**STUDIU PROSPECTIV PRIVIND PARAMETRII GEOMETRICI AI PROTEZELOR**

**DESTINATE ARTICULAŢIEI COXOFEMURALE**

**Rezumat extins**

Tematica prezentei teze de doctorat reprezintă o continuare a cercetărilor începute în timpul lucrărilor de licenţă şi dizertație și se datorează incidenţei crescute a afecţiunilor articulaţiei şoldului şi a importanţei protezării în redarea mobilităţii şi reducerea durerii. Analiza acestei probleme a condus la studierea în amănunt a aspectelor referitoare la proiectarea, analiza teoretică și experimentală a componentei acetabulare.

Traumatismele scheletului osos uman reprezintă o problemă majoră de sănătate publică. Incidenţa acestora depinde de factori socioeconomici şi culturali, constituind cauza a circa două treimi din decesele post-traumatice şi totodată cel mai frecvent generator de handicap permanent.

Implanturile ortopedice sunt utilizate pentru a înlocui articulațiile deteriorate sau componente ale acestora. Procedurile chirurgicale presupun îndepărtarea și apoi înlocuirea articulației distruse.

În conceperea implanturilor pentru reconstituirea deficienţelor de schelet primele cerinţe care trebuie respectate sunt cele cinematice, studiile recente fiind însă concentrate asupra dinamicii mişcărilor naturale. Astfel, pentru proiectarea unui element de protezare sunt studiate în prealabil cinematica şi dinamica gesturilor uzuale, urmărindu-se realizarea elementelor mecanice apte să le reproducă.

Artroplastia de şold este o intervenţie chirurgicală ortopedică ce are drept scop restabilirea funcţionalităţii articulaţiei coxofemurale deteriorate de un proces patologic oarecare. Conform Registrului Naţional de Endoprotezare, operaţia de endoprotezare a articulaţiei şoldului este cea mai des întâlnită în România, în anul 2013 înregistrându-se peste 9700 de operaţii primare şi peste 700 de revizii.

Rezultatele operaţiei de revizie a şoldului nefiind la fel de mulţumitoare ca cele ale artroplastiei primare se urmăreşte o îmbunătăţire a proprietăţilor protezelor pentru a diminua cauzele ce pot duce la eşecul componentelor.

Interesul de cercetare academică se concentrează pe optimizarea parametrilor de design al componentelor acetabulare press-fit astfel încât riscul de insucces al endoprotezarii să fie redus.

Mai mulţi factori pot fi implicaţi în eşecul componentei acetabulare, inclusiv o dimensionare necorespunzătoare a protezei, orientare spaţială şi fixare iniţială nesatisfăcătoare, uzură excesivă, cât şi remodelarea osoasă cauzată de nepotriviri de elasticitate la interfaţa os-implant.

Pornind de la aceste considerente, teza de doctorat propune atât cercetări teoretice cât şi aplicative în domeniul protezelor coxofemurale, îmbinând specificul proiectării asistate de calculator cu specificul utilizării calculatorului în domeniul medical pentru prelucrarea de informaţii şi imagini. Studiile prezintă un spectru larg de parametrii geometrici, fiind concentrate pe proiectarea de modele de elemente finite și metode de încercare mecanice pentru evaluarea influenței acestor factori, ca un instrument pentru predicţie de preoperator de performanţă a componentelor acetabulare necimentate.

**Obiectivul general** al cercetărilor tezei de doctorat a constat în aducerea unor contribuții la realizarea implanturilor pentru articulația coxofemurală. Activitățile de cercetare sunt orientate spre studii teoretice şi aplicative în domeniul concepţiei, proiectării, analizei teoretice şi experimentale a protezelor ortopedice de şold, cu particularizare pentru componenta acetabulara.

