

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„CAROL DAVILA” BUCUREȘTI
SCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL ORTOPEDIE-TRAUMATOLOGIE**

*Considerații biomecanice în fracturile de masiv
trohanterian – O analiză a principalelor tipuri de
fracturi și metode de tratament*

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. BARBILIAN ADRIAN

Student-doctorand:

KLEIN FABIAN CHRISTOPH

2020

Cuprins

Lista lucrărilor publicate în cadrul studiilor doctorale.....	pagina 5
Lista abrevierilor și simbolurilor.....	pagina 6
Introducere.....	pagina 7
I Partea generală.....	pagina 12
1. Epidemiologia fracturilor femurului proximal.....	pagina 12
1.1. Economia fracturilor de șold.....	pagina 12
1.2. Date despre prevalență.....	pagina 13
1.3. Morbiditate și mortalitate.....	pagina 20
2. Anatomia, imagistica și clasificarea fracturilor de masiv trohanterian.....	pagina 24
2.1. Anatomia femurului proximal.....	pagina 24
2.1.1. Structurile osoase.....	pagina 24
2.1.2. Mușchii.....	pagina 27
2.1.3. Vascularizația.....	pagina 31
2.2. Imagistica în fracturile de masiv trohanterian.....	pagina 35
2.3. Clasificarea fracturilor trohanteriene.....	pagina 38
3. Tratamentul fracturilor de masiv trohanterian.....	pagina 42
3.1. Evoluția tratamentului fracturilor trohanteriene.....	pagina 42
3.2. Tratamentul actual.....	pagina 46
3.2.1. Tratamentul funcțional / non-chirurgical.....	pagina 46
3.2.2. Tratamentul chirurgical.....	pagina 47
II. Contribuții personale	
4. O analiză biomecanică a fracturilor de masiv trohanterian....	pagina 55
4.1. Introducere.....	pagina 55
4.2. Metoda analizei cu element finit.....	pagina 57
4.2.1. Cum răspund structurile osoase la stres.....	pagina 57
4.2.2. Dimensionarea corectă.....	pagina 60
4.2.3. Capturarea geometriei 2D.....	pagina 61
4.2.4. Capturarea geometriei 3D.....	pagina 61
4.2.5. Conversia datelor CT la modelele FE.....	pagina 62
4.2.6. Discretizarea.....	pagina 63
4.3. Material și metode.....	pagina 64

4.3.1. Obținerea imaginilor.....	pagina 64
4.3.2. Reconstrucția femurului.....	pagina 65
4.3.3. Segmentarea.....	pagina 67
4.3.4. Analiza FEA a femurului.....	pagina 68
4.4. Rezultate.....	pagina 74
4.4.1. Scenariul 1.....	pagina 74
4.4.2. Scenariul 2.....	pagina 80
4.4.3. Scenariul 3.....	pagina 87
4.5. Discuții.....	pagina 94
5. Studiu comparativ între implanturile cefalo-medulare și plăcile cu compresie dinamică utilizate în tratamentul fracturilor masivului trohanterian în practica Spitalului Clinic de Urgență București	pagina 97
5.1. Introducere.....	pagina 97
5.2. Material și metode.....	pagina 99
5.3. Rezultate.....	pagina 102
5.4. Discuții.....	pagina 114
6. Tratamentul complex al unei fracturi de energie înaltă a femurului proximal la un adult tânăr.....	pagina 116
6.1. Prezentare de caz.....	pagina 117
6.2. Discuții.....	pagina 122
7. Concluzii finale.....	pagina 124
Bibliografie.....	pagina 129
Anexe.....	pagina 147

Considerații asupra problemei fundamentale

Fracturile de masiv trohanterian reprezintă la nivel global una dintre cele mai întâlnite patologii traumatologice ale aparatului locomotor. Cu o incidență crescută mai ales în rândul populației vârstnice, această patologie exercită un stres major asupra sistemelor de sănătate, fiindu-i asociate costuri considerabile, precum și un procent crescut de morbiditate și mortalitate. O bună înțelegere a mecanismului de producere, precum și o analiză a tratamentului actual este necesară pentru a îmbunătăți abordarea viitoare a acestui tip de fractură.

Formularea ipotezei de cercetare

Prezenta lucrare se bazează pe două studii distincte:

Primul studiu presupune utilizarea analizei cu element finit pentru o mai bună înțelegere a mecanismelor de producere a fracturilor de masiv trohanterian, comparând 3 scenarii diferite ce doresc a simula circumstanțele cele mai întâlnite în cazul traumatismelor ce produc astfel de fracturi.

Al doilea studiu analizează cele mai uzuale metode de tratament la nivelul unui centru specializat în traumatologie. În acest sens, s-a pus un accent deosebit pe factorii ce ilustrează o bună funcționare a sistemului de sănătate (numărul de zile de spitalizare și costul asociat tratamentului fiecărui pacient în cursul unui an calendaristic).

Obiectivele cercetării

1. Crearea unui model tridimensional al femurului uman pentru testarea mecanică teoretică.
2. Elaborarea unor scenarii de simulare a traumatismelor ce se întâlnesc cel mai frecvent în fracturile de masiv trohanterian.
3. Realizarea unui studiu experimental, aplicând metoda analizei cu element finit, plecând de la modelul și scenariile concepute anterior.

4. Analiza rezultatelor obținute prin studiul experimental pentru evaluarea unor eventuale relații între mecanismul traumatismului și tipul de fractură
5. Realizarea unui studiu retrospectiv cuprinzând cazuistica fracturilor trohanteriene dintr-un centru specializat în traumatologie, punând accent pe analiza economico-sanitară.
6. Evaluarea rezultatelor în vederea propunerii unor metode de îmbunătățire a indicatorilor esențial pentru buna funcționare a sistemului sanitar.

Aspecte privind metodologia cercetării

Primul studiu din cadrul lucrării de doctorat se bazează pe folosirea analizei cu element finit pentru a observa comportamentul femurului proximal, supus la o serie bine definită de stresuri mecanice. Analiza elementului finit este o tehnică care reconstruiește stresul, tensiunea și deformarea în structuri. Metodologia sa se bazează pe reprezentarea unei structuri ca o serie de probleme discrete care sunt ușor de rezolvat prin analiza matematică.

Pentru acest studiu s-a reconstituit virtual un femur uman, pornind de la imagini obținute prin tomografie computerizată. Aceste imagini brute au fost prelucrate cu o serie de programe specifice de tip CAD (Computer Assisted Design) pentru a obține în final un model de înalta fidelitate ce a fost supus testării mecanice teoretice.

Pentru simularea diferitelor traumatisme des întâlnite în fracturile de masiv trohanterian, s-au elaborat 3 scenarii ce au presupus: a) un impact lateral direct în zona marelui trohanter, b) un impact în zona postero-laterală a marelui trohanter și c) un impact la nivelul condiliilor femurali.

Pe baza acestor scenarii s-au creat testările specifice folosind metoda elementului finit cu ajutorul software-ului specializat.

