

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND IMPLANTURILE PENTRU ARTICULAȚIA COTULUI

Rezumat extins

Inițierea prezentei teze de doctorat se datorează în primul rând importanței pe care o are pe plan mondial, în domeniul implantologiei, tratamentul chirurgical cu reducere indirectă și fixare internă minim invazivă, respectiv de endoprotezare eficientă a articulației cotului. Analiza acestei probleme a condus la ideea necesității studierii în amănunt a aspectelor referitoare la proiectarea și analiza teoretică și experimentală a sistemelor de stabilizare a fracturilor și a endoprotezelor pentru articulația cotului.

Tema tezei de doctorat cu titlul *Studii și cercetări privind implanturile pentru articulația cotului* este motivată și prezintă interes, având în vedere necesitatea crescută a intervențiilor chirurgicale de implantare. Calitatea acestor intervenții este susținută de redarea funcționalității membrului superior pe termen lung, ceea ce presupune îmbunătățirea continuă a modelelor de sisteme de stabilizare a fracturilor și a tipurilor de endoproteze, a materialelor și tehnologiilor utilizate la fabricarea acestora, a tehnicilor de implantare, a dispozitivelor folosite și a instrumentarului chirurgical, și, nu în ultimul rând, de reducerea costurilor aferente.

În domeniul Ortopediei și Traumatologiei și al Ingineriei medicale, în prezent, implantologia și protezarea constituie atât direcții de cercetare de mare importanță și actualitate, cât și specialități unanim recunoscute pentru tratamentul diferitelor afecțiuni și traumatisme ale diferitelor segmente anatomice.

Pe plan mondial în domeniile implantologiei și proteticii sunt elaborate studii teoretice și experimentale pentru proiectarea și realizarea de noi implanturi (sisteme de stabilizare a fracturilor și endoproteze) și instrumente necesare pentru intervențiile chirurgicale de implantare, dar și cercetări pentru implementarea unor noi tehnici chirurgicale de implantare. Noile direcții de dezvoltare a tratamentului chirurgical, cu recunoașterea importanței menajării țesuturilor moi și conceptului de fixare biologică, cu reducere indirectă și fixare internă minimă au crescut calitatea rezultatelor postoperatorii și au asigurat tratamentului chirurgical un rol important în abordarea leziunilor osoase.

Teza intitulată *Studii și cercetări privind implanturile pentru articulația cotului*, abordează o temă de mare **importanță și actualitate pe plan mondial** și își propune să efectueze cercetări în domeniul implantologiei articulației cotului.

Obiectivul general al cercetărilor tezei de doctorat a constat în aducerea unor contribuții la realizarea implanturilor pentru articulația cotului. Activitățile de cercetare sunt orientate spre studii teoretice și aplicative în domeniul concepției, proiectării și analizei teoretice și experimentale a implanturilor ortopedice, cu particularizare pentru articulația cotului.

Obiectivele specifice abordate de această teză de doctorat sunt:

1. Realizarea unor sinteze bibliografice referitoare la:

- leziunile și afecțiunile articulației cotului, precum și la metodele contemporane de tratament chirurgical al fracturilor membrului superior;
- principalele tipuri de sisteme de fixare internă pentru oasele articulației cotului;
- principalele tipuri de endoproteze pentru articulația cotului;
- principalele materiale utilizate pentru fabricația implanturilor pentru articulația cotului, respectiv tehnologiile de fabricație a acestora;
- principalele preocupări actuale și de perspectivă în domeniul implantării articulației cotului;
- anatomia articulației cotului;
- stadiul actual al studiului experimental al mișcărilor membrului superior.

