

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE „CAROL DAVILA”  
PROGRAMUL DE PREGĂTIRE STUDII DOCTORALE



TEZĂ DE DOCTORAT  
REZUMAT

*Managementul fracturilor humerusului  
proximal la pacienții cu osteoporoză*

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC

PROF. UNIV. DR. DAN BARBU

DOCTORAND

MIHAELA ECATERINA RÎNJA

BUCUREȘTI 2017

1

UMF „Carol Davila”

Clinica de Ortopedie și Traumatologie, Spitalul Clinic de Urgență București

## Introducere

În ultimii 50 de ani, tratamentul fracturilor humerusului proximal a evoluat oferind o mai bună înțelegere atât a biologiei fracturii, cât și a biomecanicii implicate. Anterior, tratamentul non-chirurgical al acestor fracturi a fost asociat cu o importantă limitare a funcționalității și cu o scădere a calității vieții și posibilității de a munci.

Fracturile humerusului proximal dețin 5-15% din totalul fracturilor, majoritatea la pacienții în vârstă cu osteoporoză, reprezentând o cauză importantă de morbiditate.

Tratamentul fracturilor de col humeral la vârstnici ridică o serie de probleme legate de: creșterea incidenței acestora, gradul osteoporozei, implicațiile acesteia asupra stabilității implanturilor și costurile implicate în asigurarea unui tratament operator și postoperator adecvat.

**Scopul lucrării** este de a compara rezultatele funcționale postoperatorii obținute folosind două metode de osteosinteză utilizate pentru tratamentul chirurgical al fracturilor de humerus proximal: osteosinteza centromedulară – tija zăvorâtă și osteosinteza laterală cu placă blocată – PHILOS, aplicând scoruri de evaluare funcțională a stabilității umărului. De asemenea, au fost studiate implicațiile osteoporozei asupra stabilității implanturilor cu scopul de a se găsi corelații posibile între tipul de implant și evoluția recuperării.

## Importanța clinică a problemei abordate

Fracturile de humerus proximal la pacienții cu osteoporoză sunt printre cele mai devastatoare leziuni la vârstnici. Impactul acestor leziuni merge mult mai departe, dincolo de aceste considerații clinice imediate și se extinde în domenii de medicină, de reabilitare, psihiatrie, asistență socială și economie medicală.

Osteoporoză este cea mai frecventă boală metabolică a osului și reprezintă o cauză importantă de morbiditate la vârstnici. Osteoporoză este un termen folosit pentru un ansamblu de afecțiuni care au în comun reducerea masei osoase pe unitatea de volum și definește orice grad de fragilitate scheletică

ce ar putea crește riscul de fractură. Diminuarea masei osoase este rezultatul unui dezechilibru între procesele care guvernează acumularea și conservarea masei scheletice și nu se însoțește de o scădere semnificativă a raportului dintre faza minerală și cea organică, nici de anomalii ale matricei osoase organice sau minerale. Histologic, osteoporoza se caracterizează prin diminuarea grosimii corticalei osoase și a numărului și mărimii trabeculelor osului spongios.

Echilibrul normal între formarea de os și resorbție asigură conservarea masei osoase. Atunci când apare și se menține o diferență între ratele formării și resorbției, se ajunge la un punct critic, în care pierderea de substanță osoasă este atât de marcată, încât osul nu mai rezistă solicitărilor mecanice la care este supus, rezultând fractura.

De obicei, osteoporoza devine o problema clinică după o fractură.

Osteoporoza reprezintă o problemă atât prin prisma terenului fragil, pacientul fiind susceptibil la fractură, cât și prin calitatea osoasă scăzută, care face dificilă formarea de calus, scade stabilitatea implantului, întârzie recuperarea și crește riscul de pseudoartroză.

Mortalitatea și morbiditatea la pacienții vârstnici depind de doi factori principali: bolile asociate și rezistența organismului atât la procedeul operator și anestezie, cât și la complicațiile postoperatorii.

