5.0002	-0.0096	9.9998
-1.5700	-0.0000	-3.1413	-0.0000	-1.5674	-0.0019	-0.0188	-5.0005	-0.0145	9.9997
-1.5700	-0.0000	-3.1417	-0.0000	-1.5665	-0.0025	-0.0251	-5.0008	-0.0193	9.9995
-1.5700	-0.0000	-3.1422	-0.0000	-1.5656	-0.0032	-0.0313	-5.0011	-0.0241	9.9992
-1.5700	-0.0000	-3.1444	-0.0000	-1.5613	-0.0063	-0.0627	-5.0038	-0.0483	9.9973
-1.5700	-0.0001	-3.1466	-0.0000	-1.5569	-0.0095	-0.0942	-5.0081	-0.0724	9.9942
-1.5700	-0.0001	-3.1487	-0.0001	-1.5525	-0.0127	-0.1256	-5.0141	-0.0966	9.9899
-1.5700	-0.0002	-3.1509	-0.0001	-1.5482	-0.0158	-0.1570	-5.0217	-0.1208	9.9845
-1.5701	-0.0007	-3.1620	-0.0005	-1.5264	-0.0317	-0.3140	-5.0839	-0.2420	9.9398
-1.5702	-0.0015	-3.1732	-0.0012	-1.5048	-0.0476	-0.4710	-5.1871	-0.3635	9.8647
-1.5703	-0.0027	-3.1847	-0.0021	-1.4833	-0.0635	-0.6279	-5.3318	-0.4854	9.7572
-1.5704	-0.0043	-3.1965	-0.0033	-1.4621	-0.0794	-0.7849	-5.5185	-0.6079	9.6147
-1.5708	-0.0080	-3.2193	-0.0062	-1.4246	-0.1084	-1.0700	-5.9644	-0.8323	9.2539
-1.5713	-0.0128	-3.2441	-0.0099	-1.3888	-0.1375	-1.3550	-6.5466	-1.0598	8.7301
-1.5719	-0.0187	-3.2715	-0.0146	-1.3555	-0.1666	-1.6396	-7.2393	-1.2923	8.0012
-1.5726	-0.0258	-3.3017	-0.0202	-1.3256	-0.1957	-1.9241	-7.9824	-1.5319	7.0241
-1.5735	-0.0340	-3.3348	-0.0268	-1.3000	-0.2248	-2.2084	-8.6806	-1.7817	5.7616
-1.5744	-0.0434	-3.3704	-0.0344	-1.2801	-0.2538	-2.4930	-9.1648	-2.0442	4.2457
-1.5755	-0.0538	-3.4071	-0.0430	-1.2665	-0.2828	-2.7779	-9.2846	-2.3195	2.5788
-1.5767	-0.0654	-3.4435	-0.0528	-1.2596	-0.3117	-3.0635	-8.9508	-2.6039	0.9181
-1.5776	-0.0746	-3.4686	-0.0606	-1.2586	-0.3326	-3.2713	-8.4166	-2.8119	-0.1690
-1.5786	-0.0843	-3.4919	-0.0690	-1.2605	-0.3535	-3.4796	-7.6849	-3.0168	-1.0866
-1.5796	-0.0946	-3.5128	-0.0780	-1.2647	-0.3742	-3.6885	-6.8163	-3.2149	-1.8049
-1.5807	-0.1056	-3.5311	-0.0876	-1.2707	-0.3948	-3.8978	-5.8796	-3.4034	-2.3215
-1.5819	-0.1171	-3.5467	-0.0976	-1.2779	-0.4154	-4.1076	-4.9422	-3.5806	-2.6573

-1.5831	-0.1293	-3.5596	-0.1082	-1.2859	-0.4358	-4.3178	-4.0488	-3.7460	-2.8434
-1.5844	-0.1420	-3.5701	-0.1192	-1.2942	-0.4561	-4.5285	-3.2324	-3.8994	-2.9120
-1.5858	-0.1554	-3.5784	-0.1307	-1.3026	-0.4762	-4.7396	-2.5159	-4.0414	-2.8919
-1.5867	-0.1648	-3.5829	-0.1386	-1.3082	-0.4898	-4.8828	-2.0928	-4.1313	-2.8407
-1.5877	-0.1744	-3.5866	-0.1468	-1.3136	-0.5033	-5.0261	-1.7202	-4.2164	-2.7655
-1.5887	-0.1844	-3.5896	-0.1551	-1.3189	-0.5167	-5.1697	-1.3972	-4.2968	-2.6704
-1.5897	-0.1946	-3.5921	-0.1636	-1.3240	-0.5301	-5.3134	-1.1211	-4.3724	-2.5590
-1.5907	-0.2051	-3.5940	-0.1722	-1.3289	-0.5434	-5.4574	-0.8874	-4.4434	-2.4335
-1.5918	-0.2159	-3.5956	-0.1809	-1.3335	-0.5566	-5.6015	-0.6936	-4.5095	-2.2955
-1.5929	-0.2270	-3.5968	-0.1898	-1.3379	-0.5697	-5.7458	-0.5360	-4.5706	-2.1459
-1.5940	-0.2383	-3.5977	-0.1987	-1.3419	-0.5828	-5.8903	-0.4092	-4.6266	-1.9857
-1.5950	-0.2478	-3.5983	-0.2061	-1.3450	-0.5933	-6.0083	-0.3246	-4.6683	-1.8473
-1.5959	-0.2575	-3.5987	-0.2136	-1.3478	-0.6039	-6.1264	-0.2553	-4.7062	-1.7021
-1.5969	-0.2673	-3.5991	-0.2211	-1.3504	-0.6143	-6.2446	-0.1994	-4.7402	-1.5500
-1.5979	-0.2774	-3.5994	-0.2287	-1.3527	-0.6248	-6.3629	-0.1545	-4.7701	-1.3911
-1.5987	-0.2858	-3.5995	-0.2350	-1.3545	-0.6333	-6.4607	-0.1241	-4.7917	-1.2544
-1.5995	-0.2944	-3.5997	-0.2413	-1.3560	-0.6418	-6.5586	-0.0992	-4.8103	-1.1129
-1.6004	-0.3031	-3.5998	-0.2477	-1.3574	-0.6503	-6.6565	-0.0789	-4.8258	-0.9663
-1.6013	-0.3119	-3.5999	-0.2540	-1.3586	-0.6588	-6.7544	-0.0624	-4.8380	-0.8147
-1.6020	-0.3198	-3.6000	-0.2597	-1.3594	-0.6662	-6.8410	-0.0505	-4.8462	-0.6762
-1.6028	-0.3278	-3.6000	-0.2653	-1.3601	-0.6736	-6.9276	-0.0407	-4.8517	-0.5335
-1.6036	-0.3359	-3.6001	-0.2709	-1.3607	-0.6809	-7.0141	-0.0327	-4.8545	-0.3865
-1.6044	-0.3441	-3.6001	-0.2766	-1.3610	-0.6883	-7.1007	-0.0262	-4.8544	-0.2349
-1.6051	-0.3518	-3.6001	-0.2818	-1.3612	-0.6950	-7.1800	-0.0213	-4.8519	-0.0916
-1.6059	-0.3595	-3.6001	-0.2870	-1.3612	-0.7016	-7.2593	-0.0172	-4.8470	0.0556
-1.6066	-0.3673	-3.6002	-0.2921	-1.3611	-0.7082	-7.3386	-0.0139	-4.8395	0.2072
-1.6074	-0.3752	-3.6002	-0.2973	-1.3608	-0.7148	-7.4177	-0.0112	-4.8295	0.3630
-1.6081	-0.3827	-3.6002	-0.3021	-1.3603	-0.7210	-7.4921	-0.0092	-4.8177	0.5138
-1.6088	-0.3902	-3.6002	-0.3070	-1.3597	-0.7272	-7.5664	-0.0074	-4.8035	0.6687
-1.6096	-0.3979	-3.6002	-0.3118	-1.3590	-0.7333	-7.6406	-0.0060	-4.7870	0.8279
-1.6103	-0.4056	-3.6002	-0.3166	-1.3581	-0.7394	-7.7146	-0.0049	-4.7680	0.9917
-1.6110	-0.4131	-3.6002	-0.3212	-1.3570	-0.7452	-7.7855	-0.0040	-4.7475	1.1531
-1.6117	-0.4206	-3.6002	-0.3258	-1.3559	-0.7510	-7.8563	-0.0033	-4.7247	1.3189
-1.6125	-0.4282	-3.6002	-0.3303	-1.3545	-0.7568	-7.9269	-0.0027	-4.6996	1.4894
-1.6132	-0.4359	-3.6002	-0.3348	-1.3530	-0.7625	-7.9973	-0.0022	-4.6721	1.6647
-1.6139	-0.4434	-3.6002	-0.3392	-1.3513	-0.7681	-8.0657	-0.0018	-4.6430	1.8404
-1.6146	-0.4510	-3.6002	-0.3435	-1.3495	-0.7736	-8.1340	-0.0015	-4.6116	2.0211
-1.6154	-0.4587	-3.6002	-0.3479	-1.3475	-0.7792	-8.2021	-0.0012	-4.5779	2.2070
-1.6161	-0.4664	-3.6002	-0.3521	-1.3454	-0.7847	-8.2699	-0.0010	-4.5419	2.3983
-1.6168	-0.4742	-3.6002	-0.3563	-1.3431	-0.7901	-8.3369	-0.0008	-4.5038	2.5932
-1.6176	-0.4820	-3.6002	-0.3605	-1.3405	-0.7955	-8.4036	-0.0007	-4.4635	2.7939
-1.6183	-0.4898	-3.6002	-0.3647	-1.3378	-0.8008	-8.4700	-0.0005	-4.4207	3.0006
-1.6191	-0.4977	-3.6002	-0.3687	-1.3350	-0.8062	-8.5362	-0.0004	-4.3756	3.2134
-1.6198	-0.5058	-3.6002	-0.3728	-1.3318	-0.8116	-8.6028	-0.0004	-4.3275	3.4354
-1.6206	-0.5139	-3.6002	-0.3769	-1.3285	-0.8169	-8.6690	-0.0003	-4.2770	3.6643
-1.6214	-0.5221	-3.6002	-0.3809	-1.3249	-0.8223	-8.7349	-0.0002	-4.2240	3.9004
-1.6221	-0.5304	-3.6002	-0.3848	-1.3211	-0.8276	-8.8004	-0.0002	-4.1685	4.1440
-1.6231	-0.5404	-3.6002	-0.3895	-1.3163	-0.8339	-8.8785	-0.0002	-4.0985	4.4471
-1.6240	-0.5505	-3.6002	-0.3941	-1.3111	-0.8402	-8.9561	-0.0001	-4.0249	4.7620
-1.6250	-0.5606	-3.6002	-0.3986	-1.3055	-0.8465	-9.0329	-0.0001	-3.9477	5.0894
-1.6260	-0.5709	-3.6002	-0.4031	-1.2995	-0.8527	-9.1090	-0.0001	-3.8669	5.4298
-1.6271	-0.5836	-3.6002	-0.4084	-1.2917	-0.8604	-9.2015	-0.0001	-3.7626	5.8673
-1.6283	-0.5965	-3.6002	-0.4135	-1.2832	-0.8679	-9.2928	-0.0001	-3.6527	6.3267
-1.6296	-0.6095	-3.6002	-0.4185	-1.2741	-0.8755	-9.3827	-0.0000	-3.5375	6.8094