2. Elaborarea unui protocol de analiză experimentală a mișcării membrelor superioare folosind sistemul de măsurare Zebris CMS-HS;
3. Determinarea ratei de eșantionare optime pentru realizarea înregistrărilor cu sistemul de măsurare Zebris CMS-HS pentru mișcările membrului superior;
4. Elaborarea unui model folosind noțiuni de statistică, pentru analiza corelațiilor dintre mișcările din articulații, respectiv influența mișcărilor din articulația umărului asupra mobilității cotului;
5. Analiza experimentală a mișcărilor membrului superior folosind sistemul APAS în vederea unei analize comparative cu rezultatele înregistrate cu sistemul de măsurare Zebris CMS-HS;
6. Analiza experimentală a mișcărilor unui pacient cu implant la nivelul articulației cotului;
7. Elaborarea unui model biomecanic al membrului superior, folosind mediul de simulare MatLab și Modulul Simulink, în vederea determinării caracteristicilor cinematice, a reacțiunilor și momentelor din articulația cotului.
8. Modelarea oaselor care compun articulația cotului pe baza reconstrucției 3D a imaginilor CT în vederea determinării unui model virtual cât mai apropiat de anatomia articulației naturale, necesar pentru modelarea și analiza comportamentului biomecanic al sistemelor de stabilizare și al endoprotezei pentru articulația cotului;
9. Studiul comparativ al comportamentului biomecanic (prin analiză numerică) al unor sisteme de stabilizare convenționale pentru fracturile oaselor radius și ulna, în funcție de forma plăcuțelor de osteosinteză, materialul acestora și numărul șuruburilor de fixare pe structura osoasă;
10. Evaluarea comparativă a comportamentului biomecanic folosind Metoda Elementului Finit al osului radius fracturat și al osului implantat cu un sistem de osteosinteză cu plăcuță de tip Locking Compression Plate.
11. Conceperea, proiectarea și fabricația modelului fizic al unui model de endoproteză totală pentru articulația cotului;
12. Studiul comportamentului biomecanic prin analiză numerică folosind Metoda Elementului Finit, pe baza distribuției deplasărilor și tensiunilor, pentru intervalul normal de mișcare din articulația cotului, respectiv pentru diferite sarcini aplicate la capătul distal al osului ulna;
13. Conceperea și realizarea unui dispozitiv de testare a protezei pentru articulația cotului;
14. Validarea modelului protezei pentru articulația cotului pe baza studiului experimental al uzurii componentei de polietilenă.

Teza de doctorat cuprinde 246 pagini și este structurată pe 6 capitole dintre care patru sunt de consistență, primul capitol este o introducere, iar ultimul capitol prezintă concluziile și contribuțiile personale ale autoarei, cuprinde 10 anexe, pe 43 pagini, corespunzătoare cercetărilor teoretice și experimentale. În dezvoltarea tezei au fost introduse 232 figuri și 34 tabele și este însoțită de o listă bibliografică ce conține un număr de 258 titluri, marea majoritate fiind de dată recentă.

Capitolul: Introducere prezintă motivația alegerii temei de cercetare, importanța și actualitatea temei tezei de doctorat, obiectivele cercetărilor realizate pe parcursul stagiului doctoral, o scurtă sinteză a conținutului capitolelor tezei, precum și încadrarea temei în preocupările naționale și internaționale ale colectivului de cercetare.

Capitolul 1: Stadiul actual al cercetărilor referitoare la implantarea articulației cotului este compus din șase subcapitole și prezintă stadiul actual al cercetărilor referitoare la aspectele importante din domeniul tematicii tezei.

În primul subcapitolul s-a realizat o scurtă prezentare a leziunilor și afecțiunilor ce pot apărea la nivelul articulației cotului.

Subcapitolul 1.2 prezintă metodele contemporane de tratament chirurgical al fracturilor membrului superior. Sunt prezentate criteriile generale de clasificare a fracturilor, pe baza cărora s-a realizat clasificarea generală a fracturilor, respectiv clasificarea fracturilor oaselor din articulația cotului. Tratamentul fracturilor închise a urmărit atât tratamentul conservator, cât și tratamentul chirurgical. S-a realizat de asemenea, o scurtă prezentare a principalelor tipuri de sisteme de fixare internă pentru oasele articulației cotului (plăcuțe de compresie, șuruburi de fixare, tije centromedulare, pini și sârme chirurgicale).

Subcapitolul 1.3 prezintă o clasificare a principalelor tipuri de endoproteze pentru articulația cotului și câteva exemple de endoproteze existente în prezent.

Subcapitolul 1.4 prezintă două soluții de sisteme de stabilizare externă (orteze de cot).

Subcapitolul 1.5 tratează sintetic principalele aspecte referitoare la materialele biocompatibile folosite pentru fabricația implanturilor ortopedice și în special a celor folosite pentru implanturile articulației cotului și tehnologiile de fabricație ale implanturilor pentru articulația cotului și acoperirile folosite.