Fractura de humerus proximal este o leziune invalidantă în lipsa tratamentului chirurgical corespunzător, făcând imposibilă reluarea activităților cotidiene normale astfel scăzând extrem de mult calitatea vieții și posibilitatea de a munci.

Problema în tratamentul fracturilor de humerus proximal la vârstnici este agravată de creșterea incidenței acestora și de costurile implicate atât în asigurarea unui tratament operator adecvat cât și postoperator. Un alt aspect important îl reprezintă costurile ridicate ale materialelor de osteosinteză necesare.

Acestea împreună cu prezența durerii post-operator au ca rezultat o complianță scăzută a pacienților în timpul programului de reabilitare post-operatorie.

Obținerea unei libertăți de mișcare complete, criteriu atât de important pentru o reabilitare de succes, este frecvent întârziată la pacienții necooperanți.

## PARTEA GENERALĂ

### ***I. Osteoporoza***

**Osteoporoza** este cea mai frecventă boală metabolică a osului și reprezintă o cauză importantă de morbiditate la vârstnici.

Osteoporoza este un termen folosit pentru un ansamblu de afecțiuni care au în comun reducerea masei osoase pe unitatea de volum și definește orice grad de fragilitate scheletică ce ar putea crește riscul de fractură.

Histologic, osteoporoza se caracterizează prin diminuarea grosimii corticalei osoase și a numărului și mărimii trabeculelor osului spongios. Aceasta din urmă poate duce la perforarea trabeculelor și, prin urmare, la conectivitatea redusă a structurii osoase trabeculare.

Echilibrul normal între formarea de os și resorbție asigură conservarea masei osoase. Atunci când apare și se menține o diferență între ratele formării și resorbției, se ajunge la un punct critic, în care pierderea de substanță osoasă este atât de marcată, încât osul nu mai rezistă solicitărilor mecanice la care este supus, rezultând fractura.

Nu se cunosc toate cauzele pierderilor osoase legate de vârstă, dar s-au identificat numeroși factori de risc, precum rasa albă, sexul feminin, starea postmenopauză, sedentarismul, fumatul, consumul cronic de etanol, alimentația neadecvată (aportul excesiv de valențe acide în regimul alimentar hiperproteic), utilizarea prelungită de heparină.

#### **Screening-ul pentru osteoporoză**

Scopul screening-ului este de a identifica persoanele cu risc crescut de a dezvolta o fractură printr-un traumatism de intensitate scăzută și care ar putea beneficia de tratament pentru a minimiza acest risc.

Screening-ul pentru estimarea riscului de fractură presupune istoricul pacientului, examenul fizic, analize biochimice standard, precum și măsurarea densității minerale osoase (DMO). Istoricul trebuie să cuprindă întrebări despre posibilele cauze secundare ale pierderii de masă osoasă, inclusiv utilizarea de medicamente cu efecte adverse potențiale asupra calității oaselor și posibile antecedente familiale de osteoporoză. Analizele de laborator pot ajuta la identificarea cauzelor secundare de osteoporoză, hiperparatiroidismul, hipertiroidismul, sindromul Cushing, boli hepatice sau renale, menopauza precoce, sindromul de malabsorbție și afecțiuni ale țesutului conjunctiv. Astfel, cele mai multe afecțiuni generatoare de osteoporoză pot fi excluse fără investigații costisitoare. De asemenea, ar trebui abordați toți factorii de stil de viață ce contribuie la pierderea de masă osoasă, precum fumatul, consumul excesiv de alcool, sedentarismul și alimentația hiperproteică.