-1.6308	-0.6226	-3.6002	-0.4234	-1.2642	-0.8829	-9.4711	-0.0000	-3.4169	7.3165
-1.6325	-0.6407	-3.6002	-0.4297	-1.2497	-0.8930	-9.5889	-0.0000	-3.2441	8.0485
-1.6342	-0.6589	-3.6002	-0.4356	-1.2337	-0.9030	-9.7035	-0.0000	-3.0617	8.8317
-1.6359	-0.6774	-3.6002	-0.4413	-1.2162	-0.9128	-9.8146	-0.0000	-2.8697	9.6698
-1.6376	-0.6961	-3.6002	-0.4465	-1.1971	-0.9226	-9.9220	-0.0000	-2.6684	10.5660
-1.6425	-0.7482	-3.6002	-0.4588	-1.1355	-0.9490	-10.1937	-0.0000	-2.0736	13.3324
-1.6474	-0.8015	-3.6002	-0.4679	-1.0583	-0.9747	-10.4277	-0.0000	-1.4201	16.6128
-1.6525	-0.8560	-3.6002	-0.4734	-0.9626	-1.0000	-10.6177	-0.0000	-0.7189	20.3979
-1.6578	-0.9113	-3.6002	-0.4752	-0.8464	-1.0248	-10.7591	-0.0000	0.0169	24.5765
-1.6593	-0.9268	-3.6002	-0.4751	-0.8103	-1.0317	-10.7893	-0.0000	0.2250	25.7774
-1.6607	-0.9423	-3.6002	-0.4746	-0.7724	-1.0385	-10.8158	-0.0001	0.4343	26.9834
-1.6622	-0.9578	-3.6002	-0.4738	-0.7329	-1.0452	-10.8385	-0.0001	0.6444	28.1856
-1.6637	-0.9734	-3.6002	-0.4727	-0.6916	-1.0520	-10.8578	-0.0001	0.8550	29.3740
-1.6650	-0.9858	-3.6002	-0.4717	-0.6575	-1.0574	-10.8707	-0.0002	1.0228	30.3030
-1.6662	-0.9982	-3.6002	-0.4704	-0.6224	-1.0627	-10.8818	-0.0003	1.1906	31.2101
-1.6674	-1.0107	-3.6002	-0.4690	-0.5862	-1.0680	-10.8911	-0.0004	1.3582	32.0890
-1.6686	-1.0231	-3.6002	-0.4673	-0.5491	-1.0734	-10.8989	-0.0005	1.5255	32.9331
-1.6698	-1.0356	-3.6002	-0.4655	-0.5110	-1.0787	-10.9053	-0.0008	1.6924	33.7356
-1.6711	-1.0480	-3.6002	-0.4634	-0.4720	-1.0840	-10.9106	-0.0012	1.8587	34.4896
-1.6723	-1.0605	-3.6002	-0.4612	-0.4322	-1.0892	-10.9150	-0.0018	2.0243	35.1883
-1.6736	-1.0729	-3.6002	-0.4588	-0.3916	-1.0945	-10.9189	-0.0026	2.1891	35.8249
-1.6746	-1.0834	-3.6002	-0.4567	-0.3572	-1.0989	-10.9218	-0.0037	2.3264	36.3053
-1.6757	-1.0938	-3.6002	-0.4544	-0.3223	-1.1033	-10.9246	-0.0051	2.4630	36.7340
-1.6767	-1.1043	-3.6002	-0.4520	-0.2870	-1.1077	-10.9275	-0.0069	2.5989	37.1076
-1.6778	-1.1147	-3.6003	-0.4494	-0.2513	-1.1120	-10.9305	-0.0094	2.7341	37.4232
-1.6788	-1.1247	-3.6003	-0.4468	-0.2170	-1.1162	-10.9336	-0.0125	2.8626	37.6678
-1.6798	-1.1347	-3.6003	-0.4442	-0.1825	-1.1204	-10.9372	-0.0163	2.9904	37.8546
-1.6808	-1.1447	-3.6003	-0.4414	-0.1479	-1.1245	-10.9411	-0.0211	3.1174	37.9818
-1.6819	-1.1547	-3.6003	-0.4385	-0.1131	-1.1286	-10.9456	-0.0270	3.2436	38.0479
-1.6830	-1.1655	-3.6003	-0.4352	-0.0755	-1.1331	-10.9511	-0.0346	3.3795	38.0492
-1.6841	-1.1764	-3.6004	-0.4318	-0.0378	-1.1376	-10.9574	-0.0436	3.5144	37.9765
-1.6852	-1.1872	-3.6004	-0.4282	-0.0003	-1.1420	-10.9644	-0.0541	3.6483	37.8295
-1.6864	-1.1981	-3.6005	-0.4246	0.0370	-1.1464	-10.9721	-0.0659	3.7812	37.6083
-1.6878	-1.2113	-3.6006	-0.4199	0.0823	-1.1518	-10.9825	-0.0819	3.9421	37.2387
-1.6892	-1.2246	-3.6007	-0.4150	0.1270	-1.1571	-10.9938	-0.0993	4.1013	36.7618
-1.6906	-1.2379	-3.6008	-0.4100	0.1711	-1.1625	-11.0060	-0.1177	4.2589	36.1810
-1.6920	-1.2512	-3.6010	-0.4047	0.2144	-1.1677	-11.0189	-0.1367	4.4148	35.5005
-1.6940	-1.2701	-3.6012	-0.3970	0.2743	-1.1752	-11.0378	-0.1640	4.6327	34.3749
-1.6960	-1.2891	-3.6015	-0.3889	0.3322	-1.1826	-11.0570	-0.1915	4.8466	33.0768
-1.6980	-1.3080	-3.6019	-0.3804	0.3876	-1.1899	-11.0757	-0.2193	5.0562	31.6253
-1.7001	-1.3270	-3.6023	-0.3715	0.4405	-1.1972	-11.0932	-0.2487	5.2611	30.0408
-1.7030	-1.3539	-3.6029	-0.3585	0.5103	-1.2074	-11.1145	-0.2972	5.5416	27.6181
-1.7059	-1.3808	-3.6037	-0.3447	0.5740	-1.2174	-11.1306	-0.3603	5.8104	25.0293
-1.7089	-1.4078	-3.6047	-0.3304	0.6313	-1.2273	-11.1401	-0.4506	6.0662	22.3264
-1.7119	-1.4347	-3.6060	-0.3154	0.6820	-1.2370	-11.1423	-0.5875	6.3073	19.5546
-1.7149	-1.4618	-3.6076	-0.2998	0.7261	-1.2467	-11.1367	-0.8038	6.5327	16.7425
-1.7179	-1.4888	-3.6099	-0.2837	0.7633	-1.2562	-11.1234	-1.1440	6.7397	13.9284
-1.7210	-1.5158	-3.6133	-0.2671	0.7938	-1.2656	-11.1026	-1.6997	6.9254	11.1452
-1.7241	-1.5428	-3.6185	-0.2500	0.8175	-1.2748	-11.0748	-2.6259	7.0847	8.4395
-1.7266	-1.5649	-3.6249	-0.2357	0.8324	-1.2824	-11.0470	-3.8172	7.1882	6.3413
-1.7292	-1.5870	-3.6343	-0.2213	0.8431	-1.2899	-11.0153	-5.6595	7.2584	4.4311
-1.7318	-1.6091	-3.6482	-0.2067	0.8503	-1.2972	-10.9804	-8.4214	7.2719	2.9600
-1.7344	-1.6310	-3.6687	-0.1922	0.8556	-1.3045	-10.9439	-12.3032	7.1813	2.4811
-1.7355	-1.6402	-3.6799	-0.1862	0.8578	-1.3076	-10.9285	-14.2804	7.0963	2.7710

