

CERCETĂRI PRIVIND RECONSTRUCȚIA LIGAMENTULUI ÎNCRUCIȘAT ANTERIOR AL GENUNCHIULUI

ing. Lucian BOGDAN

Rezumatul tezei

Teza de doctorat se extinde pe 129 de pagini (în care sunt incluse și anexele), conține 94 figuri, 12 tabele și 141 poziții bibliografice.

Lucrarea este organizată pe cinci capitole și tratează aspecte privind reconstrucția ligamentului încrucișat anterior.

Capitolul 1 – *Importanța și actualitatea temei de cercetare* – se extinde pe 2 pagini unde se prezintă o sinteză a problematicii tezei cu sublinierea obiectivelor principale ale cercetării și a importanței temei de cercetare alese. Leziunile asociate ligamentului încrucișat anterior sunt cele mai des întâlnite afecțiuni de la nivelul articulației de genunchi. De-a lungul anilor s-a încercat realizarea ligamentului artificial încrucișat anterior pentru a face cât mai confortabilă și ușoară, fără durere viața pacientului.

Obiectivul principal al tezei de doctorat îl reprezintă studiul realizării ligamentului încrucișat anterior din aliajul de NiTinol (datorită caracteristicilor de superelasticitate și memoria formei pe care acesta le are).

Capitolul 2 - *Stadiul actual privind reconstrucția ligamentului încrucișat anterior* - este extins pe 44 de pagini, conține 31 de figuri și 6 tabele unde s-a realizat un studiu bibliografic privind aspectele anatomice, cinematice și biomecanice ale articulației de genunchi, reconstrucția ligamentului încrucișat anterior. De asemenea s-a realizat o sinteză bibliografică unde au fost prezentate principalele modele de analiză cu elemente finite a articulației genunchiului.

Articulația genunchiului este una din cele mai complexe și în același timp cea mai mare articulație a corpului uman. Este solicitată la forțe mari care apar în timpul transmiterii greutății corporale în poziție statică, respectiv în timpul locomoției (aproximativ de trei ori greutatea corporală), fapt care poate determina o degradare accentuată a elementelor sale componente. Pe lângă artrită și leziuniile de la nivelul meniscurilor, afecțiuni cel mai des întâlnite la nivelul articulației genunchiului, ruptura ligamentului încrucișat anterior ocupă o pondere importantă în disfuncționalitatea și instabilitatea acestei articulații. Aproximativ 70% din rupturile acestui ligament se produce indirect, prin mișcări defectuoase ale articulației. În prezent pentru reconstrucția ligamentului încrucișat anterior se folosește transplantul autogen (reconstrucția cu ajutorul țesuturilor vecine) respectiv ligamentele artificiale de tip LARS. O deosebită importanță reprezintă tratamentul postoperator, de succesul său depinzând rezultatele pe

termen lung. Ligamentul artificial de tip LARS are o construcție apropiată fibrelor anatomice ale ligamentului natural având o structură țesută.

Aliajul de nichel-titan (NiTiInol) este folosit în domeniul medical încă de la începutul anilor 1970 (cleme osoase, arcuri ortodontice, fire de ghidaj), cunoscând o creștere semnificativă începând cu anii 1990 (tuburi superelastice, stenturi auto-expandabile). Pe lângă caracteristicile superelastice și de memorie a formei ale nitinolului, acesta mai prezintă și o rezistență la coroziune foarte bună, apropiată de cea a titanului pur. Studii clinice concluzionează faptul că aliajul NiTi poate fi privit ca un material de implant biologic în condiții de siguranță.

În literatura de specialitate pentru studiul comportamentului ligamentului încrucișat anterior sănătos, bolnav dar și deteriorat au fost elaborate diferite modele de analiză cu element finit al articulației de genuchi.

Capitolul 3 - *Cercetări experimentale asupra materialelor folosite în reconstrucția ligamentului încrucișat anterior* – este extins pe un număr de 20 de pagini care conțin 23 de figuri, 3 tabele și 17 relații de calcul. În acest capitol s-au realizat următoarele studii experimentale asupra principalelor materiale folosite în chirurgia ortopedică pentru reconstrucția ligamentului încrucișat anterior:

- Cercetări experimentale privind caracteristicile mecanice și elastice ale ligamentului artificial de tip LARS
- Cercetări experimentale de tracțiune pentru firele de NiTiInol utilizate în chirurgia ortopedică
- Cercetări de oboseală multiaxială de încovoiere cu torsiune pentru firele de NiTiInol

Pentru analiza morfologică a compoziției epruvetelor folosite la încercările experimentare s-a utilizat spectroscopia cu raze X prin dispersie de energie (EDX), respectiv pentru evidențierea unor eventuale defecte, microscopia de baleaj (realizându-se imagini instantanee a suprafețelor).