**Obiectivele specifice** ale acestei teze sunt reprezentate de:

* Realizarea unui studiu bibliografic complex privind anatomia şi patologia articulaţiei şoldului, stadiul actual al cercetării în domeniul endoprotezării şoldului prin identificarea principiilor şi metodelor de protezare, a materialelor folosite pentru realizarea endoprotezelor, biomecanica articulaţiei şoldului şi analiza mersului, dar, mai ales a problemelor care pot cauza funcţionalităţii pe termen lung a acestora;
* Determinarea importanței identificării reperelor anatomice și a estimării exacte a centrului articular asupra parametrilor cinematici în timpul analizei mersului;
* Folosind tehnici CAD de modelare geometrică, tehnici de imagistică şi reconstrucţie 3D, realizarea unui model geometric al articulaţiei coxofemurale în vederea folosirii acestuia ca suport pentru testarea diferiţilor parametrii geometrici ai protezării;
* Planificarea experimentelor în funcţie de diversele ipoteze testate pentru generarea unor mătrici program;
* Analiza comportamentului biomecanic al articulaţiei şoldului folosind metoda elementului finit, evidenţiind modificările cauzate variaţia diferiţilor parametrii geometrici în distribuţia presiunilor;
* Analiza diferitelor orientări spaţiale ale componentei acetabulare pentru determinarea influenţei acesteia în distribuţia presiunilor şi ulterior optimizarea acesteia;
* Analiză prin testare mecanică a riscului apariţiei micro-fisurilor acetabulare urmărind tensiunile apărute în ţesutul osos în timpul impactării cupelor necimentate pentru determinarea necesităţii unor modificări de formă constructivă şi evidenţierea unui echilibru între calitatea osoasă şi gradul de supradimensionare a cupei;
* Analiza stabilităţii mecanice primare a unor modele de cupe acetabulare disponibile în comerţ prin realizare de testări mecanice.

Efectul compus al variabilităţii factorilor menționați mai sus este dificil de prezis. Astfel, în prezenta teză atât metode de calcul cât şi metode experimentale au fost folosite pentru a evalua influenţa acestora în asigurarea durabilităţii componentelor acetabulare necimentate.

Teza de doctorat cuprinde 132 pagini şi este structurată pe 6 capitole dintre care patru sunt de consistență, primul capitol este reprezentat de introducere, iar ultimul capitol prezintă concluziile și contribuțiile personale ale autorului. În dezvoltarea tezei au fost introduse 94 figuri și 19 tabele și este însoţită de o listă bibliografică ce conține un număr de 134 titluri, majoritatea fiind de dată recentă.

Capitolul **Introducere** susține actualitatea și importanța cercetării în tematica artroplastiei de șold prin revizuirea datelor oferite de Registrul național de artroplastie. Mai mult decât atât, rezumă obiectivele și conținutul tezei și descrie pe scurt metodologia de cercetare folosită pentru realizarea acestor obiective.

**Capitolul 1:** **Caracteristicile structurale, funcţionale şi patologice ale articulaţiei coxofemurale** este compus din patru subcapitole și prezintă stadiul actual al cercetărilor referitoare la aspectele importante din domeniul tematicii tezei.

Primele două subcapitole reprezintă o scurtă prezentare a anatomiei articulației şoldului: anatomia oaselor care formează articulația, precum şi ligamentele și musculatura implicate în statică şi dinamica articulaţiei.

În Subcapitolul 1.3 s-a realizat o scurtă prezentare a patologiei articulare și afecțiunilor traumatologice ce pot apărea la nivelul articulației şoldului şi pot necesita înlocuirea acestuia.

Subcapitolul 1.4 reprezintă un rezumat bibliografic a conceptelor fundamentale ale sistemului biomecanic al articulaţiei şoldului cu accent pe mobilitatea articulaţiei și parametrilor cinematici ce pot fi utili în analiza experimentală mersului.

**Capitolul 2: Stadiul actual al protezării şoldului** este structurat pe trei subcapitole şi reprezintă un studiu al evoluţiei protezării şoldului.

Subcapitolul 2.1. Reprezintă o clasificare a protezelor în funcţie de tipul cuplului de frecare şi descrie materialele implicate, avantajele şi dezavantajele fiecăruia bazate pe coeficienţii de frecare şi rezistenţa mecanică.

În Subcapitolul 2.2 sunt descrise cele mai utilizate tipuri de proteze coxofemurale şi realizează o clasificare a acestora din punctual de vedere al tipului de fixare: cimentate şi necimentate. Deasemenea, sunt prezentate şi cele mai comune alternative, cum ar fi hemi-artroplastia şi protezele de resuprafaţare.

Cercetarea propusă în Subcapitolul 2.3 a abordat problema relevantă clinic a eşecului protezării şoldului, principalele motive de eșec postoperatorii fiind enumerate în această secțiune alături de o analiza a literaturii referitoare la incidența acestora.