-1.7366	-1.6494	-3.6928	-0.1802	0.8604	-1.3106	-10.9135	-16.3975	6.9747	3.4748
-1.7377	-1.6586	-3.7075	-0.1744	0.8638	-1.3136	-10.8991	-18.5554	6.8121	4.6708
-1.7388	-1.6678	-3.7240	-0.1688	0.8684	-1.3166	-10.8856	-20.6050	6.6065	6.4070
-1.7399	-1.6769	-3.7421	-0.1633	0.8747	-1.3196	-10.8734	-22.3596	6.3601	8.6923
-1.7410	-1.6861	-3.7615	-0.1581	0.8831	-1.3225	-10.8628	-23.6137	6.0829	11.4288
-1.7421	-1.6952	-3.7817	-0.1531	0.8940	-1.3255	-10.8540	-24.2181	5.7894	14.4503
-1.7433	-1.7043	-3.8021	-0.1483	0.9075	-1.3284	-10.8470	-24.1091	5.4963	17.5488
-1.7445	-1.7142	-3.8236	-0.1435	0.9249	-1.3315	-10.8412	-23.2378	5.2011	20.6997
-1.7457	-1.7240	-3.8441	-0.1389	0.9449	-1.3345	-10.8371	-21.7686	4.9421	23.4246
-1.7469	-1.7338	-3.8630	-0.1345	0.9672	-1.3376	-10.8341	-19.9216	4.7269	25.5941
-1.7481	-1.7437	-3.8802	-0.1303	0.9911	-1.3406	-10.8319	-17.9273	4.5553	27.1847
-1.7493	-1.7531	-3.8950	-0.1264	1.0154	-1.3435	-10.8299	-16.0431	4.4255	28.2300
-1.7505	-1.7626	-3.9083	-0.1226	1.0405	-1.3463	-10.8277	-14.2827	4.3245	28.8723
-1.7516	-1.7721	-3.9201	-0.1188	1.0659	-1.3491	-10.8251	-12.6991	4.2463	29.1942
-1.7528	-1.7816	-3.9306	-0.1151	1.0915	-1.3519	-10.8218	-11.3101	4.1850	29.2766
-1.7553	-1.8017	-3.9494	-0.1074	1.1459	-1.3577	-10.8119	-8.9722	4.0908	28.9534
-1.7579	-1.8219	-3.9644	-0.0998	1.1992	-1.3634	-10.7974	-7.3053	4.0262	28.2493
-1.7604	-1.8420	-3.9769	-0.0924	1.2512	-1.3689	-10.7779	-6.1204	3.9748	27.4146
-1.7630	-1.8621	-3.9875	-0.0850	1.3015	-1.3742	-10.7534	-5.3063	3.9272	26.5951
-1.7655	-1.8816	-3.9966	-0.0779	1.3492	-1.3792	-10.7248	-4.7853	3.8804	25.8716
-1.7680	-1.9011	-4.0050	-0.0709	1.3956	-1.3841	-10.6916	-4.4468	3.8312	25.2581
-1.7705	-1.9205	-4.0129	-0.0640	1.4411	-1.3889	-10.6541	-4.2503	3.7783	24.7739
-1.7730	-1.9398	-4.0205	-0.0572	1.4857	-1.3935	-10.6123	-4.1721	3.7210	24.4298
-1.7760	-1.9620	-4.0293	-0.0494	1.5368	-1.3986	-10.5589	-4.2182	3.6486	24.2095
-1.7789	-1.9842	-4.0384	-0.0418	1.5877	-1.4035	-10.5001	-4.4110	3.5695	24.1783
-1.7819	-2.0062	-4.0480	-0.0344	1.6386	-1.4082	-10.4360	-4.7732	3.4836	24.3257
-1.7848	-2.0280	-4.0586	-0.0272	1.6900	-1.4127	-10.3666	-5.3524	3.3909	24.6300
-1.7880	-2.0509	-4.0714	-0.0198	1.7449	-1.4172	-10.2879	-6.2853	3.2865	25.0616
-1.7911	-2.0735	-4.0867	-0.0127	1.8009	-1.4215	-10.2031	-7.7044	3.1750	25.5602
-1.7943	-2.0960	-4.1060	-0.0058	1.8579	-1.4255	-10.1126	-9.8698	3.0578	25.9246
-1.7974	-2.1182	-4.1312	0.0008	1.9150	-1.4293	-10.0166	-13.1602	2.9389	25.7101
-1.7987	-2.1270	-4.1434	0.0034	1.9374	-1.4308	-9.9773	-14.8740	2.8927	25.3090
-1.7999	-2.1357	-4.1573	0.0059	1.9593	-1.4322	-9.9374	-16.8569	2.8485	24.6072
-1.8012	-2.1444	-4.1730	0.0084	1.9803	-1.4335	-9.8971	-19.1052	2.8077	23.4956
-1.8024	-2.1530	-4.1908	0.0108	2.0002	-1.4349	-9.8567	-21.5759	2.7722	21.8461
-1.8037	-2.1616	-4.2108	0.0132	2.0184	-1.4362	-9.8165	-24.1809	2.7444	19.5270
-1.8049	-2.1702	-4.2331	0.0156	2.0342	-1.4374	-9.7769	-26.7287	2.7272	16.4089
-1.8062	-2.1787	-4.2575	0.0180	2.0469	-1.4387	-9.7383	-28.9651	2.7229	12.4549
-1.8075	-2.1872	-4.2837	0.0204	2.0558	-1.4399	-9.7011	-30.5990	2.7325	7.7651
-1.8085	-2.1939	-4.3050	0.0223	2.0598	-1.4408	-9.6730	-31.2676	2.7493	3.7148
-1.8094	-2.2005	-4.3265	0.0242	2.0609	-1.4417	-9.6462	-31.3094	2.7722	-0.4508
-1.8104	-2.2072	-4.3479	0.0261	2.0592	-1.4426	-9.6205	-30.7170	2.7986	-4.5296
-1.8114	-2.2138	-4.3687	0.0280	2.0547	-1.4435	-9.5959	-29.5471	2.8257	-8.3422
-1.8124	-2.2204	-4.3884	0.0300	2.0478	-1.4443	-9.5723	-27.9211	2.8505	-11.7399
-1.8134	-2.2269	-4.4070	0.0319	2.0387	-1.4452	-9.5494	-25.9929	2.8706	-14.6396
-1.8144	-2.2335	-4.4242	0.0339	2.0278	-1.4460	-9.5271	-23.9054	2.8844	-17.0160
-1.8154	-2.2401	-4.4399	0.0359	2.0154	-1.4468	-9.5052	-21.7871	2.8910	-18.8964
-1.8165	-2.2473	-4.4557	0.0381	2.0002	-1.4477	-9.4810	-19.5057	2.8900	-20.4853
-1.8176	-2.2546	-4.4699	0.0403	1.9840	-1.4486	-9.4567	-17.3807	2.8805	-21.6225
-1.8187	-2.2619	-4.4824	0.0426	1.9671	-1.4495	-9.4323	-15.4554	2.8635	-22.3991
-1.8199	-2.2691	-4.4936	0.0447	1.9497	-1.4504	-9.4076	-13.7442	2.8398	-22.8993
-1.8217	-2.2813	-4.5098	0.0484	1.9197	-1.4518	-9.3650	-11.3190	2.7876	-23.3089
-1.8236	-2.2934	-4.5232	0.0520	1.8894	-1.4532	-9.3210	-9.4008	2.7233	-23.3603
-1.8255	-2.3054	-4.5344	0.0554	1.8592	-1.4546	-9.2754	-7.8948	2.6500	-23.2122

-1.8274	-2.3174	-4.5438	0.0588	1.8293	-1.4559	-9.2282	-6.7191	2.5700	-22.9661
-1.8307	-2.3381	-4.5572	0.0644	1.7782	-1.4581	-9.1423	-5.2566	2.4210	-22.4682
-1.8339	-2.3585	-4.5678	0.0697	1.7282	-1.4603	-9.0514	-4.2902	2.2607	-21.9878
-1.8372	-2.3788	-4.5767	0.0746	1.6792	-1.4623	-8.9557	-3.6375	2.0912	-21.5950
-1.8405	-2.3988	-4.5844	0.0791	1.6310	-1.4642	-8.8552	-3.2100	1.9174	-21.3380
-1.8432	-2.4149	-4.5900	0.0825	1.5921	-1.4657	-8.7704	-3.0000	1.7754	-21.2398
-1.8459	-2.4308	-4.5954	0.0856	1.5534	-1.4670	-8.6826	-2.8810	1.6318	-21.2350
-1.8486	-2.4466	-4.6006	0.0884	1.5146	-1.4684	-8.5919	-2.8438	1.4871	-21.3217
-1.8512	-2.4622	-4.6058	0.0910	1.4755	-1.4696	-8.4984	-2.8872	1.3418	-21.4961
-1.8548	-2.4828	-4.6131	0.0941	1.4225	-1.4712	-8.3686	-3.0871	1.1473	-21.8547
-1.8584	-2.5031	-4.6211	0.0966	1.3684	-1.4726	-8.2338	-3.4797	0.9541	-22.3424
-1.8620	-2.5231	-4.6303	0.0987	1.3131	-1.4740	-8.0940	-4.1502	0.7649	-22.9207
-1.8656	-2.5427	-4.6417	0.1004	1.2563	-1.4752	-7.9494	-5.2550	0.5841	-23.5146
-1.8679	-2.5548	-4.6505	0.1012	1.2201	-1.4758	-7.8567	-6.2684	0.4792	-23.8343
-1.8702	-2.5668	-4.6611	0.1019	1.1835	-1.4765	-7.7622	-7.6447	0.3841	-24.0493
-1.8724	-2.5785	-4.6741	0.1024	1.1467	-1.4771	-7.6663	-9.5057	0.3057	-24.0405
-1.8747	-2.5902	-4.6904	0.1028	1.1103	-1.4776	-7.5691	-11.9865	0.2556	-23.5997
-1.8760	-2.5971	-4.7022	0.1030	1.0889	-1.4779	-7.5106	-13.8185	0.2460	-23.0047
-1.8774	-2.6039	-4.7158	0.1033	1.0683	-1.4782	-7.4519	-15.9248	0.2583	-22.0375
-1.8787	-2.6107	-4.7314	0.1035	1.0488	-1.4785	-7.3934	-18.2700	0.2990	-20.5753
-1.8801	-2.6174	-4.7492	0.1038	1.0309	-1.4787	-7.3352	-20.7555	0.3750	-18.4885
-1.8814	-2.6241	-4.7693	0.1042	1.0152	-1.4790	-7.2777	-23.2212	0.4924	-15.6607
-1.8828	-2.6307	-4.7916	0.1047	1.0025	-1.4792	-7.2213	-25.3736	0.6536	-12.0473
-1.8841	-2.6373	-4.8155	0.1054	0.9934	-1.4794	-7.1663	-26.9061	0.8539	-7.7373
-1.8855	-2.6438	-4.8405	0.1063	0.9885	-1.4795	-7.1128	-27.5643	1.0806	-2.9752
-1.8866	-2.6492	-4.8615	0.1072	0.9878	-1.4796	-7.0697	-27.3204	1.2751	1.0692
-1.8877	-2.6546	-4.8820	0.1082	0.9900	-1.4797	-7.0277	-26.3944	1.4609	4.9232
-1.8889	-2.6600	-4.9015	0.1094	0.9951	-1.4798	-6.9868	-24.9016	1.6269	8.3926
-1.8900	-2.6653	-4.9198	0.1107	1.0027	-1.4798	-6.9468	-23.0015	1.7661	11.3574
-1.8911	-2.6705	-4.9365	0.1121	1.0123	-1.4799	-6.9075	-20.8863	1.8751	13.7716
-1.8922	-2.6758	-4.9516	0.1136	1.0236	-1.4799	-6.8688	-18.7168	1.9543	15.6549
-1.8934	-2.6810	-4.9651	0.1151	1.0361	-1.4798	-6.8304	-16.6108	2.0060	17.0628
-1.8945	-2.6862	-4.9770	0.1166	1.0495	-1.4798	-6.7922	-14.6501	2.0343	18.0777
-1.8960	-2.6929	-4.9903	0.1186	1.0678	-1.4797	-6.7428	-12.3918	2.0435	18.9479
-1.8974	-2.6995	-5.0015	0.1206	1.0867	-1.4795	-6.6933	-10.4573	2.0287	19.4440
-1.8989	-2.7061	-5.0110	0.1226	1.1060	-1.4793	-6.6437	-8.8325	1.9964	19.6822
-1.9003	-2.7126	-5.0190	0.1246	1.1255	-1.4791	-6.5936	-7.4841	1.9516	19.7481
-1.9025	-2.7220	-5.0286	0.1273	1.1539	-1.4787	-6.5199	-5.9222	1.8714	19.6560
-1.9046	-2.7314	-5.0363	0.1300	1.1820	-1.4781	-6.4451	-4.7400	1.7790	19.4300
-1.9067	-2.7406	-5.0424	0.1324	1.2098	-1.4775	-6.3695	-3.8400	1.6789	19.1366
-1.9089	-2.7497	-5.0474	0.1348	1.2372	-1.4768	-6.2928	-3.1552	1.5748	18.8251
-1.9110	-2.7589	-5.0517	0.1370	1.2645	-1.4760	-6.2139	-2.6266	1.4671	18.5152
-1.9132	-2.7679	-5.0552	0.1391	1.2914	-1.4751	-6.1340	-2.2197	1.3579	18.2185
-1.9153	-2.7769	-5.0582	0.1410	1.3179	-1.4740	-6.0532	-1.9039	1.2480	17.9421
-1.9175	-2.7857	-5.0608	0.1427	1.3440	-1.4729	-5.9715	-1.6570	1.1378	17.6910
-1.9207	-2.7984	-5.0641	0.1450	1.3818	-1.4711	-5.8498	-1.3872	0.9764	17.3720
-1.9238	-2.8109	-5.0668	0.1470	1.4189	-1.4691	-5.7264	-1.1982	0.8157	17.1128
-1.9270	-2.8231	-5.0693	0.1485	1.4555	-1.4669	-5.6013	-1.0666	0.6562	16.9131
-1.9301	-2.8350	-5.0715	0.1498	1.4917	-1.4644	-5.4746	-0.9777	0.4984	16.7712
-1.9334	-2.8470	-5.0736	0.1507	1.5288	-1.4617	-5.3426	-0.9221	0.3379	16.6829
-1.9366	-2.8586	-5.0756	0.1513	1.5657	-1.4588	-5.2092	-0.8971	0.1795	16.6495
-1.9399	-2.8700	-5.0775	0.1515	1.6026	-1.4557	-5.0744	-0.9000	0.0232	16.6674
-1.9431	-2.8811	-5.0796	0.1514	1.6395	-1.4523	-4.9382	-0.9312	-0.1307	16.7328
-1.9473	-2.8951	-5.0824	0.1507	1.6881	-1.4477	-4.7587	-1.0208	-0.3277	16.8826