Prin efectuarea încercărilor la tracțiune asupra ligamentelor artificiale de tip LARS (Ligament Augmentation Reconstruction Sistem) s-au determinat caracteristicile mecanice ale unui astfel de ligament. S-a putut evidenția variația acestor proprietăți în funcție de dimensiunile epruvetei, de asemenea, caracteristicile de rezistență și deformabilitate ale structurii ligamentului se modifică în raport cu cea a firelor componente. Alegerea testului de tracțiune se justifică prin faptul că solicitarea principală pentru un ligament artificial este de cele mai multe ori în direcție longitudinală.

În cazul firelor de NiTiInol, folosite la testele de tracțiune, prin spectroscopia EDX s-au descoperit un procent nesemnificativ (din punct de vedere al utilizării acestora) de impurități în compoziția aliajului (carbon, oxigen și aluminiu). Prin încercările la tracțiune s-au determinat caracteristicile mecanice și de deformabilitate ale aliajului (platoul inferior și platoul superior al rezistenței la întindere, elongația), dar și superelasticitatea materialului la temperatura ambiantă.

Având în vedere starea multiaxială de tensiune de la nivelul articulației genunchiului, generată în timpul activităților zilnice, cunoașterea caracteristicii de oboseală multiaxială a nitinolului este foarte importantă. Pentru realizarea testelor de solicitare multiaxială simplă pentru firele de nitinol, în cadrul Laboratorului de Rezistența

Materialelor din cadrul Universității ”Politehnica” din Timișoara a fost realizat un stand de încercare. Solicitarea mixtă se produce prin modificarea geometriei firului, prin curbarea acesteia sub forma unui arc de cerc. Rezultatele au scos în evidență faptul că tensiunile în cele trei tipuri de fire sunt în strânsă legătură cu diametrul firului. Compoziția chimică influențează, de asemenea, valoarea tensiunilor și durabilitatea firelor (proportia crescută de nichel în aliaj poate îmbunătăți durabilitatea).

Privind utilizarea de firelor de Nitinol ca implanturi ortopedice (ligamente artificiale), principala recomandare se adresează în alegerea diametrului firului, acesta să fie cât mai redus posibil; în plus ligamentele trebuie realizate din fire împletite subțiri de nitinol, oferind astfel o flexibilitate și durabilitate mai mare ligamentului artificial;

Capitolul 4 - *Cercetări numerice a stării de tensiune și deformație pentru ligamentul încrucișat anterior artificial* – este extins pe un număr de 36 de pagini care conține 35 de figuri, 3 tabele și 17 relații de calcul. Pe parcursul acestui capitol s-a determinat starea de tensiune și deformație pentru un nou model de ligament artificial încrucișat anterior. De asemenea s-au determinat forțele care acționează în punctele de inserție ale unui ligament artificial încrucișat anterior. S-a realizat un model de analiză cu element finit al articulației de genunchi unde s-a studiat starea de tensiune și deformație pentru un model propus de ligament artificial încrucișat anterior.

Prin determinarea forțelor care acționează în punctele de inserție ale unui ligament artificial încrucișat anterior s-a concluzionat faptul că solicitările maxime pe timpul ciclului de mers, asupra punctelor de inserție ale ligamentului au loc preponderent în timpul sprijinului datorită greutateii corporale.

În urma studiilor bibliografice și a cercetărilor experimentale a fost propus un model nou de ligament artificial încrucișat anterior, realizat din nitinol, care să țină cont de solicitările care apar la nivelul articulației de genunchi. Utilizând analiza cu element finit s-a determinat starea de tensiune și deformație asupra modelului de ligament artificial propus, supus forțelor care acționează în punctele sale de inserție.