Accentul principal a fost pus pe implanturile necimentate și eşecul acestora cauzat de degradare aseptică a fixării mecanice a acestora. Stress shielding reprezintă un fenomen cauzat de nepotrivirea modulului de elasticitate între implant și os şi s-a remarcat că factorul cel mai influent în apariția mobilizării componentelor.

**Capitolul 3: Fiabilitatea parametrilor cinematici în analiza mersului** este format din patru subcapitole şi analizează importanța identificării reperelor anatomice și a estimării exacte a centrului articular asupra parametrilor cinematici în timpul analizei mersului.

Centrul articular al şoldului (HJC) s-a dovedit a fi un reper fundamental în identificarea axei mecanice a membrelor inferioare, fiind punctul în funcţie de care se calculează momentele articulare. Astfel, erorile apărute în locația să pot duce la inexactități semnificative, atât în reconstrucția articulaţiei cât și în analiza mersului.

Este propus un protocol de analiză experimentală a mișcării membrelor inferioare, conceput pentru asigurarea unui grad cât mai ridicat de confidenţă şi unei bune repetabilităţi a analizei experimentale a mişcărilor.

Subcapitolul 3.1 descrie metodele utilizate pentru determinarea centrului articulaţiei, aparatura și metodologia utilizată în analiza cinematica tridimensională.

Pentru a realiza acest lucru, metoda de estimare implicită a aparatului Zebris CMS a fost comparată cu alte două metode de estimare: metoda marelui trohanter (GT) care situează HJC la un sfert din distanța de la ipsolateral la trohanterul contralateral și metoda radiografică.

Studiul s-a realizat în condiţiile concrete din laborator, folosind un subiect sănătos şi a urmărit variaţiile unghiulare în raport cu timpul ale unghiurilor de flexie-extensie şi abducţie-adducţie şi rotaţie în articulaţia şoldului.

Analiza datelor rezultate, Subcapitolul 3.2 a constat în statistici descriptive, cum ar fi media și deviația standard (SD) utilizate pentru a caracteriza ciclul de mers, în timp ce analiza varianţei factoriale (ANOVA), coeficienți de corelație intra-clasa (ICC), corelații Pearson (r) și metoda Bland și Altman au fost folosite că estimări de fiabilitate a metodelor de estimare a HJC.

Din datele rezultate, o metodă statistică simplă a fost dezvoltată pentru a corecta datele inițiale de mers, putând permite o estimare mai bună utilizând metode neinvazive.

Rezultatele acestui studiu preliminar sugerează că, deşi diferenţele dintre cele trei scenarii nu au fost statistic de mari, există însă loc pentru îmbunătățiri folosind metoda regresiei statistice. Pentru a evalua acuratețea metodei rezultate, un nou set de date a fost generat rezultând un randament, în medie, în creștere de aproximativ 8% din ICC (0.8 - 28%), în timp ce diferențele medii estimate au fost reduse la minimum.

Studiul oferă o scurtă descriere a protocolului de analiză cinematică și modele statistice care pot fi utile în evaluarea clinică a mișcărilor apărute în articulaţia şoldului pe durata activităților de zi cu zi. Metodă statistică oferă o metodă de optimizare neinvazivă pentru o estimare mai exactă a centrului articulaţiei șoldului.

**Capitolul 4: Analiza computerizată a influenţei parametrilor geometrici asupra performanţei implanturilor** este structurat în trei subcapitole şi descrie metodologia folosită în simulările matematice realizate.

Optimizarea componentei acetabulare a protezelor totale de șold reprezintă o sarcină extrem de complexă în care mulţi dintre factorii de design individuali au un impact asupra sistemului. Efectul combinat al variabilităţii parametrilor geometrici este greu de prezis, astfel au fost necesare simulări computaţionale separate pentru a evalua comportamentul prospectiv. Obiectivele acestui studiu au fost acelea de a avea o înțelegere mai bună a efectului orientării componentei acetabulare în timpul THR, precum și evaluarea influenței geometriei insertului acetabular asupra magnitudinii şi distribuţiei tensiunilor periprotetice.