Subcapitolul 1.6 prezintă un studiu asupra preocupărilor de perspectivă în domeniul implantării articulației cotului: studiile prospective, design-ul implanturilor pentru articulația cotului, biomecanica articulației, uzura componentei de polietilenă a endoprotezei și instabilitatea articulației artificiale.

Capitolul 2: Analiza biomecanică a articulației cotului este structurat în zece subcapitole.

În subcapitolul 2.1 s-a realizat o scurtă prezentare a anatomiei articulației cotului: anatomia oaselor, cu precădere extremitățile acestora care formează articulația cotului, articulația, ligamentele și musculatura cotului, mișcările ce apar în această articulație și stabilitatea cotului.

Stadiul actual al studiului experimental al mișcărilor membrului superior și problemele majore cu care se confruntă analiza experimentală sunt prezentate în subcapitolul 2.2.

Principiul de funcționare și componentele sistemului de măsurare Zebris CMS-HS sunt descrise în subcapitolul 2.3.

În subcapitolul 2.4 este propus un protocol de analiză experimentală a mișcării membrului superior, conceput pentru asigurarea unui grad cât mai ridicat de confidență și unei bune repetabilități a analizei experimentale a mișcărilor.

Subcapitolul 2.5 prezintă un studiu de determinare a ratei de eșantionare optime pentru realizarea înregistrărilor pe sistemul Zebris CMS-HS pentru mișcările membrului superior. Studiul s-a realizat în condițiile concrete din laborator, folosind un subiect sănătos și a urmărit variațiile unghiulare în raport cu timpul ale unghiurilor de flexie-extensie în articulația cotului, flexie-extensie și abducție-adducție în articulația umărului. Exercițiul efectuat de subiect a simulat o mișcare simplă, din activitățile zilnice.

Subcapitolul 2.6 prezintă analiza și evaluarea simetriei și corelațiilor dintre mișcările corespondente articulațiilor membrului stâng și membrului drept pe baza analizei cinematice experimentale și cu ajutorul testelor statistice Testul T și Coeficientul de corelație Pearson.

Subcapitolul 2.7 prezintă analiza și evaluarea corelațiilor mișcărilor membrului superior pe bază de analiză cinematică și regresie statistică. Studiul elaborat oferă o idee generală asupra metodologiei de generare a unui model pentru a descrie corelațiile inter-articulare.

Subcapitolul 2.8 prezintă o analiză experimentală a mișcărilor membrului superior folosind sistemul APAS, bazat pe înregistrări video, realizată în vederea unei posibile comparații cu rezultatele obținute cu sistemul Zebris.

Subcapitolul 2.9 prezintă analiza experimentală a mișcărilor unui pacient cu implant la nivelul articulației cotului drept realizată ca studiu de caz pe un subiect de sex masculin, în vârstă

de 55 ani, care a suferit o intervenție chirurgicală de artroplastie a articulației cotului. Analiza s-a realizat comparativ cu un subiect sănătos, dar a urmărit și comparația mișcărilor dintre membrul stâng și membrul drept ale subiectului investigat.

Subcapitolul 2.10 prezintă un model biomecanic al membrului superior dezvoltat în programul MatLab, pentru estimarea parametrilor cinematici ai articulației cotului, precum și pentru estimarea reacțiunii și momentului din articulație. Modelul folosește ca date de intrare parametrii antropometrici și caracteristicile inerțiale ale subiectului investigat, precum și variațiile unghiulare înregistrate cu sistemul de măsurare Zebris.

Capitolul 3: Modelarea și analiza unor sisteme de osteosinteză pentru oasele articulației cotului este format din șase subcapitole.

Subcapitolul 3.1 prezintă reconstrucția celor trei oase (humerusul, ulna și radiusul) ce compun articulația cotului folosind tehnici CAD și de reconstrucție 3D, pornind de la imaginile CT. Scanarea celor trei oase primite de la Departamentul de Anatomie și Embriologie al Universității de Medicină și Farmacie "Victor Babeș" Timișoara s-a făcut cu Computer Tomograful Somaton Spirit al Clinicii Selfmed Clinique Timișoara. Pentru reconstrucție s-au folosit software-urile Mimics 10.01 și Geomagic Studio 10. Modelele obținute au fost importate în programul CAD Solid Edge și folosite în proiectarea unor plăcuțe de stabilizare și a unei endoproteze.