A fost realizat modelul CAD al unei articulații de genunchi fiind compus din femur, tibie, ligamentul lateral-colateral (LCL), ligamentul medial-lateral (MCL) și ligamentul încrucișat posterior (PCL). Modelul CAD nu conține meniscurile respectiv articulația patelo-femurală deoarece din punct de vedere al obiectivelor propuse, acestea nu prezintă o importanță deosebită. Validarea modelului cu elemente finite a articulației de genunchi; pentru aceasta rezultatele obținute au fost comparate cu datele existente în literatura de specialitate. De asemenea s-a determinat starea de tensiune a ligamentelor medial-lateral, lateral-colateral, încrucișat posterior pentru o mișcare de extensie – flexie 90° observându-se că pentru unghiuri mai mari de 60° ale flexiei, distribuția tensiunilor din cele trei ligamente rămâne aproximativ constantă.

După inserarea ligamentului artificial în articulația de genunchi la 30° flexie tensiunile echivalente von Mises ating valori foarte mari; practic legăturile dintre firele care compun ligamentul artificial sunt concentratori de tensiune. Model ligamentului artificial încrucișat anterior propus a fost îmbunătățit prin eliminarea concentratorilor, distribuția tensiunilor fiind optimă.

Capitolul 5 - **Concluzii și contribuții personale** – se extinde pe un număr de 6 pagini unde sunt prezentate concluziile și contribuțiile personale ale autorului într-o manieră clară și succintă cu sublinierea posibilelor direcții viitoare de cercetare.

Cele mai relevante **concluzii** sunt următoarele:

- articulația genunchiului este una din cele mai complexe și în același timp cea mai mare articulație a corpului uman; este solicitată la forțe mari care apar în timpul transmiterii greutății corporale în poziție statică, respectiv în timpul locomoției (aproximativ de trei ori greutatea corporală), fapt care poate determina o degradare accentuată a elementelor sale componente;

- un procent mare, aproximativ 70%, a rupturii ligamentului încrucișat anterior se produce indirect, prin mișcări defectuoase ale articulației;

- pe lângă caracteristicile superelastice și de memorie a formei ale NiTinolului, acesta mai prezintă și o rezistență la coroziune foarte bună, apropiată de cea a titanului pur; complianța nitinolului îi conferă acestuia caracteristicile mecanice cele mai apropiate de cele ale materialelor biologice dintre toate metalele;

- privind utilizarea de firelor de Nitinol ca implanturi ortopedice (ligamente artificiale), principala recomandare se adresează în alegerea diametrului firului, acesta să fie cât mai redus posibil; în plus ligamentele trebuie realizate din fire împletite subțiri de nitinol, oferind astfel o flexibilitate și durabilitate mai mare ligamentului artificial;

- modelarea cu elemente finite s-a dovedit a fi un mod eficient pentru caracterizarea distribuției tensiunilor în ligamentul încrucișat anterior ca efect al solicitărilor și momentelor tibio-femorale;

- în urma analizei cu element finit, distribuția tensiuniilor în modelul de ligament artificial propus este optimă; însă un aspect important de care trebuie ținut cont este faptul că în timpul ciclului de mers la nivelul articulației genunchiului intervine o solicitare multiaxială determinată de deplasarea tibială anterioară și rotația internă tibială.

Dintre **contribuțiile personale** ale autorului se pot aminti următoarele:

- realizarea unei sinteze bibliografice privind principalele aspecte în reconstrucția ligamentului încrucișat anterior al articulației de genunchi;

- realizarea unei sinteze bibliografice unde au fost prezentate principalele modele de analiză cu elemente finite a articulației genunchiului;

- determinarea caracteristicilor mecanice și elastice ale ligamentului artificial de tip LARS;

- realizarea încercărilor experimentale de tracțiune pentru firele de nitinol utilizate în chirurgia ortopedică;

- s-au realizat încercări de oboseală multiaxială de încovoiere cu torsiune pentru firele de nitinol, în scopul de a studia posibilitatea realizării ligamentelor artificiale din acest tip de material; pentru efectuarea acestor încercări în cadrul Laboratorului de Rezistența Materialelor a fost realizat un stand experimental;

- analiza morfologică a epruvetelor folosite în cercetările experimentale;

- a fost propus un model nou de ligament artificial încrucișat anterior care să țină cont de solicitările care apar la nivelul articulației de genunchi;

- utilizând analiza cu element finit s-a determinat starea de tensiune și deformație asupra modelului de ligament artificial propus;

- a fost realizat modelul CAD al unei articulații de genunchi;

- validarea modelului de analiză cu elemente finite a articulației de genunchi propusă;
- modelarea comportării ligamentului artificial încrucișat anterior inserat în articulația de genunchi pe durata ciclului de mers și ulterior îmbunătățirea modelului pentru o mai bună distribuție a tensiunilor;