Al doilea studiu cuprins în lucrare a constat în crearea unui studiu retrospectiv de tip cohorta pentru toate cazurile internate și tratate pentru fracturi de masiv trohanterian prin Clinica de Ortopedie și Traumatologie a Spitalului Clinic de Urgență București în perioada cuprinsă între 1 Ianuarie și 31 Decembrie 2015

Prima etapă a constat în identificarea pacienților internați în cadrul spitalului în perioada de interes. Pentru aceasta, s-a folosit sistemul informatic de management al spitalului – „Hippocrate”

Etapa a doua a constat în crearea unei baze de date cu cazurile identificate în etapa anterioară. Astfel, s-au extras informațiile necesare din sistemul informatic integrat al spitalului, din foile de observație clinică ale pacienților și din protocoalele operatorii. Baza de date finală a cuprins un număr de 282 pacienți.

Analiza statistică s-a realizat folosind software-ul specializat IBM SPSS 24, folosindu-se testele statistice specifice (testul T pentru eșantioane independente, testul Levene pentru egalitatea varianțelor, testul non-parametric Mann-Whitney U pentru eșantioane independente și testul pentru corelații bivariante, folosind coeficientul de corelație Pearson).

Sinteza capitolelor și rezultatelor

Partea generală a tezei de doctorat ce recapitulează stadiul actual al cunoașterii este împărțită în 3 capitole:

Capitolul 1 – Epidemiologia fracturilor femurului proximal. Acest capitol discută problematica fracturilor de femur proximal, analizând date precum: prevalență, morbiditate, mortalitate și implicații economice.

Capitolul 2 – Anatomia, imagistica și clasificarea fracturilor de masiv trohanterian. În cadrul capitolului se prezintă elementele anatomice ale șoldului (structurile osoase, mușchii și vascularizația), metodele de investigație imagistică folosite în practica curentă și sistemele de clasificare concepute pentru fracturile femurului proximal.

Capitolul 3 – Tratamentul fracturilor de masiv trohanterian. Prima parte a capitolului trece în revistă evoluția tratamentului fracturilor trohanteriene, de la primele tentative de tratament ortopedic, analizând totodată evoluția tratamentului chirurgical. În cea de-a doua parte a capitolului se analizează principalele tipuri de implanturi folosite în tratament, prin prisma principiilor de funcționare ale acestora.

Contribuțiile proprii cuprind un număr de 4 capitole:

Capitolul 4 – O analiză biomecanică a fracturilor de masiv trohanterian. Acest capitol constituie cercetarea teoretică bazată pe utilizarea analizei cu element finit. Capitolul cuprinde

o scurta introducere asupra analizei cu element finit, descrie metodologia de cercetare, rezultatele obținute și discuțiile aferente studiului.

Capitolul 5 - Studiu comparativ între implanturile cefalo-medulare și plăcile cu compresie dinamică utilizate în tratamentul fracturilor masivului trohanterian în practica Spitalului Clinic de Urgență București. Al doilea studiu al tezei de doctorat analizează tratamentul fracturilor de masiv trohanterian într-un centru specializat pe traumatologia ortopedica, punând accent pe factorii economico-sanitari. Capitolul este structurat astfel încât sa cuprindă o scurta introducere, metodologia folosită, rezultatele obținute și discuțiile aferente.

Capitolul 6 constă în prezentarea unui caz clinic pentru sublinierea importanței înțelegerii biomecanicii și metodelor de tratament în cazul fracturilor de masiv trohanterian.

Capitolul 7 reprezintă concluziile finale ale cercetării, contribuțiile proprii și perspectivele viitoare.

O analiza biomecanică a fracturilor de masiv trohanterian (Capitolul 4)

Acest studiu a constat în aplicarea testărilor mecanice teoretice utilizând metoda cu element finit asupra unei reconstrucții tridimensionale a femurului uman, respectând 3 scenarii distincte: Scenariul 1 - simularea unui impact lateral direct în regiunea trohanteriana.

Scenariul 2 - s-a aplicat forța de impact de la nivelul feței posterioare a marelui trohanter

Scenariul 3 - s-a simulat un impact la nivelul condililor femurali, forța aplicată fiind în axul mecanic al femurului.

Mesh-ul creat pentru testarea teoretică a constat dintr-un număr total de 22461 de elemente și 24139 de noduri, reprezentând o reconstrucție de înaltă fidelitate a femurului.

Proprietățile materiale ale osului au fost preluate direct din baza de date a programului folosit pentru testare, ce atribuie osului un modul de elasticitate (modulul lui Young) de 12,5 GPa și un coeficient de contracție laterală (coeficient Poisson) de 0,394.

Din datele obținute se observă o diferență marcată în distribuția stresului la nivelul femurului proximal în cadrul celor trei scenarii testate. Astfel, în cadrul primului scenariu teoretic testat,

ce presupunea simularea unei căderi laterale cu un impact direct la nivelul marelui trohanter stresul era maxim la nivelul joncțiunii dintre baza marelui trohanter și baza colului femural, cu extindere mare la nivelul regiunii colului și în mai mică măsură la nivelul masivului trohanterian. În cadrul celui de al doilea scenariu ce analiza un impact dintr-o direcție mai postero-laterală, acest stres era mai marcat la nivelul cortexului anterior și a regiunii intertrohanteriene, colul femural rămânând aproape neafectat. În ceea ce privește al treilea scenariu, tensiunile de oboseală cele mai mari se concentrau la nivelul joncțiunii cervico-diafizare a cortexului femural medial și se extindeau atât distal la nivelul regiunii subtrohanteriene, cât și proximal la nivelul regiunii intertrohanteriene și baza colului femural.