-1.9514	-2.9086	-5.0855	0.1495	1.7371	-1.4427	-4.5773	-1.1775	-0.5204	17.0972
-1.9556	-2.9216	-5.0893	0.1477	1.7869	-1.4373	-4.3942	-1.4316	-0.7083	17.3651
-1.9597	-2.9340	-5.0939	0.1454	1.8375	-1.4316	-4.2094	-1.8374	-0.8905	17.6704
-1.9640	-2.9463	-5.1004	0.1425	1.8909	-1.4253	-4.0161	-2.5141	-1.0709	17.9797
-1.9683	-2.9581	-5.1095	0.1390	1.9454	-1.4186	-3.8215	-3.6268	-1.2416	18.2810
-1.9725	-2.9693	-5.1229	0.1350	2.0005	-1.4116	-3.6259	-5.5045	-1.3909	18.4081
-1.9768	-2.9798	-5.1437	0.1307	2.0552	-1.4042	-3.4299	-8.6503	-1.4877	17.9073
-1.9785	-2.9841	-5.1556	0.1288	2.0772	-1.4010	-3.3484	-10.4752	-1.5000	17.3260
-1.9803	-2.9882	-5.1701	0.1270	2.0982	-1.3978	-3.2670	-12.6552	-1.4845	16.3429
-1.9820	-2.9922	-5.1874	0.1251	2.1178	-1.3945	-3.1860	-15.1506	-1.4309	14.7878
-1.9837	-2.9962	-5.2080	0.1234	2.1349	-1.3911	-3.1054	-17.8107	-1.3284	12.4705
-1.9842	-2.9972	-5.2141	0.1230	2.1390	-1.3902	-3.0836	-18.5307	-1.2906	11.6828
-1.9847	-2.9983	-5.2206	0.1225	2.1428	-1.3893	-3.0618	-19.2352	-1.2485	10.8240
-1.9852	-2.9993	-5.2272	0.1221	2.1463	-1.3884	-3.0402	-19.9156	-1.2019	9.8933
-1.9856	-3.0003	-5.2341	0.1217	2.1495	-1.3874	-3.0185	-20.5628	-1.1509	8.8910

ANEXA 2. Valori ale variabilelor și vitezelor articulare obținute prin integrarea în MatLab a sistemului de ecuații (6.34-6.38) în condiții inițiale nule, $t \in [0, 0.4]$

q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	\dot{q}_1	\dot{q}_2	\dot{q}_3	\dot{q}_4	\dot{q}_5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0001
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001	0	-0.0000	-0.0001
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001	0	-0.0000	-0.0002
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001	0	-0.0001	-0.0002
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0001	-0.0002	0	-0.0001	-0.0005
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0001	-0.0004	0	-0.0002	-0.0007
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0002	-0.0005	0	-0.0003	-0.0010
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0002	-0.0006	0	-0.0004	-0.0012
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0004	-0.0012	0	-0.0008	-0.0025
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0006	-0.0019	0	-0.0012	-0.0037
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0008	-0.0025	0	-0.0016	-0.0050
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0011	-0.0031	0	-0.0020	-0.0062
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0021	-0.0063	0	-0.0040	-0.0125
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0032	-0.0095	0	-0.0060	-0.0188
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0042	-0.0126	0	-0.0081	-0.0251
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0053	-0.0158	0	-0.0101	-0.0313
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0106	-0.0316	0	-0.0202	-0.0627
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0159	-0.0474	0	-0.0303	-0.0941
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0000	-0.0213	-0.0633	0	-0.0404	-0.1255
-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0001	-0.0266	-0.0791	0	-0.0505	-0.1569
-0.0000	-0.0001	0	-0.0001	-0.0003	-0.0532	-0.1582	0	-0.1010	-0.3139
-0.0001	-0.0003	0	-0.0002	-0.0006	-0.0798	-0.2373	0	-0.1515	-0.4709
-0.0002	-0.0005	0	-0.0003	-0.0011	-0.1064	-0.3164	0	-0.2019	-0.6279
-0.0003	-0.0008	0	-0.0005	-0.0017	-0.1330	-0.3955	0	-0.2524	-0.7849
-0.0011	-0.0033	0	-0.0021	-0.0066	-0.2659	-0.7910	0	-0.5049	-1.5697
-0.0025	-0.0075	0	-0.0048	-0.0149	-0.3989	-1.1865	0	-0.7572	-2.3539
-0.0045	-0.0133	0	-0.0085	-0.0264	-0.5319	-1.5821	0	-1.0095	-3.1359
-0.0070	-0.0208	0	-0.0133	-0.0412	-0.6648	-1.9777	0	-1.2613	-3.9128
-0.0131	-0.0390	0	-0.0249	-0.0772	-0.9109	-2.7103	0	-1.7247	-5.3197
-0.0212	-0.0630	0	-0.0401	-0.1238	-1.1568	-3.4443	0	-2.1813	-6.6405
-0.0311	-0.0926	0	-0.0588	-0.1801	-1.4027	-4.1809	0	-2.6240	-7.7916
-0.0430	-0.1281	0	-0.0809	-0.2443	-1.6484	-4.9216	0	-3.0420	-8.6553
-0.0559	-0.1668	0	-0.1045	-0.3097	-1.8799	-5.6251	0	-3.4006	-9.0783
-0.0706	-0.2106	0	-0.1307	-0.3763	-2.1110	-6.3339	0	-3.7081	-8.9781
-0.0869	-0.2597	0	-0.1588	-0.4399	-2.3416	-7.0466	0	-3.9448	-8.2302
-0.1050	-0.3141	0	-0.1883	-0.4953	-2.5716	-7.7599	0	-4.0887	-6.7456
-0.1247	-0.3736	0	-0.2185	-0.5372	-2.8008	-8.4679	0	-4.1160	-4.4812
-0.1461	-0.4383	0	-0.2484	-0.5594	-3.0292	-9.1614	0	-4.0024	-1.4030
-0.1691	-0.5081	0	-0.2769	-0.5558	-3.2566	-9.8286	0	-3.7281	2.4344
-0.1939	-0.5825	0	-0.3027	-0.5219	-3.4829	-10.4565	0	-3.2804	6.8393
-0.2157	-0.6477	0	-0.3212	-0.4687	-3.6699	-10.9382	0	-2.7733	10.7126
-0.2386	-0.7157	0	-0.3363	-0.3920	-3.8562	-11.3785	0	-2.1477	14.4787
-0.2626	-0.7863	0	-0.3472	-0.2933	-4.0415	-11.7758	0	-1.4127	17.7180

-0.2878	-0.8591	0	-0.3533	-0.1778	-4.2259	-12.1321	0	-0.5824	19.9158
-0.3044	-0.9065	0	-0.3544	-0.0993	-4.3425	-12.3392	0	-0.0134	20.5236
-0.3215	-0.9546	0	-0.3534	-0.0199	-4.4587	-12.5322	0	0.5816	20.3941
-0.3389	-1.0035	0	-0.3499	0.0575	-4.5745	-12.7102	0	1.1964	19.4704
-0.3569	-1.0530	0	-0.3441	0.1298	-4.6897	-12.8715	0	1.8241	17.7584
-0.3752	-1.1031	0	-0.3358	0.1941	-4.8044	-13.0130	0	2.4569	15.3183
-0.3941	-1.1538	0	-0.3251	0.2477	-4.9185	-13.1312	0	3.0858	12.2479
-0.4133	-1.2048	0	-0.3119	0.2883	-5.0320	-13.2230	0	3.7011	8.6763
-0.4330	-1.2561	0	-0.2964	0.3143	-5.1449	-13.2863	0	4.2924	4.7574
-0.4532	-1.3078	0	-0.2787	0.3249	-5.2575	-13.3203	0	4.8512	0.6386
-0.4739	-1.3595	0	-0.2588	0.3193	-5.3694	-13.3258	0	5.3650	-3.5127
-0.4949	-1.4113	0	-0.2371	0.2978	-5.4806	-13.3055	0	5.8246	-7.5356
-0.5164	-1.4629	0	-0.2136	0.2611	-5.5911	-13.2632	0	6.2221	-11.2712
-0.5370	-1.5111	0	-0.1904	0.2142	-5.6940	-13.2082	0	6.5327	-14.3772
-0.5579	-1.5591	0	-0.1661	0.1570	-5.7961	-13.1432	0	6.7791	-16.9650
-0.5792	-1.6069	0	-0.1411	0.0914	-5.8973	-13.0729	0	6.9587	-18.9247
-0.6009	-1.6544	0	-0.1155	0.0199	-5.9976	-13.0013	0	7.0701	-20.1791
-0.6247	-1.7053	0	-0.0876	-0.0608	-6.1048	-12.9261	0	7.1139	-20.6941
-0.6489	-1.7560	0	-0.0596	-0.1417	-6.2107	-12.8540	0	7.0788	-20.3334
-0.6735	-1.8064	0	-0.0320	-0.2195	-6.3153	-12.7841	0	6.9668	-19.1464
-0.6986	-1.8566	0	-0.0050	-0.2913	-6.4184	-12.7137	0	6.7806	-17.2429
-0.7241	-1.9065	0	0.0213	-0.3545	-6.5201	-12.6386	0	6.5234	-14.7627
-0.7499	-1.9561	0	0.0463	-0.4071	-6.6201	-12.5548	0	6.2000	-11.8468
-0.7762	-2.0054	0	0.0700	-0.4475	-6.7184	-12.4583	0	5.8159	-8.6355
-0.8029	-2.0542	0	0.0921	-0.4748	-6.8149	-12.3461	0	5.3775	-5.2616
-0.8365	-2.1143	0	0.1170	-0.4902	-6.9322	-12.1810	0	4.7677	-1.0137
-0.8707	-2.1734	0	0.1387	-0.4850	-7.0464	-11.9856	0	4.1004	3.1242
-0.9055	-2.2316	0	0.1570	-0.4601	-7.1575	-11.7592	0	3.3911	6.9827
-0.9408	-2.2885	0	0.1718	-0.4173	-7.2654	-11.5035	0	2.6552	10.4090
-0.9727	-2.3382	0	0.1820	-0.3660	-7.3588	-11.2530	0	1.9880	12.9902
-1.0051	-2.3868	0	0.1892	-0.3046	-7.4495	-10.9851	0	1.3208	15.0237
-1.0378	-2.4342	0	0.1935	-0.2356	-7.5373	-10.7035	0	0.6621	16.4422
-1.0710	-2.4804	0	0.1950	-0.1618	-7.6222	-10.4117	0	0.0186	17.2155
-1.1080	-2.5298	0	0.1934	-0.0781	-7.7125	-10.0816	0	-0.6675	17.3284
-1.1454	-2.5776	0	0.1886	0.0043	-7.7990	-9.7455	0	-1.3224	16.7242
-1.1832	-2.6238	0	0.1807	0.0822	-7.8816	-9.4046	0	-1.9418	15.5046
-1.2214	-2.6684	0	0.1699	0.1531	-7.9602	-9.0594	0	-2.5229	13.8057
-1.2564	-2.7073	0	0.1578	0.2095	-8.0279	-8.7429	0	-3.0152	11.9783
-1.2916	-2.7448	0	0.1436	0.2576	-8.0921	-8.4228	0	-3.4745	9.9750
-1.3271	-2.7809	0	0.1275	0.2966	-8.1528	-8.0996	0	-3.9012	7.8802
-1.3629	-2.8156	0	0.1096	0.3264	-8.2100	-7.7739	0	-4.2964	5.7628
-1.4224	-2.8698	0	0.0764	0.3556	-8.2965	-7.2339	0	-4.8839	2.3539
-1.4826	-2.9200	0	0.0393	0.3610	-8.3729	-6.6957	0	-5.3997	-0.8317
-1.5432	-2.9664	0	-0.0013	0.3444	-8.4391	-6.1654	0	-5.8553	-3.7149
-1.6043	-3.0090	0	-0.0451	0.3081	-8.4949	-5.6484	0	-6.2628	-6.2679
-1.6635	-3.0465	0	-0.0898	0.2569	-8.5387	-5.1677	0	-6.6212	-8.4242
-1.7229	-3.0808	0	-0.1370	0.1917	-8.5726	-4.7073	0	-6.9559	-10.3052
-1.7826	-3.1120	0	-0.1865	0.1143	-8.5964	-4.2698	0	-7.2751	-11.9423
-1.8423	-3.1402	0	-0.2381	0.0263	-8.6102	-3.8572	0	-7.5852	-13.3730
-1.9321	-3.1774	0	-0.3196	-0.1230	-8.6119	-3.2867	0	-8.0431	-15.2192
-2.0218	-3.2090	0	-0.4058	-0.2902	-8.5907	-2.7750	0	-8.4985	-16.8126
-2.1112	-3.2355	0	-0.4968	-0.4731	-8.5465	-2.3208	0	-8.9528	-18.2364
-2.2000	-3.2576	0	-0.5925	-0.6700	-8.4794	-1.9212	0	-9.4012	-19.5217