Subcapitolul 3.2 prezintă un studiu referitor la influența discretizărilor din procesul de modelare și din analiza prin Metoda Elementului Finit asupra rezultatelor analizei numerice a osului ulna. Analiza numerică s-a bazat pe determinarea deformației totale, deformației pe direcțiile X, Y și Z, tensiunii echivalente, tensiunilor normale (X; Y, Z) și tensiunilor la forfecare (X; Y, Z) pentru cele opt modele rezultate datorită diferitelor discretizări.

Subcapitolul 3.3 prezintă mai multe analize comparative ale comportamentului biomecanic al unor sisteme convenționale de stabilizare a fracturilor diafizale ale osului radius. Analiza comparativă realizată a luat în considerare următoarele aspecte:

- comportamentul mecanic a patru plăcuțe de osteosinteză (notate po, pr1, pr2 și ps) cu aceleași dimensiuni de gabarit, același număr de găuri de fixate și supuse la aceeași solicitare;
- comportamentul biomecanic al plăcuței po în funcție de modul de fixare pe osul fracturat;
- comportamentul biomecanic al sistemului de stabilizare po1 în funcție de tipul fracturii și pentru solicitări diferite.

Pe baza rezultatelor obținute din analiza numerică pentru cazurile studiate (tipul plăcuței, modul de fixare și încărcarea diferită) s-a realizat o comparație și s-a ales sistemul de osteosinteză care a înregistrat rezultatele cele mai favorabile.

Subcapitolul 3.4 a abordat analiza comparativă a comportamentului mecanic al plăcuțelor de osteosinteză a fracturii osului radius pe baza încercărilor la tracțiune a modelelor fizice ale plăcuțelor de osteosinteză pe mașina Instron 8874, în Laboratorul de încercări CIDUCOS. Solicitățile au constatat în tracțiunea plăcuțelor până la ruperea acestora. S-au analizat deformațiile axiale și zonele de rupere. Pentru analiza existenței defectelor de structură și a zonelor de rupere s-a realizat o analiză microscopică a celor două plăcuțe care s-au deformat și rupt spre capătul proximal. Analiza suprafețelor zonelor de rupere s-a realizat prin microscopie electronică de baleiaj (SEM - Scanning Electron Microscopy), în Laboratorul de Materiale Avansate.

Subcapitolul 3.5 prezintă analiza comparativă a comportamentului biomecanic al unor sisteme convenționale de stabilizare a fracturilor diafizale ale osului ulna. Studiul comparativ a evaluat influența geometriei plăcuțelor, proprietăților materialelor și modului de prindere a

șuruburilor, utilizând simularea pe baza analizei cu Element Finit și tehnici de *Design of Experiments*.

S-au modelat trei plăcuțe de osteosinteză (P1, P2 și P3) diferite ca design, dar cu aceleași dimensiuni de gabarit. Fixarea plăcuțelor de os a fost realizată utilizând același tip de șuruburi, în trei moduri de fixare: cu trei șuruburi, cu patru, respectiv șase șuruburi.

Analizele comparative realizate au luat în considerare următoarele aspecte:

- comportamentul biomecanic al celor trei sisteme de stabilizare (plăcuțele P1, P2, P3 fixate pe osul fracturat cu patru șuruburi de fixare), în funcție de material (aliaj de titan și oțel inoxidabil) și pentru solicitări diferite aplicate la capătul distal al osului (simulând transportul unei sarcini de diferite greutăți);
- comportamentul biomecanic al sistemelor de stabilizare în funcție de geometrie, material și modul de fixare al șuruburilor, folosind metoda Design of Experiments și analiza statistică.

Subcapitolul 3.6 prezintă analiza comportamentului biomecanic al sistemului os-plăcuță LCP (Locking Compression Plate) pentru o fractură a capătului proximal al osului radius. Plăcuța de tip Locking Compression Plate concepută și analizată în acest subcapitol are un model preconturat după forma epifizei proximale a osului radius și ajută la reducerea fracturilor de tipul 21-A2.2 fractură extra-articulară parțială pe colul osului radius.

Analiza comparativă a urmărit comportamentul biomecanic al osului radius fracturat și implantat cu o plăcuță de tip LCP. S-au simulat următoarele situații de solicitare pentru cele două sisteme studiate os fracturat / os implantat:

- solicitarea la torsiune monoaxială;
- solicitarea la tracțiune monoaxială de-a lungul axei longitudinale a radiusului, pe suprafața capătului distal;
- solicitarea la încovoiere după o direcție perpendiculară pe axa longitudinală a radiusului.