Scenariul 1

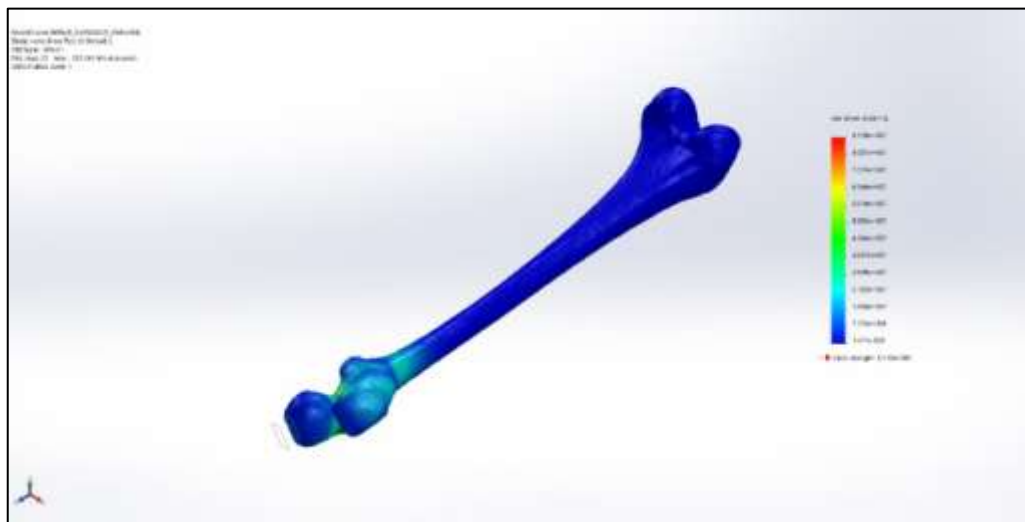


Fig. 4.10. Tensiunile de oboseală von Mises, scenariu 1

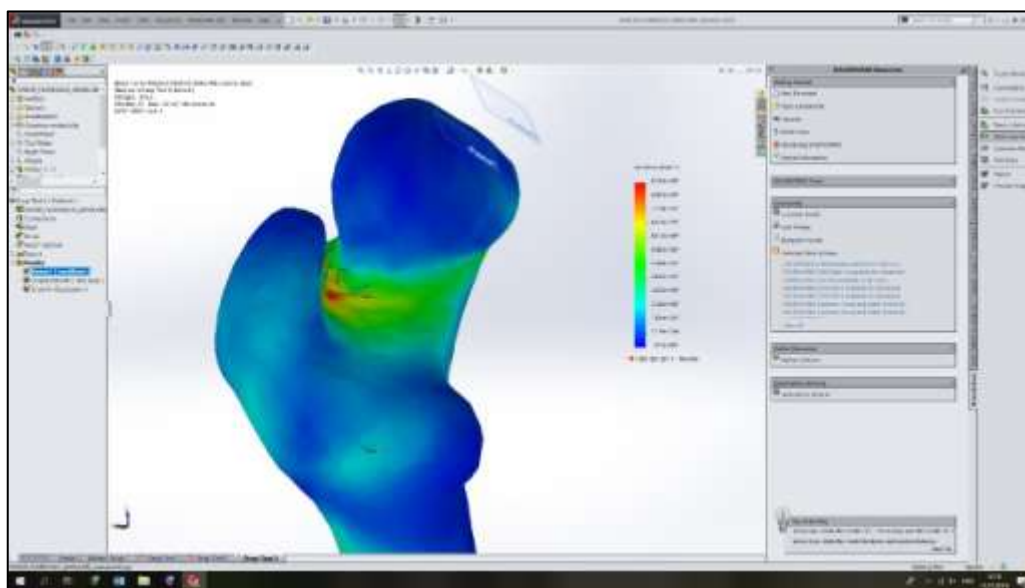


Fig. 4.11. - Tensiunile de oboseală von Mises, scenariu 1 – vedere de detaliu

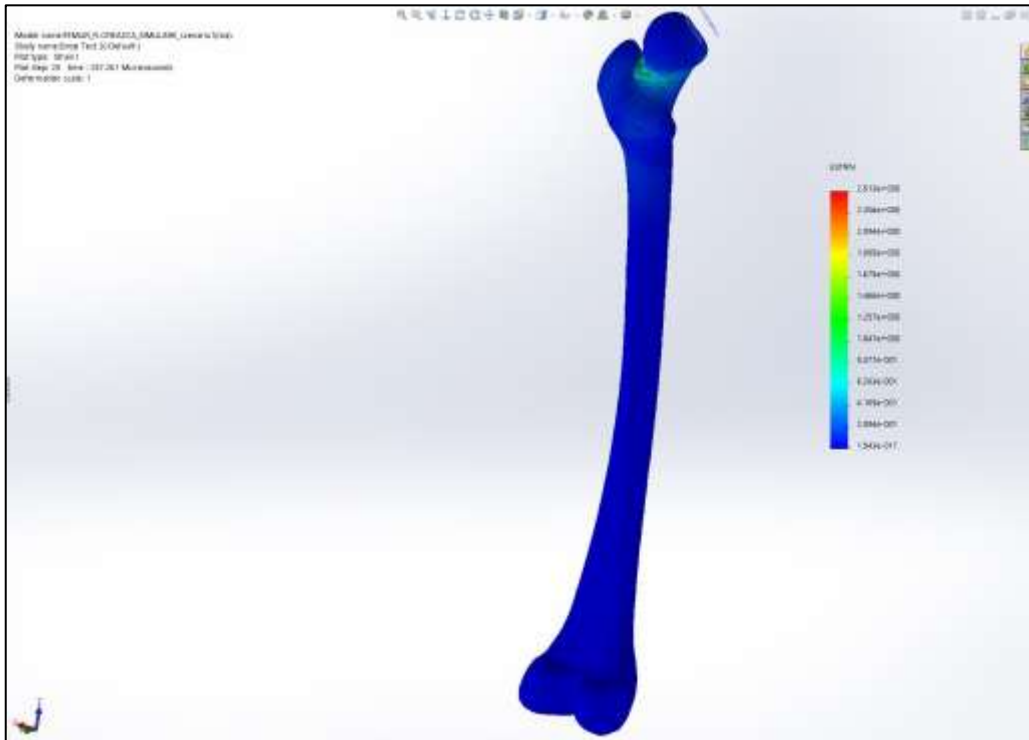


Fig. 4.14. - Deformarea echivalenta – scenariu 1, vedere de ansamblu

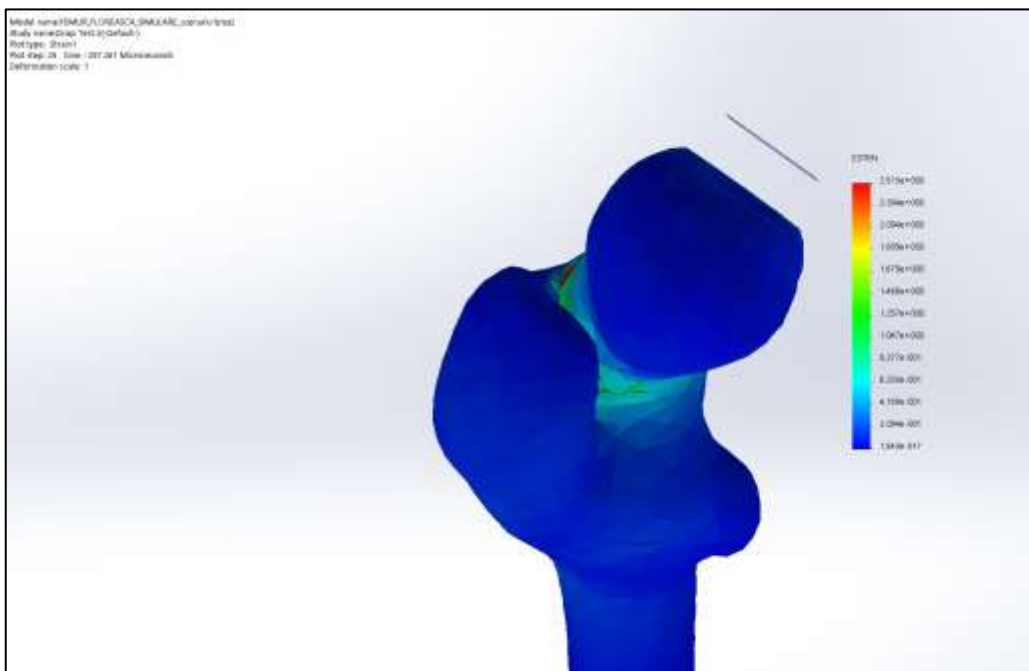


Fig. 4.15. - Deformarea echivalenta – scenariu 1, vedere de detaliu