ANEXA 3. Valori ale variabilelor și vitezelor articulare obținute prin integrarea în MatLab a sistemului de ecuații (6.34-6.38), $t \in [0, 1]$

q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	\dot{q}_1	\dot{q}_2	\dot{q}_3	\dot{q}_4	\dot{q}_5
-0.7850	-0.7850	1.5700	0	-0.7850	0	0	0	0	0
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0001
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0000	-0.0000	0	-0.0000	-0.0001
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0000	-0.0001	0	-0.0001	-0.0002
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0000	-0.0001	0	-0.0001	-0.0002
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0001	-0.0002	0	-0.0002	-0.0005
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0001	-0.0003	0	-0.0003	-0.0007
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0002	-0.0004	0	-0.0004	-0.0010
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0002	-0.0006	0	-0.0005	-0.0012
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0005	-0.0012	0	-0.0011	-0.0025
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0007	-0.0017	0	-0.0017	-0.0037
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0009	-0.0023	0	-0.0022	-0.0050
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0012	-0.0029	0	-0.0028	-0.0062
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0023	-0.0059	0	-0.0056	-0.0125
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0035	-0.0088	0	-0.0083	-0.0188
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0046	-0.0118	0	-0.0111	-0.0251
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0058	-0.0147	0	-0.0139	-0.0313
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0116	-0.0294	0	-0.0279	-0.0627
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7850	-0.0175	-0.0442	0	-0.0418	-0.0941
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7851	-0.0233	-0.0589	0	-0.0557	-0.1255
-0.7850	-0.7850	1.5700	-0.0000	-0.7851	-0.0291	-0.0736	0	-0.0697	-0.1569
-0.7851	-0.7852	1.5700	-0.0002	-0.7854	-0.0582	-0.1472	0	-0.1394	-0.3138
-0.7852	-0.7854	1.5700	-0.0004	-0.7858	-0.0873	-0.2209	0	-0.2091	-0.4703
-0.7853	-0.7857	1.5700	-0.0007	-0.7865	-0.1164	-0.2945	0	-0.2788	-0.6265
-0.7854	-0.7861	1.5700	-0.0010	-0.7873	-0.1455	-0.3680	0	-0.3485	-0.7821
-0.7867	-0.7894	1.5700	-0.0041	-0.7943	-0.2909	-0.7354	0	-0.6969	-1.5472
-0.7889	-0.7948	1.5700	-0.0093	-0.8057	-0.4361	-1.1015	0	-1.0450	-2.2783
-0.7919	-0.8025	1.5700	-0.0166	-0.8213	-0.5811	-1.4656	0	-1.3925	-2.9588
-0.7958	-0.8123	1.5700	-0.0259	-0.8407	-0.7256	-1.8271	0	-1.7386	-3.5729
-0.8044	-0.8340	1.5700	-0.0466	-0.8817	-0.9720	-2.4386	0	-2.3255	-4.4294
-0.8156	-0.8619	1.5700	-0.0732	-0.9299	-1.2163	-3.0374	0	-2.8980	-4.9832
-0.8292	-0.8958	1.5700	-0.1055	-0.9820	-1.4580	-3.6208	0	-3.4443	-5.1907
-0.8453	-0.9356	1.5700	-0.1432	-1.0344	-1.6966	-4.1859	0	-3.9483	-5.0358
-0.8638	-0.9810	1.5700	-0.1858	-1.0833	-1.9313	-4.7303	0	-4.3903	-4.5273
-0.8846	-1.0319	1.5700	-0.2324	-1.1254	-2.1615	-5.2518	0	-4.7464	-3.6851
-0.9078	-1.0879	1.5700	-0.2821	-1.1573	-2.3865	-5.7473	0	-4.9928	-2.5291
-0.9332	-1.1488	1.5700	-0.3336	-1.1760	-2.6058	-6.2126	0	-5.1076	-1.0774
-0.9568	-1.2048	1.5700	-0.3783	-1.1791	-2.7888	-6.5838	0	-5.0869	0.4058
-0.9820	-1.2639	1.5700	-0.4222	-1.1682	-2.9667	-6.9228	0	-4.9488	2.1446
-1.0087	-1.3257	1.5700	-0.4645	-1.1408	-3.1391	-7.2225	0	-4.6922	4.1812
-1.0368	-1.3900	1.5700	-0.5040	-1.0941	-3.3056	-7.4743	0	-4.3234	6.5616
-1.0730	-1.4709	1.5700	-0.5470	-1.0073	-3.5001	-7.7033	0	-3.7417	9.9420
-1.1113	-1.5536	1.5700	-0.5833	-0.8810	-3.6854	-7.8286	0	-3.0522	13.8493
-1.1514	-1.6370	1.5700	-0.6117	-0.7112	-3.8612	-7.8421	0	-2.3012	17.9459
-1.1934	-1.7201	1.5700	-0.6321	-0.5009	-4.0271	-7.7548	0	-1.5363	21.4077