Din conținutul tezei se pot identifica următoarele **direcții viitoare de valorificare a rezultatelor** cercetării:

- posibilitatea îmbunătățirii modelului cu element finit prin introducerea menisucurilor și a articulației petelo-femorale;
- elaborarea studiului interacțiunii între canalul osos și modelul de ligament artificial propus;
- studiul comportării ligamentului artificial încrucișat anterior inserat în articulația de genunchi pentru diferite activități zilnice sau în cazul practicării unui sport;
- implantarea ligamentelor folosite în prezent împreună cu o inserție de nitinol în structura acestora;

Rezultatele obținute în urma cercetărilor au fost diseminate la diferite manifestări de profil în următoarele **lucrări științifice**:

- **Bogdan L.** – „Privire generală asupra materialelor biocompatibile folosite în ortopedie” - Conferința națională de bioinginerie, Ediția a XIV-a, 19-22 Mai, 2011, Iasi, Romania
- M. Amarandei, **L. Bogdan** – „Diagnosticarea traumatismelor articulațiilor prin metoda termografică” Conferința națională de bioinginerie, Ediția a XIV-a, 19-22 Mai, 2011, Iasi, Romania
- **Bogdan L.** C.-S. Nes, N. Faur - “Force Components Determination Acting on Insertion Points of an Artificial Ligament during the Gait Cycle”, The XVII-th National Symposium on Fracture Mechanics, 2012, Ploiești, Romania – *cu indexare B+*
- M. Amarandei, **L. Bogdan**, A. Cernescu, L. Marsavina, J.M. Patrascu, D. Vermesan – “Experimental tests on fine nitinol wires used in medical application; Fourth International Conference on advanced materials and structures”, AMS 2011- ISBN 978-606-554-374- *cu indexare ISI*
- M. Amarandei, **L. Bogdan**, P. Sfirloaga, J.M. Pătrașcu, E. Bușă – “Experimental Research regarding the Breaking Force an Artificial Anterior Cruciate Ligament used in Orthopedics” - IEEE International Conference E-Health and bioengineering, ISBN 978-606-544-078-4 - *cu indexare ISI*
- **L. Bogdan**, C.-S. Nes, N. Faur, M. Amarandei, A. Enkelhardt – “Numerical analysis of femoral neck angle influence on stress distribution of cemented Austin Moore hip prosthesis” - 11th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, FDM 2012 - *cu indexare ISI*
- **L. Bogdan**, M. Amarandei, K. Berdich, J.M. Pătrășcu, R. Prejbeanu – “Optimizarea protezării șoldului la sportivi – o privire interdisciplinară”, Conferința națională a societății de imagistică musculo-scheletală din România, ediția a V-a
- **L. Bogdan**, C.-S. Neș, A. Enkelhardt, N. Faur, C. Sticlaru, J. M. Pătrașcu- „Stress Distribution in an Artificial Cruciate Ligament during the Gait Cycle” Conferința

internatională `14th Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing` - ARTENS 2013 Timișoara, Romania, 2013– *cu indexare ISI*

- **L. Bogdan**, R.-J. Natal, M. Parente, N. Faur, J. M. Patrascu – “Nitinol Artificial Anterior Cruciate Ligament: A Finite Element Study” - 4th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering, EHB 2013, Iași, Romania - *cu indexare ISI*

- **L. Bogdan**, C. Nes, A. Enkelhardt, N. Faur, J. M. Patrascu – “Bending-Rotation Tests of Niti Superelastic Wires Used in Medical Applications” - 4th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering, EHB 2013, Iași, Romania - *cu indexare ISI*

- **L. Bogdan** “Research regarding Nitinol-ACL used in orthopedics,, Workshop-ul nr.1 „Interdisciplinaritatea și managementul cercetării” Noiembrie 2011, Timișoara

- **L. Bogdan** ”Force Components Determination Acting on Insertion Points of an Artificial Ligament during the Gait Cycle” - Workshop-ul nr.2 „Interdisciplinaritatea și managementul cercetării” Oradea, Iunie 2012

- **L. Bogdan** „Stress Distribution in an Nitinol Artificial Anterior Cruciate Ligament during the Gait Cycle” Workshop-ul nr. 3 "Interdisciplinaritatea și managementul cercetării in studiile doctorale", Pitești, Mai 2013