Scenariul 2

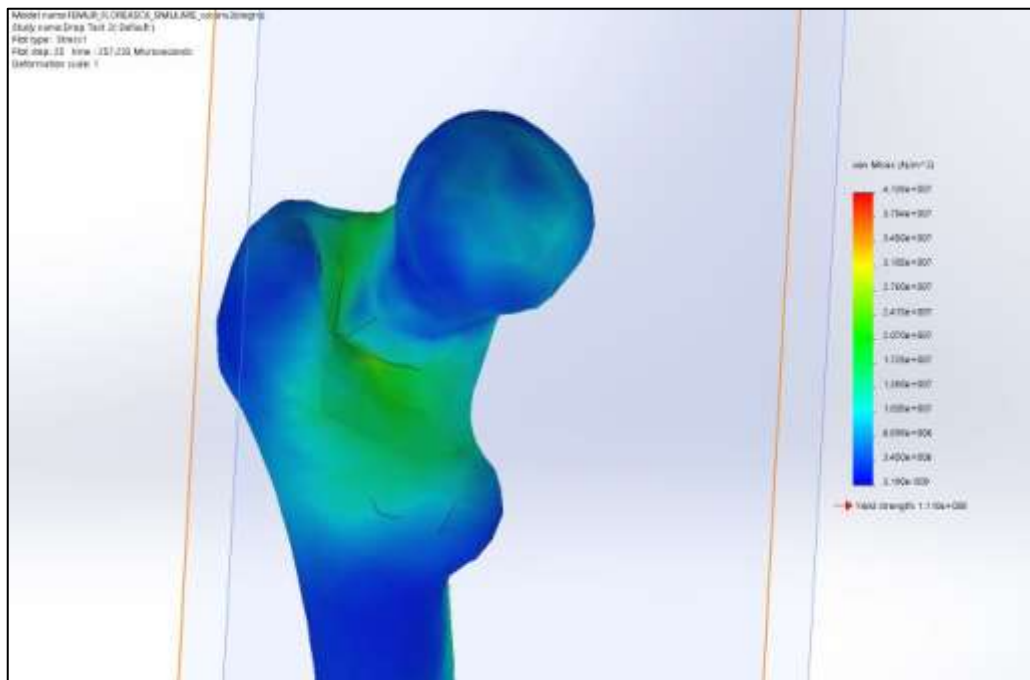


Fig. 4.17. - Tensiuni de oboseală von Mises, scenariu 2 – vedere de detaliu regiune trohanteriană posterioară

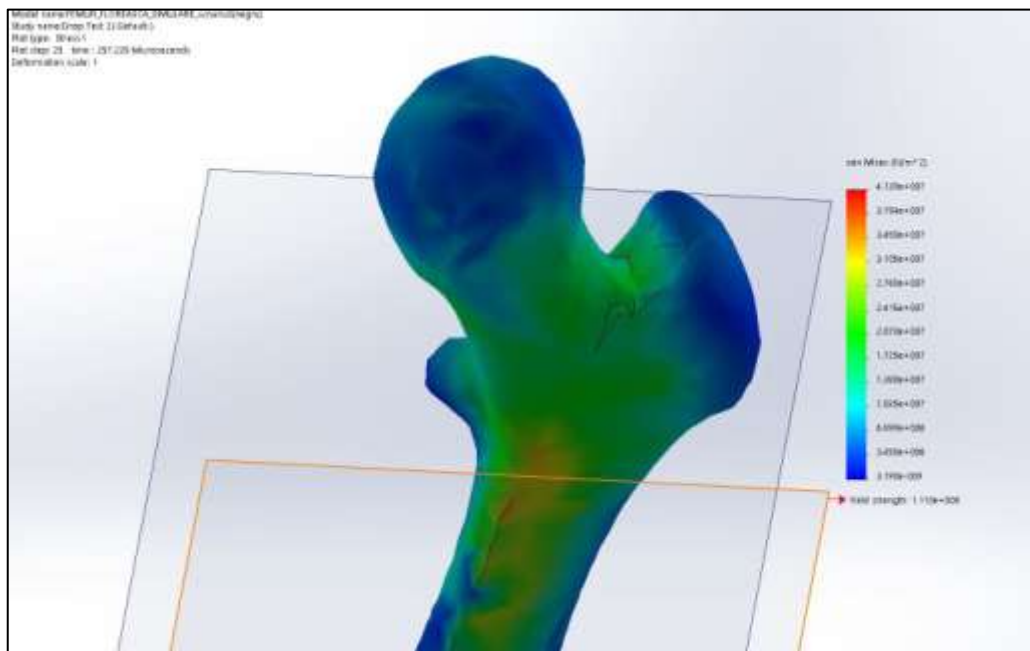


Fig. 4.18. - Tensiuni de oboseală von Mises, scenariu 2 – vedere de detaliu regiune trohanteriană anterioară

Scenariul 3

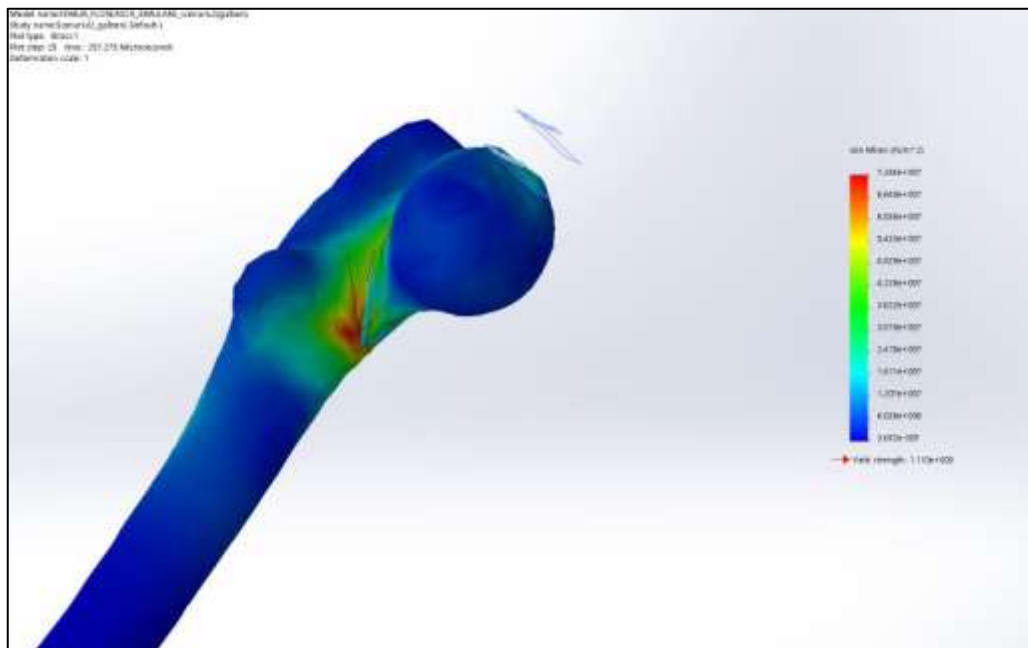


Fig. 4.26. - Tensiunile de oboseală von Mises, scenariul 3 – vedere de detaliu dinspre medial