Primul Subcapitol descrie protocolul urmat pentru obţinerea modelelor geometrice. Un model de tridimensional al unui hemipelvis uman a fost reconstruit pornind de la scanările obţinute prin tomografiere computerizata (CT). Imaginile 2D discrete au fost transformate în volume tridimensionale, folosind instrumentele oferite de programul de procesare al imaginii Mimics 10.01. Modelul astfel obținut va servi pentru realizarea unor ansambluri funcționale virtuale, cu diferiţi parametrii geometrici, pentru a fi supuse analizei numerice cu element finit.

Studiul explică pașii utilizaţi pentru a genera și valida modele 3D cu element finit adecvate pentru analize specifice, în scopul de a înțelege comportamentul la interfața os-proteza după THR.

Subcapitolul 4.2 explică pașii utilizaţi pentru a genera o modele 3D cu element finit ale ansamblului os-proteză, atunci când implantul este poziționat în diferite orientări definite de înclinarea și anteversia componentei acetabulare.

Studiul utilizează simulări cu element finit pentru a analiza tiparul tensiunilor și distribuția presiunilor de contact în cavitatea acetabulară reconstruită și preparată folosind încărcări care imită cele observate în timpul mersului normal.

În plus faţă de reconstrucţia 3D şi simulările matematice cu element finit, studiul abordează utilizarea proiectării de experimente factoriale (DOE) cu scopul de a facilita identificarea celor mai importanţi factori în comportamentul biomecanic a componentelor protetice şi a prezice cea mai bună configuraţie a orientării spaţiale a unghiurilor acetabulare în limitările zonei de siguranţă definite de Lewinnek, minimizând maximele presiunilor de contact.

Analiza datelor prin metoda suprafeţei de răspuns sugerează că magnitudinea presiunilor periarticulare este semnificativ redusă de către unghiul de anteversie la cea mai scăzută valoare a sa, precum și unghiul de înclinare situat la valoarea sa centrală, ceea ce corespunde unei poziţionări optime componentei acetabulare de 40 ° înclinare și 5 ° anteversie.

În plus, o metodă matematică a fost dezvoltată pentru a permite o poziționare optimă a componentei acetabulare. Relaţia matematică a modelului experimental conţine toată informaţia obţinută în urma experimentării factoriale.

În Subcapitolul 4.3 presiunile de contact generate de utilizarea a diferite geometrii de inserturi acetabulare au fost analizate utilizând metoda elementului finit. Modelele implanturilor au constat din cupe acetabulare semisferice echipate cu inserturi acetabulare clasice şi modele care prezintă perete antiluxatie.

Rolul biomecanic al geometriei insertului acetabular a fost descris cu ajutorul unui model matematic tridimensional. Modelele rezultate au fost încărcate pentru a simula solicitările apărute în articulaţia şoldului în timpul activităților de rutină.

Tensiunile echivalente Von Misses și presiunile de contact apărute la interfața os-implant au fost analizate considerând efectului trei scenarii diferite de încărcare (mers normal, urcat şi coborât scări) pentru evidențierea schimbărilor provocate de implantare.

Analizând rezultatele simulării se observă că o creștere a unghiului de teșire contribuie la o distribuție mai uniformă a tensiunilor și, în consecinţă la o scădere a presiunilor de contact de vârf. Acest lucru sugerează că designul caracteristic al inserturilor acetabulare poate optimiza distribuția presiunilor de contact în articulația șoldului.

Rezultatele acestui studiu oferă informații utile pentru pre-testarea clinică a protezelor totale de șold. În special, este de interes clinic înțelegerea comportamentului distribuției și magnitudinii tensiunilor la interfața implant-os ca rezultat al variaţiei orientării componentelor, precum și efectul geometriei acestora. Remodelarea adaptivă a ţesutului osos periprotetic în zona acetabulara după artroplastie necimentată de şold ar putea fi redusă cu ajutorul unui poziţionări și design adecvate.

Activitățile viitoare de cercetare vor implica utilizarea prezentei tehnici cu diferite modele de componente acetabulare și orientări spațiale, și compararea acestor modele cu un design semisferic convențional, precum și dezvoltarea unei simulări dinamice cu scopul de a obține scenarii mai realiste de încărcare.