-1.2186	-1.7678	1.5700	-0.6403	-0.3640	-4.1191	-7.6687	0	-1.1023	22.6968
-1.2444	-1.8150	1.5700	-0.6458	-0.2214	-4.2075	-7.5662	0	-0.6833	23.2451
-1.2707	-1.8615	1.5700	-0.6488	-0.0780	-4.2924	-7.4531	0	-0.2831	22.9554
-1.2975	-1.9073	1.5700	-0.6493	0.0611	-4.3734	-7.3320	0	0.0960	21.8425
-1.3249	-1.9523	1.5700	-0.6476	0.1910	-4.4507	-7.2018	0	0.4523	20.0158
-1.3526	-1.9964	1.5700	-0.6438	0.3079	-4.5239	-7.0584	0	0.7831	17.6425
-1.3809	-2.0396	1.5700	-0.6380	0.4088	-4.5932	-6.8978	0	1.0855	14.9050
-1.4095	-2.0818	1.5700	-0.6304	0.4920	-4.6584	-6.7168	0	1.3562	11.9824
-1.4429	-2.1287	1.5700	-0.6198	0.5651	-4.7282	-6.4819	0	1.6232	8.5894
-1.4767	-2.1739	1.5700	-0.6075	0.6144	-4.7925	-6.2191	0	1.8387	5.2748
-1.5110	-2.2171	1.5700	-0.5938	0.6406	-4.8514	-5.9310	0	1.9990	2.1189
-1.5457	-2.2582	1.5700	-0.5792	0.6450	-4.9049	-5.6211	0	2.1021	-0.8402
-1.5971	-2.3142	1.5700	-0.5569	0.6152	-4.9732	-5.1370	0	2.1492	-4.8022
-1.6491	-2.3650	1.5700	-0.5349	0.5466	-5.0299	-4.6273	0	2.0774	-8.3249
-1.7017	-2.4104	1.5700	-0.5141	0.4435	-5.0748	-4.1035	0	1.8960	-11.4185
-1.7547	-2.4503	1.5700	-0.4958	0.3105	-5.1077	-3.5766	0	1.6184	-14.1052
-1.8152	-2.4891	1.5700	-0.4790	0.1279	-5.1306	-2.9857	0	1.2067	-16.7124
-1.8759	-2.5210	1.5700	-0.4675	-0.0834	-5.1376	-2.4116	0	0.7151	-18.9638
-1.9366	-2.5462	1.5700	-0.4623	-0.3197	-5.1286	-1.8577	0	0.1659	-20.9639
-1.9972	-2.5650	1.5700	-0.4638	-0.5784	-5.1031	-1.3208	0	-0.4198	-22.7577
-2.0656	-2.5787	1.5700	-0.4740	-0.8974	-5.0537	-0.7200	0	-1.1074	-24.5163
-2.1332	-2.5844	1.5700	-0.4936	-1.2362	-4.9824	-0.1264	0	-1.7927	-25.6984
-2.1997	-2.5822	1.5700	-0.5222	-1.5857	-4.8890	0.4556	0	-2.4518	-26.0838
-2.2648	-2.5723	1.5700	-0.5594	-1.9351	-4.7741	1.0126	0	-3.0637	-25.6414
-2.3386	-2.5516	1.5700	-0.6126	-2.3284	-4.6141	1.6109	0	-3.6942	-24.3044
-2.4096	-2.5219	1.5700	-0.6749	-2.6960	-4.4283	2.1703	0	-4.2144	-22.3629
-2.4775	-2.4835	1.5700	-0.7443	-3.0286	-4.2188	2.7093	0	-4.6061	-19.9234
-2.5420	-2.4368	1.5700	-0.8188	-3.3182	-3.9881	3.2342	0	-4.8563	-16.9158
-2.6026	-2.3821	1.5700	-0.8960	-3.5556	-3.7388	3.7356	0	-4.9572	-13.2190
-2.6592	-2.3199	1.5700	-0.9736	-3.7299	-3.4720	4.1861	0	-4.9143	-8.9113
-2.7115	-2.2512	1.5700	-1.0495	-3.8326	-3.1893	4.5611	0	-4.7483	-4.1167
-2.7592	-2.1773	1.5700	-1.1221	-3.8572	-2.8919	4.8448	0	-4.4945	1.0169
-2.7913	-2.1205	1.5700	-1.1727	-3.8231	-2.6646	4.9917	0	-4.2771	4.9495
-2.8206	-2.0623	1.5700	-1.2207	-3.7426	-2.4304	5.0878	0	-4.0491	9.0163
-2.8473	-2.0033	1.5700	-1.2661	-3.6149	-2.1897	5.1398	0	-3.8227	13.0810
-2.8711	-1.9439	1.5700	-1.3089	-3.4419	-1.9430	5.1611	0	-3.6066	16.8587
-2.8877	-1.8974	1.5700	-1.3407	-3.2783	-1.7464	5.1691	0	-3.4486	19.3574
-2.9026	-1.8507	1.5700	-1.3711	-3.0951	-1.5468	5.1827	0	-3.3017	21.2205
-2.9156	-1.8039	1.5700	-1.4002	-2.8984	-1.3448	5.2107	0	-3.1669	22.3022
-2.9268	-1.7568	1.5700	-1.4282	-2.6954	-1.1405	5.2556	0	-3.0454	22.5819
-2.9362	-1.7091	1.5700	-1.4552	-2.4934	-0.9345	5.3139	0	-2.9386	22.1624
-2.9436	-1.6610	1.5700	-1.4812	-2.2976	-0.7271	5.3768	0	-2.8485	21.2725
-2.9493	-1.6123	1.5700	-1.5066	-2.1107	-0.5186	5.4364	0	-2.7771	20.1782
-2.9530	-1.5630	1.5700	-1.5314	-1.9335	-0.3091	5.4870	0	-2.7260	19.1506
-2.9548	-1.5140	1.5700	-1.5555	-1.7665	-0.1013	5.5256	0	-2.6969	18.4250
-2.9548	-1.4647	1.5700	-1.5794	-1.6042	0.1071	5.5536	0	-2.6899	18.1022
-2.9529	-1.4151	1.5700	-1.6035	-1.4427	0.3162	5.5719	0	-2.7056	18.2395
-2.9492	-1.3655	1.5700	-1.6277	-1.2780	0.5259	5.5819	0	-2.7442	18.8294
-2.9411	-1.2982	1.5700	-1.6612	-1.0437	0.8103	5.5853	0	-2.8335	20.1932
-2.9296	-1.2309	1.5700	-1.6961	-0.7908	1.0956	5.5859	0	-2.9648	21.7951
-2.9147	-1.1635	1.5700	-1.7328	-0.5198	1.3817	5.6025	0	-3.1379	23.0338
-2.8963	-1.0957	1.5700	-1.7719	-0.2399	1.6690	5.6655	0	-3.3545	23.1692
-2.8827	-1.0515	1.5700	-1.7986	-0.0627	1.8549	5.7453	0	-3.5192	22.3615
-2.8675	-1.0065	1.5700	-1.8266	0.1053	2.0416	5.8565	0	-3.7071	20.8191

-2.8510	-0.9605	1.5700	-1.8562	0.2586	2.2291	5.9962	0	-3.9223	18.5751
-2.8329	-0.9133	1.5700	-1.8876	0.3921	2.4175	6.1575	0	-4.1694	15.7420
-2.8134	-0.8649	1.5700	-1.9210	0.5018	2.6068	6.3322	0	-4.4537	12.4689
-2.7925	-0.8150	1.5700	-1.9568	0.5848	2.7969	6.5138	0	-4.7804	8.8646
-2.7700	-0.7637	1.5700	-1.9953	0.6389	2.9878	6.6968	0	-5.1545	5.0186
-2.7461	-0.7111	1.5700	-2.0370	0.6622	3.1792	6.8773	0	-5.5802	0.9900
-2.7189	-0.6533	1.5700	-2.0852	0.6522	3.3840	7.0638	0	-6.0946	-3.4730
-2.6900	-0.5941	1.5700	-2.1381	0.6044	3.5890	7.2405	0	-6.6725	-8.0874
-2.6595	-0.5335	1.5700	-2.1959	0.5180	3.7941	7.4069	0	-7.3115	-12.7403
-2.6272	-0.4714	1.5700	-2.2593	0.3939	3.9989	7.5671	0	-8.0053	-17.1860
-2.6002	-0.4210	1.5700	-2.3142	0.2695	4.1622	7.6968	0	-8.5920	-20.3384
-2.5722	-0.3697	1.5700	-2.3730	0.1265	4.3251	7.8390	0	-9.2008	-22.8277
-2.5431	-0.3173	1.5700	-2.4358	-0.0301	4.4874	8.0038	0	-9.8240	-24.3824
-2.5129	-0.2638	1.5700	-2.5029	-0.1935	4.6492	8.1994	0	-10.4521	-24.8072
-2.4816	-0.2088	1.5700	-2.5740	-0.3554	4.8102	8.4306	0	-11.0730	-24.0191
-2.4493	-0.1522	1.5700	-2.6492	-0.5083	4.9703	8.6957	0	-11.6690	-22.0756
-2.4159	-0.0938	1.5700	-2.7282	-0.6450	5.1291	8.9933	0	-12.2162	-19.1386
-2.3814	-0.0333	1.5700	-2.8105	-0.7599	5.2862	9.3234	0	-12.6838	-15.4873
-2.3516	0.0196	1.5700	-2.8822	-0.8368	5.4171	9.6299	0	-12.9895	-12.0481
-2.3210	0.0742	1.5700	-2.9553	-0.8938	5.5460	9.9680	0	-13.1875	-8.3238
-2.2897	0.1309	1.5700	-3.0291	-0.9292	5.6726	10.3424	0	-13.2515	-4.3258
-2.2577	0.1897	1.5700	-3.1028	-0.9415	5.7965	10.7557	0	-13.1540	-0.0104
-2.2138	0.2723	1.5700	-3.1997	-0.9188	5.9572	11.3706	0	-12.7245	6.3465
-2.1688	0.3596	1.5700	-3.2919	-0.8436	6.1112	12.0306	0	-11.8897	13.8518
-2.1226	0.4520	1.5700	-3.3761	-0.7079	6.2574	12.6996	0	-10.6044	22.4870
-2.0753	0.5493	1.5700	-3.4491	-0.5075	6.3951	13.3411	0	-8.8611	31.2217
-2.0515	0.5993	1.5700	-3.4801	-0.3846	6.4600	13.6412	0	-7.8332	34.9805
-2.0274	0.6504	1.5700	-3.5071	-0.2494	6.5228	13.9356	0	-6.7037	37.7904
-2.0031	0.7026	1.5700	-3.5297	-0.1062	6.5833	14.2297	0	-5.4787	39.2210
-1.9786	0.7559	1.5700	-3.5476	0.0393	6.6416	14.5258	0	-4.1646	38.9501
-1.9539	0.8103	1.5700	-3.5604	0.1803	6.6978	14.8211	0	-2.7686	36.8163
-1.9290	0.8657	1.5700	-3.5680	0.3099	6.7519	15.1014	0	-1.3005	32.8881
-1.9039	0.9222	1.5700	-3.5700	0.4220	6.8040	15.3493	0	0.2257	27.4081
-1.8786	0.9794	1.5700	-3.5663	0.5117	6.8540	15.5474	0	1.7908	20.8049
-1.8551	1.0327	1.5700	-3.5577	0.5714	6.8983	15.6729	0	3.2449	14.1334
-1.8315	1.0863	1.5700	-3.5442	0.6078	6.9410	15.7395	0	4.6898	7.1102
-1.8078	1.1400	1.5700	-3.5257	0.6198	6.9820	15.7467	0	6.1027	-0.0592
-1.7839	1.1936	1.5700	-3.5026	0.6073	7.0213	15.6979	0	7.4611	-7.2036
-1.7577	1.2518	1.5700	-3.4722	0.5664	7.0622	15.5892	0	8.8549	-14.7942
-1.7314	1.3095	1.5700	-3.4369	0.4979	7.1010	15.4362	0	10.1326	-21.9260
-1.7049	1.3666	1.5700	-3.3970	0.4042	7.1378	15.2574	0	11.2735	-28.2814
-1.6783	1.4230	1.5700	-3.3532	0.2889	7.1724	15.0757	0	12.2625	-33.4960
-1.6703	1.4398	1.5700	-3.3394	0.2508	7.1824	15.0245	0	12.5276	-34.7769
-1.6623	1.4565	1.5700	-3.3253	0.2114	7.1921	14.9760	0	12.7779	-35.9107
-1.6543	1.4731	1.5700	-3.3109	0.1709	7.2017	14.9308	0	13.0133	-36.8891
-1.6462	1.4897	1.5700	-3.2963	0.1293	7.2110	14.8895	0	13.2336	-37.7049

BIBLIOGRAFIE

1. **ABRAHAMS, P.H.; HUTCHINGS, R.T.; MARKS, S.C. Jr.** – *McMinns Colour Atlas of Human Anatomy*, Mosby, London, 4-th ed., 1998
2. **AHLBERG, H.H.** - *The theory of splines and their applications*, New-York: Academic Press, 1967
3. **ALBUS, J.** - *Brain's behaviour and robotics*, BYTE Publication Inc., 1981
4. **ANTONESCU, D.; BUGA, M.; CONSTANTINESCU, I.; ILIESCU, I.** – *Metode de calcul și tehnici experimentale de analiza tensiunilor în biomecanică*, Editura Tehnică, București, 1986
5. **BACIU, C.** – *Anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor*, Editura Medicală, București, 1983
6. **BACIU, C.** – *Aparatul locomotor*, Editura Medicală, București, 1980
7. **BAKER, H.H.** – *3D Imaging in Medicine*, Springer Verlag, 1990
8. **BARRAQUAND, J.; LATOMBE, J.C.** - *A Monte-Carlo algorithm for path-planning with many degrees of freedom*, Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, Cincinnati, Ohio, 1990
9. **BEALL E. MICHAELL, BUCHARD BILL, GUINGAO, JOJO, PETERSON MICHAEL, PITZER DAVID**, *Secrete AUTOCAD*, Teora, București, 1998
10. **BENGHIA, O.** - *Bounded Gets in vector spaces*, Studia universitatis V. Goldiș, Arad, seria A, no.6, 1996
11. **BENNET, B.S.** – *Simulation Fundamentals*, Prentice Hall, London, Munich, 1995
12. **BIRYUKOVA, E.V.; ROBY-BRAMI, A.; FROLOV, A.A.; MOKHTARI, M.** – *Kinematics of human arm reconstructed from spatial tracking system recording*, Journal of Biomechanics, Vol. 33, 2000
13. **BOIANGIU, TH.; DUMITRACHE, L.** - *Intelligent manufacturing systems 1995*. Elsevier Science Press, 1997
14. **BOJA, N.; TOPUZU, E.; MIHUȚ, I.; PETRIȘOR, E.; KLEP, F.; RENDI, B.** – *Algebră, geometrie, ecuații diferențiale*, Universitatea Tehnică Timișoara, 1992