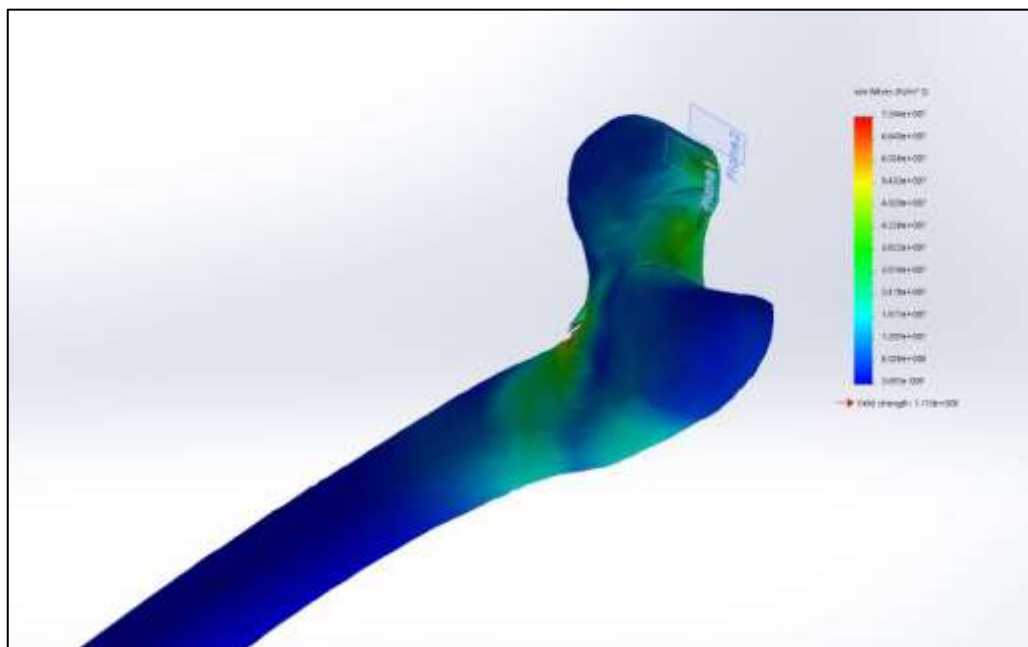


Fig. 4.27. - Tensiunile de oboseală von Mises, scenariul 3 – vedere de detaliu dinspre antero-lateral

Studiu comparativ între implanturile cefalo-medulare și plăcile cu compresie dinamică utilizate în tratamentul fracturilor masivului trohanterian în practica Spitalului Clinic de Urgență București (Capitolul 5)

Acest studiu s-a născut din dorința de a analiza tratamentul fracturilor trohanteriene într-o unitate sanitară cu o mare adresabilitate pentru astfel de cazuri, fiind selectat Spitalul Clinic de Urgență București. Astfel, s-au analizat cazurile internate pentru acest tip de fracturi pe parcursul unui an calendaristic – 2015 în unitatea sanitară.

În cadrul analizei acestor cazuri s-a pus accentul pe doi factori importanți pentru buna funcționare a sistemului de sănătate: 1. Numărul de zile de spitalizare, factor ce indică atât aspecte ce țin de morbiditate, cât și de buna funcționare a unității sanitare, și 2. Cheltuielile cu tratamentul fiecărui caz, ce ne arată impactul pe care îl au fracturile masivului trohanterian asupra sistemului public de sănătate. Astfel, s-a încercat evaluarea celor două tipuri de implant din perspectiva acestor indicatori, pentru a putea trage o concluzie asupra aspectelor economico-sanitare ce sunt legate de folosirea lor în tratamentul fracturilor de masiv trohanterian.

În acest sens s-au analizat prima oară datele legate de durata spitalizării în cele două loturi de pacienți, folosindu-se testul t pentru eșantioane independente. Media observată în cadrul grupului Gamma Nail a fost de 13,75 cu o deviație standard de 6,73 și o eroare standard de 0,66. În cadrul grupului DHS, media a fost de 12,89 cu o deviație standard de 4,67 și o eroare standard de 0,40. Observându-se o dispersie eterogenă în cadrul celor două eșantioane – testul Levene $F=9,63$, $p<0,05$, rezultatele testului t au fost: o valoare t de 1,725 cu 172,7 grade de libertate și o valoare $p=0,086$, astfel încât nu se poate respinge ipoteza nulă că durata spitalizării este asemănătoare la cele două eșantioane, la un prag de semnificație de 5%, neexistând destule dovezi pentru a sprijini ipoteza alternativă care spune că ar exista diferențe între duratele de spitalizare în cadrul celor două loturi.

Ca și în cadrul variabilei „durată spitalizare”, s-a aplicat tot testul t pentru eșantioane independente și pentru analiza variabilei „cost spitalizare”. În acest sens, cele două eșantioane au fost caracterizate astfel: grupul Gamma Nail a prezentat o medie de 6720,82, cu o deviație standard de 2884,23 și o eroare standard de 289,88, pe când grupul DHS a prezentat o medie de 5513,53 cu o deviație standard de 1820,27 și o eroare standard de 156,09. Dispersia în cadrul loturilor a fost de asemenea eterogenă, cu rezultatele testului Levene $F=16,56$ și

$p < 0,001$. În acest sens, rezultatele testului t au fost o valoare $t = 3,667$, cu 153,69 grade de libertate la o valoare $p < 0,001$. La pragul de semnificație de 5%, ipoteza nula care sugerează o asemănare a mediilor în cele 2 loturi poate fi respinsă, existând dovezi că există o diferență semnificativă statistic în cadrul celor două eșantioane. Astfel, se poate spune că costurile asociate tratamentului pacienților din lotul Gamma au fost în medie mai mari cu 1207,29 RON față de costurile asociate lotului DHS.

Ultima testare statistică inferențială a fost cea a corelației dintre cele două variabile analizate anterior – costul și durata spitalizării. Pentru această testare s-a ales metoda corelației bivariante ce folosește coeficientul de corelație Pearson pentru a măsura existența unei corelații lineare între cele două variabile. Rezultatele au fost cele așteptate teoretic, demonstrându-se o corelație lineară pozitivă între costul și durata spitalizării în cadrul celor două eșantioane analizate, obținându-se o valoare a coeficientului de corelație Pearson de 0.928 ($p < 0,05$). Se poate susține afirmația că există o creștere liniară a costului spitalizării odată cu creșterea duratei de spitalizare.

Tab. V.1 – Rezumatul analizei cazurilor

	DHS (n=137)	Gamma3 (n=104)	Non-chirurgical (n=31)
<i>Vârsta medie (ani)</i>	78,28	77,78	80,77
<i>Sex</i>	36 masculin / 101 feminin	34 masculin / 70 feminin	12 masculin / 19 feminin
<i>Parte</i>	71 dreapta / 66 stânga	63 dreapta / 41 stânga	18 dreapta / 13 stânga
<i>Durata medie a spitalizării (zile)</i>	13,45	14,47	6,22
<i>Media zilelor până la operatie</i>	3,06	3,38	-
<i>Media zilelor post- operatorii</i>	10,39	11,08	-
<i>Costuri medii cu spitalizarea (RON)</i>	3919,59	4306,62	1728,32
<i>Costuri medii cu medicamentele (RON)</i>	471,86	821,18	201,13
<i>Costuri medii cu materialele (RON)</i>	1360,39	2261,98	323,58