**Capitolul 5: Testări mecanice a implanturilor acetabulare** este format din trei subcapitole şi prezintă metodologiile experimentale utilizate pentru evaluarea performanţelor implantului şi influenţa parametrilor geometrici în comportamentul şi stabilitatea cupelor acetabulare. Scopul acestui studiu experimental a fost de a estima gradul adecvat de supradimensionare a componentei press-fit care să asigure o fixare mecanică iniţială suficientă, fără a creşte riscul apariţiei fracturilor interpretatorii.

Factori cum ar fi calitatea scăzută a ţesutului osos datorat vârstei sau a unei patologii ar putea influența atât fixarea inițială cât și stabilitatea pe termen lung a THR. În astfel de cazuri, deteriorarea și reducerea proprietăților țesutului osos ar putea crește semnificativ riscul de apariţie al fracturilor sau stabilitatea implantului. Scopul studiilor prezentate în acest capitol a fost de a dezvolta instrumente interpretatorii care ar putea ajuta chirurgii în a evalua cantitatea de forță necesară impactării și gradul de stabilitate primară realizată de presarea componentei acetabulare în timpul intervenţiei chirurgicale, având în vedere variabilitatea calităţii substratului osos.

Prin urmare, dezvoltarea unui model sintetic care sa imite țesutul osos spongios uman a fost extrem de necesar pentru a obține de bază de testare uniformă si disponibila. În Subcapitolul 5.2 substitute osoase, compuse din spume poliuretanice au fost testate pentru două densități diferite cu scopul de a valida utilizarea lor ca analog al ţesutului osos spongios în încercări mecanice. Metodologia a urmat liniile directoare ale standardelor ASTM, fiind efectuate teste referitoare la densitatea aparentă, rezistenţa la compresiune și smulgerea șuruburilor.

Rezultatele au indicat că spumele poliuretanice de 0,25 şi 0,34 g/cm3 densitate, simulând ţesut osos spongios normal și de înaltă calitate, indeplinesc criteriile necesare pentru utilizarea în testări de dispozitive și instrumente ortopedice.

În Subcapitolul 5.3 au fost descrise materialele și metodologia de impactare a unei componente acetabulare supradimensionate.

Cupe acetabulare disponibile comercial au fost presate cu o diferenţă diametrală (press-fit) de 1 și 2 mm în cavităţi semisferice preparate în exemplare de spumă poliuretanică de două densități diferite. Impactarea cupelor acetabulare s-a realizat cu ajutorul unei tije filetate personalizate, care a fost proiectată pentru a obţine o fixare sigură şi rapidă a cupei la maşina de testare Instron 8874.

Forțele necesare pentru o aşezare completă a cupelor în cavitaţiile frezate au fost investigate. Încărcările de tip impact triangular apărute în cazul loviturilor de ciocan au fost înlocuite cu o solicitare continuă, ansamblul generat fiind supus la compresie uni-axială în care forţa de compresie este mărită progresiv menţinând viteza de deplasare constantă.

Ulterior, în Subcapitolul 5.4, stabilitatea primară a fiecărei cupe presate a fost investigată prin măsurarea încărcărilor maxime apărute în testarea mecanică prin aplicarea unei încărcări tangenţiale (lever-out test). Astfel, forţa de eşec al implanturilor a fost stabilită că încărcarea maximă apărută pentru o deplasare a cupei cu 3 mm faţă de poziţia iniţială.

Analiza varianţei a arătat diferențe semnificative statistic pentru ambele efectele principale studiate, gradul de interferenţă diametrală și densitatea materialului.

Rezultatele acestui capitol sugerează că gradul de supradimensionare a componentei acetabulare este benefică pentru stabilitatea primară, atâta timp cât calitatea substratului osos nu este optim și necesitatea creșterii fixării depășește riscurile legate de o forţă de impactare crescută. Din punct de vedere clinic, rezultatele experimentale obținute confirmă potențialele probleme asociate cu supradimensionarea componentei acetabulare în raport cu suprafața acetabulara preparată, deoarece utilizarea unei cupe supradimensionate necesită forțe de impactare dificil de realizat manual, ceea ce poate duce la aşezare necorespunzătoare și a unui risc crescut de apariţie a fracturilor. Astfel, gradul de interferenţă diametrală trebuie ajustată în funcție de calitatea osoasă a fiecărui pacient în parte.