15. **BORENSTEIN, J.; KOREN, V.** - *The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots*, IEEE-Transactions on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, 1991
16. **BRANDSER, E.A.** – *Trauma*, <http://www.vh.org>
17. **BRICKMANN, P.; FROBIN, W., LEIVSETH, G.** – *Musculoskeletal Biomechanics*, Thieme, Stuttgart – New York, 2000
18. **CÂRMACIU, R.; NICULESCU, C.TH.; TORSAN, L.** – *Anatomia și fiziologia omului*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
19. **CHARLTON I.W, JOHNSON G.R.** - *Application of spherical and cylindrical wrapping algorithms in a musculoskeletal model of the upper limb*, Journal of Biomechanics, **34**, 1209-1215, 2001
20. **CHIYOKURA, H.** – *Solid Modelling with Designbase*, Addison Wesley, England, 1988
21. **CIOBANU, GH.; CIOBANU, GH. C.; NICULESCU, M; NICULESCU, V.** – *Aportul tomografiei computerizate în explorarea masivului facial*, Studia Universitatis nr. 12, Arad, 2002
22. **COUFFIN, P.; HERBIN, J.; PUZENAT, M.** - *C.A.O. en mécanique*, Edition Armand Colin, 1987.
23. **DANDY, D.J.; EDWARDS, D.J.** – *Essential Orthopaedics and Trauma*, 3-rd edition, Churrchill Livingstone, USA, 1998
24. **DENISCHI, A. MARIN, GH., ANTONESCU, D.** – *Biomecanica*, Editura Academiei, București, 1989
25. **DOBKIN, D.P.; KIRKPATRIK, D.G.** - *A linear algorithm for determining the separation of convex polyhedra*, Journal of Algorithmus, No.6, 1985
26. **DOMBRE, E.; KHALIL, W.** - *Modélisation et commande des robots*, Edition Hermés, Paris, 1988
27. **DRAGOMIR, T.L.** – *Bazele teoriei sistemelor*, Editura Politehnica, Timișoara, 2004
28. **DRĂGULESCU, D.** – *Dinamica roboților*, Editura Didactică și pedagogică, București, 1997
29. **DRĂGULESCU, D.; RUSU, L.; MORCOVESCU, V.; PRECUP, C.** - *Comparative study of mechanical stresses in human limbs bones*, Applied Bionic and Biomechanics, vol.1(2), no.1, Ed. Openmindjournals- New Zeeland, 2004, ISSN 1176-2322, p.123-129

30. **DRĂGULESCU, D.; TOTH-TAȘCĂU, M.; PUȘCAȘ, C.; INDREI, C.** - *About the locomotory apparatus of human body modeling*, Robotica & Management, Revista ARR, Vol.2, nr.4 Decembrie 1998, ISSN 1453-2069, p.33-38
31. **DRĂGULESCU, D; TOTH TAȘCĂU, M.; MORCOVESCU, V.; RUSU, L.** - *Some aspects on the tennis player's upper limb motion modeling*, Buletinul Științific al Universității Politehnica din Timișoara, Transactions on Automatic Control and Computer Science, Tom 49(63), No.2, 2004, ISSN 1224-600X, p. 201-204
32. **DRĂGULESCU, D; TOTH-TAȘCĂU, M.; COUTURIER, C.** - *Human upper and lower limbs modeling using Denavit-Hartenberg's convention*, Proceedings Situation and Perspective of Research and Development in Chemical and Mechanical Industry, Krusevac, 22-24 October, 2001, p.95-101
33. **DRĂGULESCU, D.; TOTH-TAȘCĂU, M.; DREUCEAN, M.; RUSU, L.; MORCOVESCU, V.** - *Vibrations influence on the human composite motion*, Proceedings 30th JUPITER Conference, University of Belgrade, 2004, ISBN 86-7083-459-6, p.3.135-3.138
34. **DRĂGULESCU, D.; STĂNCIULESCU, V.; TOTH-TAȘCĂU, M.; DREUCEAN, M.** - *Modelling and rebuilding the complex anatomical structures*, Proceedings Mathematical Biology and Ecology, 2004 WSEAS International Conference, Corfu, Greece, 17-19.08.2004
35. **DRĂGULESCU, D.; TOTH-TAȘCĂU, M.; MORCOVESCU, V.; RUSU, L.; DREUCEAN, M.** - *Kinematics aspects of human body composite motion*, Proceedings SACI 2004, First Romanian-Hungarian joint symposium on Applied Computational Inteligence, Timișoara, Romania, May 25-26, ISBN 963 7154 26 4, p, 1-10
36. **DRĂGULESCU, D.; TOTH-TAȘCĂU, M.; DUMITRAȘCU, E.; DRĂGULESCU, A.** - *About the locomotory apparatus of human body modelling*, The 21st National Conference on Medical Informatics, MEDINF'98, Arad, 22-24 October 1998, p.397-401
37. **DRĂGULESCU, D.; TOTH-TAȘCĂU, M.; STĂNCIULESCU, V.** - *Computer-Aided exploration inside human organs*, The 22st National Conference on Medical Informatics, International Participation, MEDINF'99, Sibiu, 14-16 October 1999
38. **DuBOIS, P.** – *MySQL*, Editura Teora, București, 2001
39. **ENCARNACAO, J.; SCHLECHTENDAHL E.G.** - *Computer Aided Design*, Springer, Verlag, Berlin, 1983

40. **EZKHOF, P.** – *Identificarea sistemelor*, Editura Tehnică, București, 1977
41. **FAZEKAȘ, D.; PLIUȚĂ, C.** – *Studiul dinamicii aparatului locomotor – lucrare de diplomă*, Universitatea „Politehnica”, Facultatea de Automatizări și calculatoare, Timișoara, 1999
42. **FLEURY, S.; SOUÈRES, PH.; LAUDMOND, J-P.; CHATILA, R.** - *Primitives for smoothing mobile robot trajectories*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.11, No.3, 1995
43. **FORTA, B.** – *SQL pentru începători*, Editura Teora, București, 2002
44. **FUNG, Y.C.** – *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*, Springer – Verlag, Berlin, 1993
45. **GEORGESCU, S.A.; ZAHARIA, C.** – *Radiologie imagistică medicală*, Editura Transilvania Press, Cluj-Napoca, 2001
46. **GHINEA, M; FIREȚEANU, V.** – *MatLab, calcul numeric, grafică, aplicații*, Editura Teora, 2003
47. **GROSS, J.; FETTO, J.; ROSEN, E.** – *Musculoskeletal examination*, Blackwell Science Inc., USA, 2002
48. **GUGOIU, T.** – *HTML prin exemple*, Editura Teora, București, 2003
49. **HANDRA-LUCA, V.; MĂTIEȘ, V.; BRIȘAN, C.; TIUCA; T.** – *Roboți. Structură, cinematică și caracteristici*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996
50. **HATVANY, A.** – *On conjugate curve schemes for quadratic and cubic curves*, Proc International Conference of Technical Informatics, Vol.2, Timișoara, 1994
51. http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/body/factfiles/joints/ball_and_socket_joint.shtml – *Human Body and Mind*
52. <http://www.eatonhand.com> - *Modelling with Spatch*
53. http://emedicine.com/asp/image_search.asp?query=fractures&offset=0 - *eMedicine Images*
54. <http://www.euclideanspace.com/physics/kinematics/joints/> - *3D Theory – Kinematics - Joints*
55. <http://www.health.uottawa.ca/biomech/csb/software/biomech.htm> - *Biomech Motion Analisys System*
56. http://medical.nema.org/dicom/2001/01_03PU.PDF - *Digital Imaging and Communication in Medicine*, National Electrical Manufacture Association, 2001

57. <http://www.meddean.luc.edu/lumen/MedEd/GrossAnatomy/dissector/muscles/muscles.html> – *Lumen Master Muscle List*
58. http://www.medem.com/MedLB/article_detailb.cfm?article_ID=ZZZ5WGJU8JC&sub_cat=258 – *Medical Library, American Medical Association*
59. <http://www.musculographics.com> - *Software for Biomechanical Analysis Surgical Planning Ergonomics*
60. http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/encyclopedia_O.htm - *Medical Encyclopedia Medline Plus*
61. <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/cr1/dicom.html> - *The DICOM Standard*
62. <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/cr1/mricro.html> - *MRIcro Software Guide*
63. <http://www.ortho-u.net> - *Wheless' Textbook of Orthopaedics*
64. <http://www.php.net> - *site-ul oficial al limbajului PHP*
65. <http://www.phpromania.as.ro> - *site-ul comunității PHP din România*
66. http://training.seer.cancer.gov/module_anatomy/anatomy_physiology_home.html - *Anatomy & Physiology*
67. <http://som.flinders.edu.au> - *South Australian Orthopaedic Registrars' Notebook*
68. **HU, X.; AHUJA, N.** - *Motion estimation under orthographic projection*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.7, No.6, 1991
69. **IFRIM, M.; ILIESCU, A.** – *Anatomia și biomecanica educației fizice și sportului*, Editura didactică și Pedagogică, București, 1978
70. **INDREI, C.; PUȘCAȘ, C.** – *Biomecanica membrului inferior uman*, Lucrare de diplomă, Universitatea „Politehnica” Timișoara, 1998
71. **ISBĂȘESCU, M.** – *Dicționar German – Român*, Editura Științifică, București, 1969
72. **JUN, S.; SHIN, K.G.** - *Shortest path planning in discretized workspaces using dominance relation*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, 1991
73. **LAVIN, H.LI, M.A.; LE MASTER, R.J.** - *Fast Hough transform: Arhierarchical approach. computational vision*, Graphics Image Proc, vol. 36, 1986
74. **LUCHIN, M.** – *Clasificarea și descrierea modelelor*, A XXVII-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională, Academia Tehnică Militară, București
75. **LUCHIN, M.** – *Considerații asupra semnificației conținutului conceptelor de model și modelare*, A XXVIII-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională,