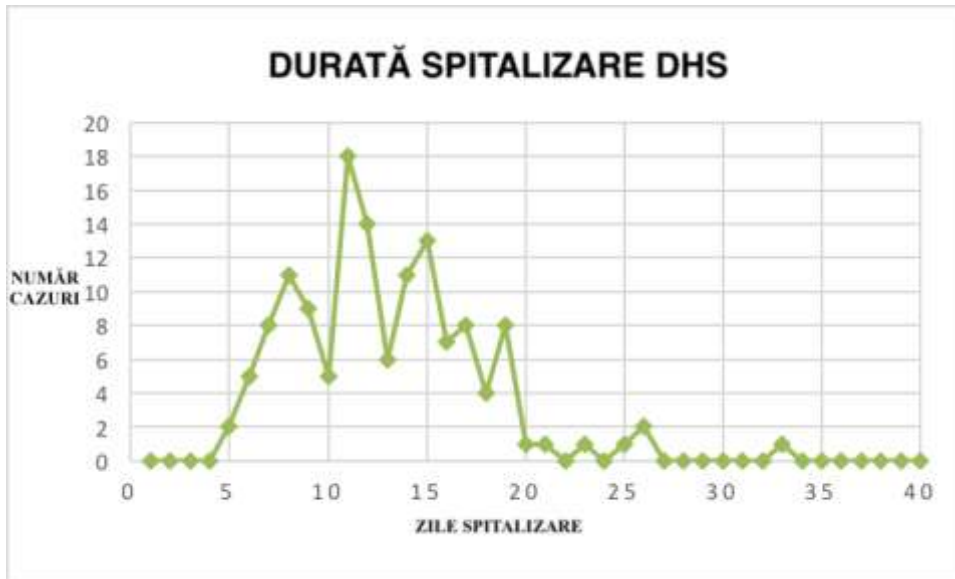


Fig. 5.6. – Durata de spitalizare DHS

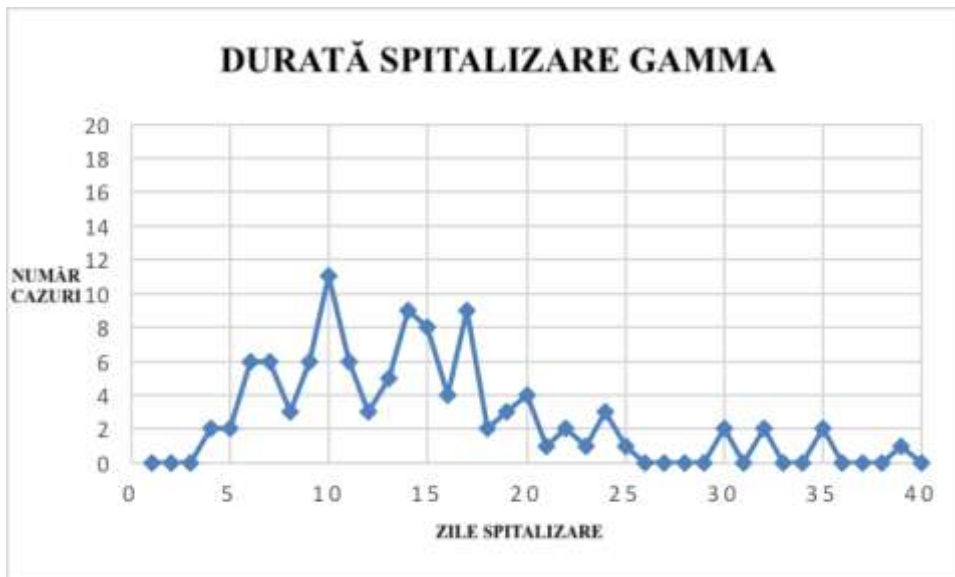


Fig. 5.7. – Durata de spitalizare Gamma Nail

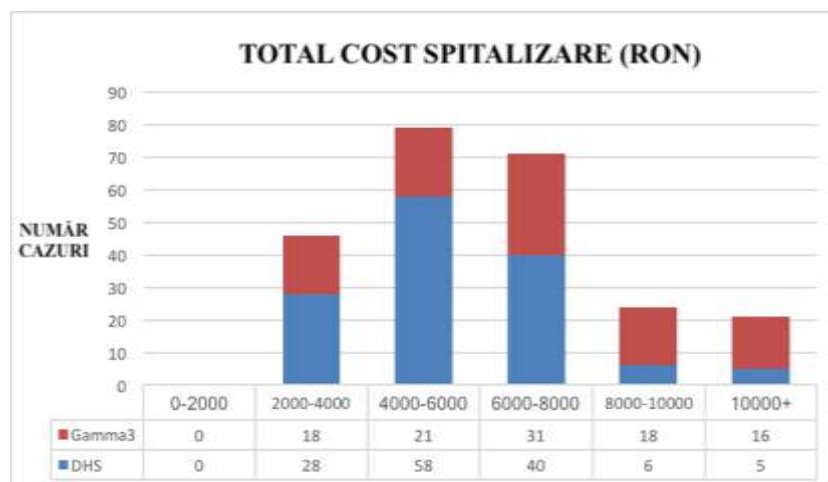


Fig. 5.8. – Costul spitalizării, RON/caz

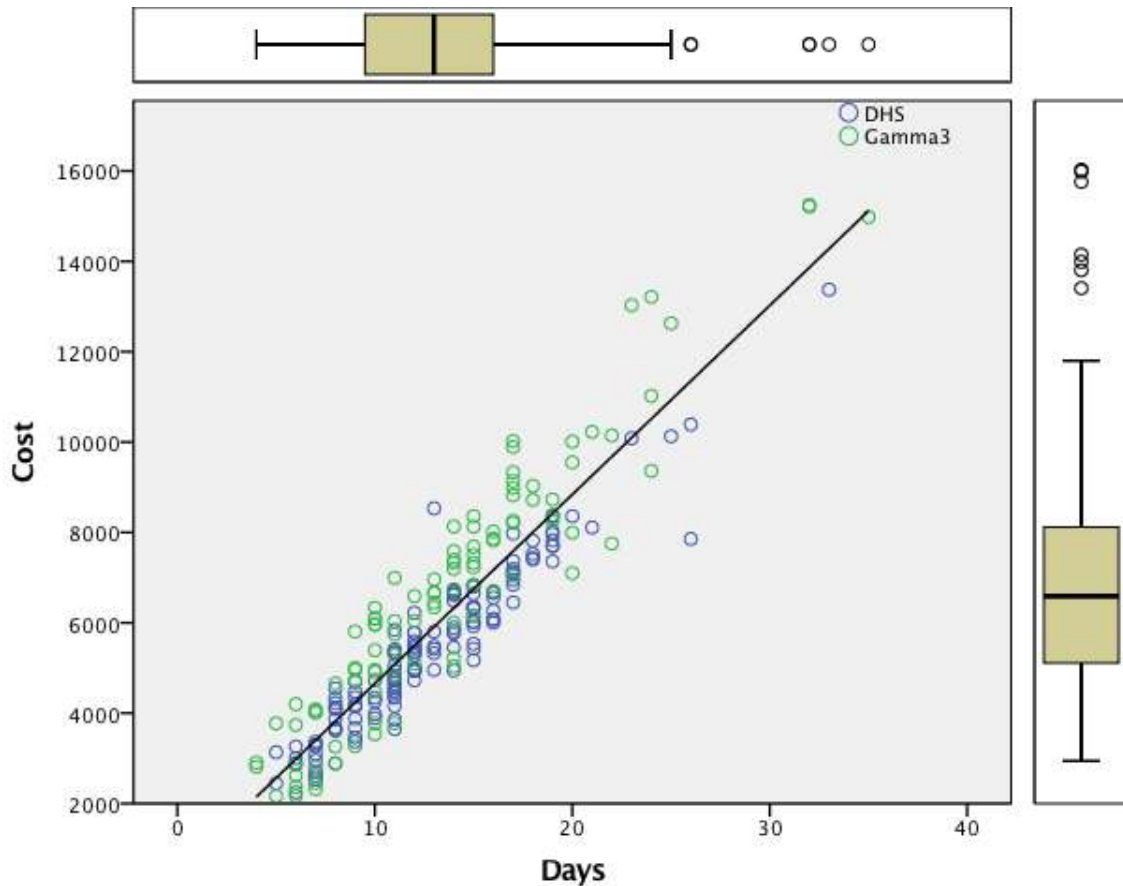


Fig. 5.10. - Reprezentare grafica a corelației cazurilor

Concluzii, perspective de cercetare și contribuții originale

Fracturile de la nivelul șoldului și îndeosebi cele ale masivului trohanterian femural, sunt și rămân unele dintre cele mai frecvente fracturi, mai ales în cadrul populației vârstnice. Această incidență importantă a unor astfel de patologii se traduce direct printr-un nivel ridicat de resurse necesare îngrijirii bolnavilor ce se prezintă în unitățile spitalicești pentru tratament.

Din punct de vedere economico-sanitar, acest lucru se traduce prin costuri mari și, implicit, un număr ridicat de zile de spitalizare. Pentru a contracara acest aspect, trebuie găsite soluții pe viitor în ceea ce privește eficientizarea tratamentului, mai ales în perioada postoperatorie, spre exemplu, prin crearea unor centre specializate în recuperarea acestor cazuri, în vederea reintegrării sociale timpurii a pacienților.

Cu toate că în ultimii ani, tendința generală este spre folosirea implanturilor intramedulare, nu există încă studii concludente care să arate beneficii nete ale acestora asupra implanturilor extramedulare mai ales dacă fractura este stabilă. De aceea se consideră încă, că alegerea implantului potrivit pentru tratamentul unei fracturi trohanteriene ține de preferințele operatorului și de particularitatea cazului

O bună înțelegere a biomecanicii fracturilor de șold, prin înțelegerea mecanismului de producere a acestora, poate ajuta clinicianul în luarea unei decizii cu vedere la tratament în cel mai scurt timp posibil. Astfel se poate optimiza tratamentul în vederea unei intervenții rapide și unei spitalizări cât mai scurte, în vederea unei recuperări rapide a pacientului, pentru a asigura o calitate a vieții îmbunătățite și o reintegrare socială precoce, factori ce joacă un rol deosebit de important atunci când vorbim despre pacientul geriatric, principalul actor atunci când se discută despre fracturi ale femurului proximal.

Prezenta lucrare a încercat să sublinieze diferențele existente în producerea fracturilor de masiv trohanterian, având în vedere mecanismele ce duc la apariția acestora. Astfel s-a arătat că, din punct de vedere biomecanic, probabilitatea apariției unei fracturi ale femurului proximal depinde într-o mare măsură de caracteristicile traumatismului. Aceste caracteristici par să dicteze și felul unei eventuale fracturi, prin prisma diferențelor ce există la distribuția stresului la nivelul femurului proximal în diferitele scenarii. Această distribuție a fost evidențiată prin folosirea analizei cu element finit. Având în vedere că această abordare este pur teoretică, rămâne de corelat cu testări mecanice într-o cercetare ulterioară, în vederea validării rezultatelor obținute. Modelul teoretic propus de prezenta lucrare rămâne totuși o abordare de luat în considerare și pentru viitoare cercetări, având în vedere dificultatea de a recrea în practică toate, sau măcar o mare parte, dintre condițiile întâlnite atunci când vine vorba de un organism viu.

Cercetarea biomecanică din prezenta lucrare a dorit să deschidă calea unei abordări multidisciplinare în ceea ce privește problematica fracturilor de masiv trohanterian pentru început. Ea dorește să sublinieze beneficiile conlucrării dintre chirurgul ortoped pe de-o parte și inginer de cealaltă parte, pentru a putea aborda o problematică complexă ce se află la intersecția celor două domenii din prisma celor două puncte de vedere – cel ingineresc și cel medical. În vederea unui tratament optim al fracturilor în general, această colaborare dintre traumatolog și inginer trebuie dezvoltată, iar fiecare dintre actori trebuie să cunoască și punctul