Capitolul 4: Modelarea și analiza unei endoproteze totale pentru articulația cotului este structurat în șapte subcapitole.

Subcapitolul 4.1 prezintă etapele de concepție și design ale protezei totale pentru articulația humero-ulnară. Proteza concepută înlocuiește articulația humero-ulnară și este o proteză totală, cuplată (două componente cuplate), semiconstrânsă. Modelul proiectat este format din două componente principale: componenta humerală și componenta ulnară, care sunt modulare (cap și stem, conectate prin șurub) și care oferă o personalizare fidelă a stemului în funcție de dimensiunile oaselor în care se implantează.

Subcapitolul 4.2 prezintă tehnica chirurgicală de implantare a endoprotezei pentru articulația cotului și simulează implantarea acestei endoproteze în mediul CAD Solid Edge V 20.

Subcapitolul 4.3 prezintă analiza comparativă a comportamentului biomecanic al endoprotezei totale pentru intervalul funcțional de mișcare al articulației cotului (30°-130°) și pentru diferite încărcări ale capătului distal al osului ulnar. Analiza numerică a comportamentului biomecanic s-a realizat cu programul ANSYS V14 în modulul *Transient Structural*. Rezultatele obținute pentru analiza comparativă efectuată au urmărit: deplasările totale, deplasările direcționale, tensiunea echivalentă, tensiunea normală și tensiunea la forfecare în cazul a cinci situații de solicitare.

Subcapitolul 4.4 prezintă fabricația modelului fizic al endoprotezei pentru articulația cotului. Fabricația modelului fizic al endoprotezei s-a realizat în Laboratorul de prelucrări pe mașini unelte CNC și electroeroziune și în Laboratorul de prelucrări convenționale LOPIFO din cadrul Centrului de Cercetare în Inginerie Medicală din Universitatea „Politehnica” din Timișoara.

Subcapitolul 4.5 prezintă conceperea și proiectarea unui dispozitiv pentru testarea endoprotezei de cot, asigură atât fixarea endoprotezei în bacurile mașinii de încercare Instron, cât și transmiterea mișcării la axa de rotație a protezei.

Subcapitolul 4.6 prezintă fabricația modelului fizic al dispozitivului de fixare ale endoprotezei pentru articulația cotului. Componentele dispozitivului pentru fixarea endoprotezei au fost prelucrate în Laboratorul de prelucrări convenționale LOPIFO și în Laboratorul de prelucrări pe mașini unelte CNC și electroeroziune din cadrul Centrului de Cercetare în Inginerie Medicală din Universitatea „Politehnica” din Timișoara.

Subcapitolul 4.7 prezintă studiul experimental al uzurii componentei de polietilenă a endoprotezei pentru articulația cotului. Au fost studiate recomandările din standarde referitoare la încercările mecanice la care sunt supuse endoprotezele, în special cele folosite pentru determinarea uzurii componentelor de polietilenă și studiile publicate referitoare la testarea la uzură în condiții de laborator a protezelor totale de cot.

Testarea la uzură a componentei de polietilenă a protezei pentru articulația cotului s-a realizat pe mașina de încercare la oboseală Instron 8874, aflată în laboratorul CIDUCOS din cadrul Centrului de Cercetare în Ingineria Medicală.

Evaluarea uzurii pieselor componentei de polietilenă s-a realizat prin metoda gravimetrică, respectiv prin cântărirea pieselor componentei de polietilenă, înainte și după testare, în Laboratorul de încercări CIDUCOS al Centrului de Cercetare în Ingineria Medicală cu Balanța Kern PRJ620-3M cu kit de densitate.

Capitolul 5: Concluzii. Contribuții personale. Direcții viitoare în cercetare prezintă pe scurt concluziile cercetărilor realizate, contribuțiile personale și direcțiile viitoare de cercetare. Introducerea a evidențiat actualitatea și importanța problematicei lucrării de doctorat, obiectivele și metodologia cercetării și a prezentat pe scurt conținutul tezei.

Contribuții personale

Introducerea a evidențiat actualitatea și importanța problematicei lucrării de doctorat, obiectivele și metodologia cercetării și a prezentat pe scurt conținutul tezei.