În plus, reprezentarea grafică a dependenţei funcţionale, numită suprafaţă de răspuns, a fost folosită pentru a prezice toate combinaţiile posibile de factori din regiunea experimentală pentru identificarea şi caracterizarea punctul de optim statistic al răspunsului cu obiectivul de a minimiza astfel forţa necesară impactării, maximizând în același timp stabilitatea fixării mecanice iniţiale.

Densitatea osoasă crescută prezintă o corelație pozitivă cu creşterea gradului de press-fit, precum și creşterea forței necesare pentru inserarea cupei acetabulare. Acest fenomen este vizibil de-a lungul întregii încărcări, și este mai pronunțată în cazul interferenţei de 2 mm. Cu toate acestea, este interesant de observat că aproximativ aceeași calitate a fixării se poate realiza cu 1 mm de interferenţă, coroborat cu un substrat osos mai dens.

**Capitolul 6: Concluzii. Contribuții personale. Direcții viitoare în cercetare** prezintă pe scurt concluziile cercetărilor realizate, contribuţiile personale şi direcţiile viitoare de cercetare.

**Cercetarea prezintă patru noutăţi principale:**

- Utilizarea tehnicilor de regresie statistică pentru a dezvolta o metodă matematică de corecție pentru o mai bună definire a reperelor anatomice în analiza tridimensională a mersului atunci când se utilizează metode neinvazive de estimare a centrelor articulare;

- Cercetarea s-a concentrat pe atât pe parametrii de design, de exemplu geometria insertului şi gradul de press-fit a componentelor, cât şi asupra poziţionării și calităţii osului din jurul componentei acetabulare. Toţi parametrii geometrici consideraţi s-au dovedit a avea o influență specifică asupra performanței implanturilor, putând fi astfel optimizate;

- Utilizarea unui model factorial care a permis studiul efectelor fiecărui parametru de orientare asupra variabilelor de răspuns, mai exact tensiunile periprotetice, precum și efectele interacțiunilor dintre factorii de influenţă. Mai mult decât atât, această metodă a ajutat la reducerea numărului de repetări experimentale și, alături de analiza varianţei și a regresiei, oferă posibilitatea de predicție și optimizare a orientării componentei acetabulare;

- Metodologia prezentată în capitolul 5 s-a dovedit a avea o capacitate mare de a îmbunătăți predicția preclinică a supraviețuirii implantului. Analiza combinată a influenței a doi parametrii studiaţi, de calitate a ţesutului osos și interferenta diametrală asupra stabilităţii primare a componentelor acetabulare folosind materiale cu structura uniformă ca înlocuitor pentru osul natural și aparatură de testare servo-hidraulică este unic pentru domeniul biomedical. Odată validată, metoda experimentală propusă ar putea fi folosită pentru a prezice riscul de deteriorare intraoperatorie a osului periprotetic când este cunoscută calitatea osului. Acest lucru permite chirurgului ajustarea gradului de supradimensionare a componentelor pentru a asigura fixarea mecanică intraoperatorie optimă și, prin urmare prelungi durata de viață protezei.

**Direcții viitoare de cercetare**

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 conţine înregistrări ale mișcărilor membrelor inferioare atât pentru subiecți sănătoși cât şi cu implanturi, de ambele sexe şi vârste diferite, pentru a genera o metodă matematică mai complexă de estimare a centrului articular;
* Includerea a diferite modele de componente acetabulare și orientări spațiale în analiza cu element finit a modelului 3D generat. Deasemenea, acesta poate fi supus la o serie de condiții de încărcare mai aproape de cea fiziologică, cum ar fi simulări dinamice și teste oboseală, cu scopul de a obține scenarii mai realiste de încărcare;
* Proiectarea și realizarea unor noi modele de componente acetabulare, cercetarea de față oferind o bază teoretică pentru optimizarea performanţelor acestora.

**Valorificarea rezultatelo****r**

Cercetările ştiinţifice realizate pe parcursul stagiului doctoral au condus la publicarea a 6 lucrări în volumele unor conferinţe naţionale şi internaţionale şi volumele unor reviste de specialitate:

* 4 lucrări publicate în volumele unor conferinţe internaţionale - ISI Proceedings;
* 1 lucrări publicate în volumele unor conferinţe internaţionale - în curs de indexare ISI;
* 1 lucrare publicată în volumul unei conferinţe internaţionale din străinătate, cu comitet de recenzie, fără cotaţie.