de vedere al celuilalt, deoarece aceste două abordări sunt adesea fundamental diferite și trebuie aliniate în beneficiul bolnavului.

Cercetarea propusă de prezenta lucrare este doar un început în acest sens și se dorește a fi continuată în viitor. Prin metodele din ce în ce mai moderne ce le oferă cercetarea biomecanică se pot dezvolta noi modele pentru crearea unei înțelegeri mai aprofundate în domeniul traumatologiei aparatului locomotor, în vederea dezvoltării unor noi abordări în tratamentul acestor patologii. De asemenea înțelegerea modului de producere a fracturilor joacă un rol deosebit de important în dezvoltarea noilor metode de tratament și de prevenție a acestora, ceea ce va duce pe viitor la optimizarea managementului acestor cazuri

CONTRIBUTII PROPRII

Cele mai importante contribuții proprii la prezenta lucrare, ce contribuie și la caracterul de noutate a cercetării, sunt:

1. Crearea unui model cu element finit de înaltă calitate a femurului uman, bazat pe un examen CT a unui pacient viu, pentru a fi folosit în scopul analizei biomecanice.
2. Analiza biomecanică pe baza modelului creat a unor situații ipotetice considerate des întâlnite în apariția fracturilor de masiv trohanterian femural, în vederea unei mai bune înțelegeri a apariției și particularităților acestui tip de fracturi.
3. Studiu clinic ce cuprinde toți pacienții tratați pentru fracturi ale masivului trohanterian în cadrul unui centru de traumatologie cu mare adresabilitate, analizând comparativ diverse metode de tratament.
4. Analiza economico-sanitară pe baza studiului clinic ce subliniază importanța ce trebuie acordată acestei patologii și impactul ei asupra sistemului de sănătate.

BIBLIOGRAFIE (selectivă)

1. Metcalfe D. The pathophysiology of osteoporotic hip fracture. *Mcgill J Med.* 2008;11(1):51–57.
2. Cooper, C., Cole, Z.A., Holroyd, C.R. et al. Secular trends in the incidence of hip and other osteoporotic fractures *Osteoporos Int* (2011) 22: 1277.
3. Verettas DA, Galanis B, Kazakos K, Hatziyiannakis A, Kotsios E. Fractures of the proximal part of the femur in patients under 50 years of age. *Injury.* 2002;33(1):41–5.
4. J. A. Kanis & A. Odén & E. V. McCloskey & H. Johansson & D. A. Wahl & C. Cooper & on behalf of the IOF Working Group on Epidemiology and Quality of Life. A systematic review of hip fracture incidence and probability of fracture worldwide. *Osteoporos Int* (2012) 23:2239–2256
5. Nikkel, Lucas E. BA; Fox, Edward J. MD; Black, Kevin P. MD; Davis, Charles MD; Andersen, Lucille MD; Hollenbeak, Christopher S. PhD. Impact of Comorbidities on Hospitalization Costs Following Hip Fracture. *JBJS: January 4th, 2012 - Volume 94 - Issue 1 - p 9–17*
6. M. E. Wiktorowicz, R. Goeree, A. Papaioannou, J. D. Adachi, E. Papadimitropoulos. Economic Implications of Hip Fracture: Health Service Use, Institutional Care and Cost in Canada. *Osteoporosis International*, May 2001, Volume 12, Issue 4, pp 271–278
7. Ilona Nurmi, Arja Narinen, Peter Lühje, Salla Tanninen. Cost analysis of hip fracture treatment among the elderly for the public health services: a 1-year prospective study in 106 consecutive patients. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, December 2003, Volume 123, Issue 10, pp 551–554
8. Thomas M. Lawrence, Christopher T. White, Russell Wenn, Christopher G. Moran. The current hospital costs of treating hip fractures. *Injury*, Volume 36, Issue 1, January 2005, Pages 88-91.