Capitolul 1: Stadiul actual al cercetărilor referitoare la implantarea articulației cotului a sintetizat principalele aspecte ale implantării în general și cele ale implantării articulației cotului, în particular. Contribuțiile autoarei tezei sunt:

- Realizarea unei sinteze bibliografice a leziunilor și afecțiunilor articulației cotului, precum și a metodelor contemporane de tratament chirurgical al fracturilor membrului superior (Obiectivul 1);
- Realizarea unei sinteze bibliografice a principalelor tipuri de sisteme de fixare internă pentru oasele articulației cotului (Obiectivul 1);
- Realizarea unei sinteze bibliografice a principalelor tipuri de endoproteze pentru articulația cotului (Obiectivul 1);
- Realizarea unei sinteze bibliografice asupra principalelor materiale utilizate pentru fabricația implanturilor pentru articulația cotului, respectiv tehnologiilor de fabricație a acestora (Obiectivul 1);
- Realizarea unei sinteze bibliografice asupra principalelor preocupări actuale și de perspectivă în domeniul implantării articulației cotului (Obiectivul 1).

Capitolul 2: Analiza biomecanică a articulației cotului prezintă atât studii teoretice, bazate pe sinteze bibliografice, cât și analize experimentale, realizate atât pe un subiect sănătos, cât și pe un subiect implantat la nivelul articulației cotului. Contribuțiile autoarei tezei sunt:

- Realizarea unor sinteze bibliografice referitoare la anatomiei articulației cotului (Obiectivul 1);
- Realizarea unor sinteze bibliografice referitoare la stadiul actual al studiului experimental al mișcărilor membrului superior în vederea stabilirii diagnosticului sau aprecierii gradului de recuperare pentru diferite activități zilnice cu diferite sisteme de măsurare (Obiectivul 1).
- Elaborarea unui protocol de analiză experimentală a mișcării membrelor superioare folosind sistemul de măsurare Zebris CMS-HS pentru asigurarea unui grad cât mai ridicat de confidență și a unei bune repetabilități a analizei experimentale a mișcărilor (Obiectivul 2);
- Determinarea ratei de eșantionare optime pentru realizarea înregistrărilor cu sistemul de măsurare Zebris CMS-HS pentru mișcările membrului superior (Obiectivul 3);
- Elaborarea unui model folosind regresia statistică, care ia în considerare și corelațiile dintre mișcările din articulații, respectiv influența mișcărilor din articulația umărului asupra mobilității cotului, și care este util pentru evaluarea cantitativă a afecțiunii/gradului de recuperare (Obiectivul 4);
- Realizarea unei analize experimentale a mișcărilor membrului superior folosind sistemul APAS în vederea unei analize comparative cu rezultatele înregistrate cu sistemul de măsurare Zebris CMS-HS, în mod special pentru mișcările din articulația cotului, pentru un subiect sănătos (Obiectivul 5);
- Realizarea unei analize experimentale a mișcărilor unui pacient cu implant la nivelul articulației cotului pentru a evalua mobilitatea articulației după trei luni de recuperare și compararea rezultatelor obținute cu cele ale unui subiect sănătos (Obiectivul 6);
- Elaborarea unui model biomecanic al membrului superior, folosind mediul de simulare MatLab și Modulul Simulink, în vederea determinării caracteristicilor cinematice, a reacțiunilor și momentelor din articulația cotului, care permite o analiză personalizată ale cărei date de intrare sunt parametrii cinematici înregistrați cu sistemul de măsurare Zebris CMS-HS și caracteristicile antropometrice și inerțiale ale subiectului studiat (Obiectivul 7).

Capitolul 3: Modelarea și analiza unor sisteme de osteosinteză pentru oasele articulației cotului a abordat problema reconstrucției oaselor, care compun articulația cotului, acestea fiind apoi utilizate în proiectarea unor modele de plăcuțe de osteosinteză pentru oasele articulației cotului și analiza comparativă a comportamentului biomecanic al ansamblurilor os/plăcuță/șuruburi de fixare. Contribuțiile autoarei tezei sunt:

- Determinarea unor modele virtuale ale structurii biomecanice pe baza reconstrucției 3D a oaselor care compun articulația cotului, apropiate de anatomia articulației naturale, care au fost folosite pentru modelarea și analiza comportamentului biomecanic al sistemelor de stabilizare și al endoprotezei concepute pentru articulația cotului (Obiectivul 8);
- Analiza influenței discretizărilor din procesul de modelare (reconstrucția 3D) și simulare (analiza numerică) asupra rezultatelor analizei numerice a osului ulna (Obiectivul 8);
- Realizarea unui studiu comparativ al comportamentului biomecanic al unor sisteme de stabilizare convenționale, în funcție de forma plăcuțelor de osteosinteză, materialul acestora și numărul șuruburilor de fixare pe structura osoasă prin analiza numerică a șapte tipuri de plăcuțe de stabilizare a fracturilor diafizale (patru plăcuțe pentru osul radius și trei plăcuțe pentru osul ulna) (Obiectivul 9);
- Realizarea unui studiu comparativ al comportamentului biomecanic al unor sisteme de stabilizare convenționale a fracturilor diafizale ale osului ulna pe baza influenței geometriei plăcuțelor, proprietăților materialelor și modului de prindere a șuruburilor, utilizând simularea prin Analiză cu Element Finit și tehnici de Design of Experiments (Obiectivul 9);

- Evaluarea comparativă a comportamentului biomecanic folosind Metoda Elementului Finit al osului radius fracturat și al osului implantat cu un sistem de osteosinteză cu plăcuță de tip Locking Compression Plate pentru fractura exta-articulară a colului osului radius (Obiectivul 10).

Capitolul 4: Modelarea și analiza unei endoproteze totale pentru articulația cotului prezintă conceperea, modelarea, analiza numerică și fabricația endoprotezei și a unui dispozitiv de fixare utilizat pentru realizarea validării modelului pe baza studiului experimental al uzurii componentei de polietilenă. Contribuțiile autoarei tezei sunt:

- Conceperea și proiectarea unui model de proteză totală, cuplată pentru articulația cotului pe baza modelelor 3D ale oaselor reconstruite și fabricația modelului fizic (Obiectivul 11);
- Realizarea unui studiu comparativ al comportamentului biomecanic prin analiză numerică cu Element Finit al deplasărilor și tensiunilor pentru intervalul funcțional de mișcare din articulația cotului, pentru diferite sarcini aplicate la capătul distal al osului ulna (Obiectivul 12);
- Conceperea și realizarea unui dispozitiv de testare a endoprotezei pentru articulația cotului în vederea validării protezei totale (Obiectivul 13);
- Validarea modelului protezei pentru articulația cotului pe baza studiului experimental al uzurii componentei de polietilenă prin cântărire înainte și după testare (Obiectivul 14).

Direcții viitoare

Concluziile și experiența acumulată pe parcursul stagiului de cercetări doctorale permit conturarea continuării cercetărilor în domeniul implantării articulației cotului abordând mai multe direcții:

- Extinderea bazei de date ce conține înregistrări ale mișcărilor membrelor superioare pentru subiecți sănătoși și cu implanturi ale oaselor ce formează articulația cotului și evaluarea periodică a acestora pentru a urmări procesul de reabilitare;
- Îmbunătățirea soluțiilor constructive ale modelelor propuse pentru sistemele de stabilizare și proteza pentru articulația cotului;
- Conceperea și realizarea unor noi modele de plăcuțe de osteosinteză și endoproteze pentru articulația cotului.

Valorificarea rezultatelor

Cercetările științifice realizate pe parcursul stagiului doctoral au condus la publicarea a 13 lucrări în volumele unor conferințe naționale și internaționale și volumele unor reviste de specialitate:

- 1 lucrare publicată în volumul unei conferințe internaționale - ISI Proceedings;
- 5 lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale - în curs de indexare ISI;
- 1 lucrare publicată într-o revistă indexată BDI;
- 3 lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale din străinătate, cu comitet de recenzie, fără cotație;
- 1 lucrare publicată în volumul unei conferințe internaționale din țară, cu comitet de recenzie, fără cotație;
- 2 lucrări publicate în volumele unor conferințe/workshop-uri organizate în cadrul Proiectului POSDRU/CPP107/DMI1.5/S/77265 Spre cariere de cercetare prin studii doctorale al Ministerului Muncii, Familiei, Protecției Sociale și Persoanelor vârstnice din România, co-finanțat de Fondul Social European – Investește în oameni.