Academia Tehnică București

76. LUCHIN, M. – *Modelarea și procesul de cunoaștere*, Robotica & Management, nr. 1, Reșița, 1999
77. LUCHIN, M. – *Modelarea și simularea sistemelor mecanice*, Timișoara, 1999
78. LUNGU, N. - *Matematici cu aplicații tehnice*, Editura Tehnica, București, 1991
79. MĂRUȘTER, ȘT. – *Metode numerice în rezolvarea ecuațiilor neliniare*, Editura Tehnică, București, 1981
80. McCARTY, B. – *PHP 4*, Editura Teora, București, 2003
81. MICULA, GH. - *Funcții spline și aplicații*, Editura Tehnică, București, 1978
82. MURTHY, R.; NASHED, A.H.; FINK, G; CORREIRA, M. – *Radiology Rounds*, <http://mdchoice.com>
83. NAAJI, A.; BĂLĂ, C. - *Using Internet in Distance Education*, Revista Română de Automatică, Vol. V, nr. 4, București, 2001, ISSN: 1454-9077, p. 29-31
84. NÁAJI, A; DRĂGULESCU, D. - *Principii ale modelării în biomecanica sistemului osteo-articular*, Proceedings of the X-th Conference on Mechanical Vibrations, Tom 47 (61), Editura Politehnica, Timișoara, 2002, ISSN: 1244-6077, p. 93-98
85. NÁAJI, A. - *Aspecte privind teoria modelării relativ la investigarea sistemului osteo-articular uman*, Studia Universitatis nr.12, Arad , 2002, ISSN: 1584-2363, p.49-59
86. NÁAJI, A. (CHAIR) ; GRUNDSPENKIS, J.; ANDRÁS, G.; BĂLA, C. - *Development of Distance Education in The Eastern European Countries (panel)*, Proceedings of X-th European Conference on Information System, Vol. II, <http://ecis2002.univ.gda.pl> Gdansk, Poland, 2002, p. 1439-1440
87. NÁAJI, A.; RISCO, S. - *Tehnologii informaționale în educație. Implementarea unui sistem de e-learning*, Lucrările conferinței naționale “e-learning, Educație si Internet”, București, 2003, ISBN: 973-7701-14-3
88. NÁAJI, A. - *Applications of computer graphics in biomechanics*, Proceedings of the VII-th Symposium, Biomecanica, Ed. Politehnica, Timișoara, 2003, ISBN: 973-625-065-2, p. 245-250
89. NÁAJI, A. – *E-learning, o tehnologie a viitorului*, Îndrumări metodice nr. 7, „Vasile Goldiș” University Press, Arad, 2004, ISSN: 1584-1987, p. 47-62
90. NÁAJI, A. - *Modelarea cinematică a membrului superior uman*, Studia Universitatis nr.14, Arad, 2004 ISSN: 1584-2363, p. 51-58

91. **NÁAJI, A.** - *Calculul centrelor de greutate și a momentelor de inerție pentru modelele 3D ale scheletului membrului superior uman*, Studia Universitatis nr.14, Arad, 2004, ISSN: 1584-2363, p. 59-65
92. **NÁAJI, A.** – *Methods of Designing 3D Models in Biomechanics*, Scientific Bulletin of „Politehnica” University of Timișoara, Transactions on Automatic Control and Computer Science, Vol. 49 (63) 2004 No. 2, Editura Politehnica, 2004, ISSN: 1224-600 X, p. 149-152
93. **NĂSLĂU, P.** – *Metode numerice*, Ed. Politehnica, Timișoara, 1999
94. **NEER, C.S.** – *Displaced proximal humeral fractures. Part 1. Classification and Evaluation*, JBJS 52A, 1970
95. **NETTER, F.H.** – *Atlas of Human Anatomy*, Second Edition, Novartis, New Jersey, 1990
96. **NICOLAU, E.** – *Modelarea ca știință*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1981
97. **NILSON, S.** - *Simulation of bone mechanics*, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002
98. **OLARIU, V.** – *Analiză matematică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
99. **PANJABI, M.; WHITE III, A.** - *Biomechanics in the musculoskeletal system*, Churchill Livingstone, New York, 2001
100. **PAPILIAN, V.** – *Anatomia omului, Vol. I – Aparatul locomotor*, Editura ALL, București, 1998
101. **PETRILA, T. și colab.** – *Științe ale naturii computaționale și studii interdisciplinare*, Editura Digital Data Cluj, 2002
102. **POP, AL.; ȚĂRNĂU, A.; TROCAN, I., IOVĂNESCU, L.** – *Ortopedie – Traumatologie*, Editura Universității de Vest „Vasile Goldiș”, Arad, 1996
103. **PRECUP, T.; HANDRA-LUCA, V.; PRECUP, D.; SIPOS, C.** - *Robot simulation using object-oriented programming*, Proc.International Conference on Technical Informatics, Timișoara, Vol.2, 1994
104. **RANGA, V.** – *Tratat de anatomia omului*, Editura Medicală, București, 1986
105. **RIȘCO, S.; NÁAJI, A.** - *IT Infrastructure Optimization Regarding the e-Learning Implementation*, Proceedings of the II-nd RoEdu International Conference Networking in Education and Research, Editura Samia, Iași, 2003, ISBN: 973-85791-9-8, p. 210-213

106. **ROBERTS, R.G.; MACIEJEWSKI, A.** - *Singularities, stable surfaces and the repeatable behavior of kinematically redundant manipulators*, International Journal of Robotics Research, Vol.13, No.1, 1994
107. **ROUX, E.; BOUILLAND, S.; GODILLON-MAQUINGHEN, A.P.; BOUTTENS, D.** - *Evaluation of the global optimisation method within the upper limb kinematics analysis*, Journal of Biomechanics, Vol. 35, 2002
108. **ROZ, M.A.; SCHNEIDER, F.; MIHALAȘ, GH.; RENDI, D.** - *Matematica modernă în medicina contemporană*, „Vasile Goldiș” University Press, Arad, 2001
109. **SAMUELS, H.** - *Orthopedic Simulation for Microcomputers*, W.B. Saunders, London, 613-627, 1986
110. **SAVII, G.** - *Bazele proiectării asistate de calculator. CAD*, Editura Mirton, Timișoara, 1997
111. **SAVII, G.** - *Elemente de calculatoare și programare*, Institutul Politehnic, Traian Vuia Timișoara, 1980
112. **SAVII, G.; LUCHIN, M.** - *Modelare și simulare*, Editura Eurostampa, Timișoara, 2000
113. **SCHOENBERG, I.J.** - *Priveliști matematice*, Centrul de Cercetări Matematice, Universitatea Wisconsin-Madison, Traducere-Editura Tehnică, București, 1989
114. **SILAȘ, GH.; GROȘANU, I.** - *Mecanica*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
115. **STARCK, J.L.; MURTAGH, F.; BIJAOU, A.** - *Image processing and data analysis*, Cambridge University Press, 1998
116. **STARK, H.; YANG, Y.** - *Vector space projections*. John Wiley & Sons, New York, 1998
117. **STĂNĂȘILĂ, O.** - *Analiză matematică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
118. **TAYLOR, D.** - *Crearea paginilor Web cu HTML 4*, Editura Teora, București, 1999
119. **TAYLOR, L.D.** - *Computer Aided Design*, Addison Wesley, England, 1992
120. **TODINCA, D.; GEANTĂ, M.** - *Modelarea și simularea proceselor chimice, Aplicații în MatLab*, Editura Politehnica, 1999
121. **TOTH-TAȘCĂU, M.; DRĂGULESCU, D.** - *Results and objectives in biomechanics studies at Polytechnical University Timișoara*, Tri-partite bridges: Educators, Providers and Users, B.Richards Ed., ISBN 973-9467-02-4, CME 02555-96, 1998, p.77-83

122. **TOTH-TAȘCĂU, M.; DRĂGULESCU, D.** - *Biostatics of individual joint of human upper limb*, Buletin Științific al UPT, Automatic Control and Computer Science, Vol 45(59) 2000, No1, ISSN 1224-600X, p.63-68
123. **THEODORESCU, D.** – *Mic atlas de anatomia omului*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
124. **VLADA, M.; POSEA, A.; NISTOR, L; CONSTANTINESCU, C.** - *Grafică pe calculator în limbajele Pascal și C. Implementare și aplicații*, Editura Tehnică, București, 1992
125. **VOICULESCU, M.** – *Medicina pentru familie*, Editura Medicală, București, 1986
126. **WATT, A.** – *3D Computer Graphics*, Addison Wesley Publishing Ltd, England, 1993
127. **WLOKA, D.W.** - *Robotersysteme*, Springer-Verlag, Berlin, 1992
128. **YOUNG, TZ.Y.; KING-SUN FU** - *Handbook of pattern recognition and image processing*. Academic Press, San Diego, 1986
129. **ZADEH, L.A., POLAK, E.** – *System Theory*, McGraw-Hill Inc., 1969
130. **ZAHORVSKI, B.; DETLAF, A.** – *Handbook of Physics*, MIR Publisher, Moscow, 1980
131. **ZEID I.** - *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, 1991
132. *** - *Dicționar de neologisme*, Editura Academiei, București, 1986
133. *** - *Dicționarul limbii române moderne*, Editura Academiei, București, 1958
134. *** - *MatLab 7.01 User Guide*, The MathWorks, Inc.
135. *** - *Mic dicționar enciclopedic*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1986
136. *** - *Mic dicționar filosofic*, Editura Politică, București, 1973
137. *** - *Solid Works 2004-2005, Educational Edition*
138. *** - *3 DS Max Tutorial*, Discreet, Inc.
139. *** - *Laborator de studii biomecanice și protezare a membrilor superioare și inferioare. Modelarea cinematică și dinamică a membrilor superioare și inferioare*, Grant ANSTI, Contract 5199/25.11.1999/Act adițional 6047/5.07.2000
140. *** - *Centru de modelare a protezării și intervențiilor chirurgicale asupra scheletului uman CM-PICUSU*, Grant CNCSIS, Proiect BCUM inițiere, nr.2/1999
141. *** - *Modelarea aparatului locomotor și implanturi din materiale biocompatibile. Modelarea cinematică și dinamică a aparatului locomotor*, Grant Academia Română, Contract nr. 6153 Nr/19.10.2000, Tema B6
142. *** - *Centru de modelare a protezării și intervențiilor chirurgicale asupra scheletului uman CM-PICUSU*, Grant CNCSIS Proiect BCUM, Cod CNCSIS 33, 2000-2002

143. *** - *Contribuții la ameliorarea stării de sănătate a populației prin realizarea de aparate protetice, instrumentar chirurgical și truse de implante pentru remedierea defectelor de schelet*, Grant PNCDI/BIOTECH, Contract nr.02-6-PA-346, 2002-2005
144. *** - *Modelarea, proiectarea și realizarea practică a unui sistem de implanturi medicale destinat chirurgiei maxilo-faciale și ortopedice*, Grant CNCSIS, Contract 33501/17.07.2002, Tema 15, cod CNCSIS 69, Contract 33550/01.07.2003, Tema 11, cod CNCSIS 12, Contract nr. 32940/22.06.2004, Tema 7, cod CNCSIS 11
145. *** - *Aprecierea prin metode comparative a refacerii parametrilor biomecanici ai subiecților cu deficiențe motrice*, (Grant de tip E), Contract nr. 32940/22.06.2004, Tema 2, cod CNCSIS 32