9. Brauer CA, Coca-Perrillon M, Cutler DM, Rosen AB. Incidence and Mortality of Hip Fractures in the United States. *JAMA*. 2009;302(14):1573–1579.
10. Baker PN, Salar O, Ollivere BJ, et al. Evolution of the hip fracture population: time to consider the future? A retrospective observational analysis. *BMJ Open* 2014;4:e004405.
11. Gullberg, B., Johnell, O. & Kanis, J. World-wide Projections for Hip Fracture. *Osteoporos Int* (1997) 7: 407.
12. G.Holt, R.Smith, K.Duncan, J.D.Hutchison, D.Reid. Changes in population demographics and the future incidence of hip fracture. *Injury* Volume 40, Issue 7, July 2009, Pages 722-726
13. Nikkel, Lucas E.; Fox, Edward J.; Black, Kevin P.; Davis, Charles; Andersen, Lucille; Hollenbeak, Christopher S. Impact of Comorbidities on Hospitalization Costs Following Hip Fracture *JBJS*: January 4, 2012 - Volume 94 - Issue 1 - p 9-17
14. Moran, Christopher G., MD, FRCS(Ed); Wenn, Russell T., BA; Sikand, Manoj, MS, FRCS; Taylor, Andrew M., DM, FRCS. Early Mortality After Hip Fracture: Is Delay Before Surgery Important? *JBJS*: March 2005 - Volume 87 - Issue 3 - p 483-489
15. Braithwaite, R. S., Col, N. F. and Wong, J. B. (2003), Estimating Hip Fracture Morbidity, Mortality and Costs. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51: 364–370.
16. Keene GS, Parker MJ, Pryor GA. Mortality and morbidity after hip fractures. *BMJ*. 1993 Nov 13;307(6914):1248–1250
17. National Clinical Guideline Centre (UK). The Management of Hip Fracture in Adults [Internet]. London: Royal College of Physicians (UK); 2011. (NICE Clinical Guidelines, No. 124.) 4, Guideline summary.
18. Roberts, Karl C. MD; Brox, W. Timothy MD; Jevsevar, David S. MD, MBA; Sevarino, Kaitlyn. Management of Hip Fractures in the Elderly. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*: February 2015 - Volume 23 - Issue 2 - p 131–137

19. Gill JJ, Chin PC, Rafiei P, et al. Intertrochanteric hip fractures treated with the trochanteric fixation nail and sliding hip screw. *J Surg Orthop Adv* 2007;16(2):62-66.
20. Adams CI, Robinson CM, Court-Brown CM, et al. Prospective randomized controlled trial of an intramedullary nail versus dynamic screw and plate for intertrochanteric fractures of the femur. *J Orthop Trauma* 2001;15(6):394-400.
21. Anglen JO, Weinstein JN. Nail or plate fixation of intertrochanteric hip fractures: changing pattern of practice. A review of the American Board of Orthopaedic Surgery Database. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(4):700-707.
22. Ruecker AH, Rupprecht M, Gruber M, et al. The treatment of intertrochanteric fractures: results using an intramedullary nail with integrated cephalocervical screws and linear compression. *J Orthop Trauma* 2009;23(1):22-30.
23. Dalstra, M., R. Huiskes, et al. Development and validation of a three-dimensional finite element model of the pelvic bone. *J Biomech Eng*, 1995, 117(3): 272-8
24. Zienkiewicz OC, Taylor RL, Zhu JZ. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. 733 pp
25. Huiskes R, Chao EYS. A survey of finite-element analysis in orthopedic biomechanics—the first decade. *J. Biomech.* 1983. 16:385–409
26. Huiskes R, Hollister SJ. From structure to process, from organ to cell: recent developments of FE-analysis in orthopaedic biomechanics. *J. Biomech. Eng.* 1993. 115:520–27
27. Brekelmans WA, Poort HW, Slooff TJ. A new method to analyze the mechanical behavior of skeletal parts. *Acta Orthop. Scand.* 1972. 43:301–7
28. Rybicki EF, Simonen FA, Weis EB. On the mathematical analysis of stress in the human femur. *J. Biomech.* 1972. 5:203–15

29. Rab GT. An orthopaedist looks at finite element analysis. In *Finite Elements in Biomechanics*, ed. RH Gallagher, Simon BR, Johnson, PC, Gross JF, 1982. pp. 1–8. Chichester: Wiley & Sons
30. Beaupré GS, Carter DR. Finite element analysis in biomechanics. See Biewener 1992a, pp. 149–73
31. van Rietbergen B, Weinans H, Huiskes R, Odgaard A. A new method to determine trabecular bone elastic properties and loading using micromechanical finite element models. *J. Biomech.* 1995. 28:69–81
32. Carter DR, Beaupré GS. *Skeletal Form and Function*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 2001. 318 pp.
33. Carter DR, Mikic B, Padian K. Epigenetic mechanical factors in the evolution of long bone epiphyses. *Zoo. J. Linn. Soc.* 1998. 123:163–78
34. Reilly DT, Burstein AH. The elastic and ultimate properties of compact bone tissue. *J. Biomech.* 1975. 8:393–405

LUCRĂRILE ȘTIINȚIFICE PUBLICATE ÎN CADRUL STUDIILOR DOCTORALE

Articole publicate în reviste de specialitate:

1. **Fabian Klein**, Ioan Cristescu, Florin Safta, Daniel Vilcioiu. A Retrospective on the Treatment of Trochanteric Fractures of the Femur in the Bucharest Clinical Emergency Hospital in 2015. *Modern Medicine*. 2017, 24(2):88-93.
<https://medicinamoderna.ro/a-retrospective-on-the-treatment-of-trochanteric-fractures-of-the-femur-in-the-bucharest-clinical-emergency-hospital-in-2015/>
2. **Fabian Klein**, Florin Safta, Daniel Vilcioiu, Ioan Cristescu. Complex Treatment of a High-Energy Proximal Femur Fracture in a Young Adult – a Case Presentation. *Modern Medicine*. 2017, 24(3):146-150.
<https://medicinamoderna.ro/complex-treatment-of-a-high-energy-proximal-femur-fracture-in-a-young-adult-a-case-presentation/>

Lucrări prezentate la manifestări științifice organizate de asociații profesionale:

1. **Fabian Klein** – High energy trauma to the proximal femur in a young adult – a 30-month course of treatment for a complex fracture. Al XVII-lea Congres Național de Ortopedie și Traumatologie. 18-21 Octombrie 2017, Timișoara, România