### **Evaluarea riscului de fractură**

Screening-ul pentru osteoporoză implică evaluarea riscului de fractură și măsurarea DMO. Cele mai multe fracturi survin la adulții care nu prezintă osteoporoză potrivit criteriilor DXA. Cu toate că persoanele cu osteoporoză prezintă cel mai înalt risc relativ de fracturi, cele mai multe survin la pacienții cu masă osoasă scăzută sau osteopenie (scor T între -1,0 și -2,5). De aceea, evaluarea factorilor de risc independenți de DMO sunt importanți pentru predicția probabilității de fracturi. Factorii de risc independenți de DMO validați sunt următorii:

- vârsta avansată
- fracturi în antecedente
- administrarea pe termen lung de glucocorticoizi
- greutate corporală scăzută (mai puțin de 58 kg)
- istoric familial de fracturi de șold
- fumatul
- consumul de alcool în exces

Dintre aceștia cei mai sugestivi factori de risc independenți de DMO sunt vârsta și antecedentele de fracturi produse de traumatisme de intensitate scăzută.

Se recomandă evaluarea factorilor de risc pentru fractură la toți adulții, în special femeile aflate la menopauză, bărbații cu vârsta peste 60 de ani și orice individ care prezintă o fractură în urma unui traumatism de intensitate scăzută.

### **Metode de evaluare a riscului de fractură**

În 2008, OMS a introdus o metodă de evaluare a riscului de fractură (FRAX), care estimează probabilitatea în următorii 10 ani pentru adulții fără tratament pentru osteoporoză de a dezvolta o fractură de șold sau alte tipuri de fracturi osteoporotice combinate (șold, coloana vertebrală, umăr sau încheietura mâinii) folosind factori de risc clinici cu sau fără informații asupra densității minerale osoase. FRAX a fost validată în 40 de cohorte.

## ***II. Biomecanica umărului***

Articulația umărului unește extremitatea liberă a membrului superior de centura scapulară având două **fețe articulare**: cavitatea glenoidă și capul humeral. *Capul humeral* este acoperit de cartilaj hialin, mai gros decât cel glenoidal și este aproximativ sferic, având raza de 30 mm. În partea superioară prezintă o mică depresiune în dreptul tuberculului mic, unde se inseră ligamentul glenohumeral. Axa capului humeral formează cu axa diafizei un unghi de 135°, iar cu planul frontal un unghi de 30° (unghiul de retrotorsie).

Capul humeral este separat de restul epifizei prin colul anatomic care formează un unghi de 45° cu planul orizontal. *Cavitatea glenoidă* este o formațiune ușor concavă și acoperită de cartilaj hialin. Ea este mărită de labrul glenoidal, o formațiune fibrocartilaginoasă aderentă la circumferința cavității glenoide. Pe secțiune, labrul glenoidal este triunghiular, cu baza spre cavitatea glenoidă; pe fața externă se inseră capsula articulară, iar fața internă privește spre articulație.

Umărul, cea mai mobilă articulație din corpul uman, are trei grade de libertate, lucru care permite deplasarea membrului superior în raport cu cele trei planuri în spațiu și cele trei axe principale:

1. Axa transversală controlează mișcările de flexie și extensie efectuate într-un plan sagital.
2. Axa antero-posterioară controlează mișcările de abducție și adducție efectuate într-un plan frontal.
3. Axa verticală controlează mișcările de flexie și extensie care au loc într-un plan orizontal, cu brațul în abducție la 90°.

În jurul axei lungi a humerusului apar două tipuri distincte de rotație laterală și medială a membrului superior:

1. Rotația voluntară, care depinde de al treilea grad de libertate și care poate avea loc doar în articulațiile triaxiale, produsă de către mușchii rotatori.
2. Rotația automată, care are loc fără mișcarea voluntară în articulațiile biaxiale sau chiar în articulațiile triaxiale, atunci când doar două dintre axe sunt în uz, aici apare paradoxul lui Codman.

Astfel umărul este o articulație cu trei axe principale și trei grade de libertate. Axul lung poate coincide cu oricare dintre aceste axe sau poate sta în orice poziție intermediară permițând astfel mișcarea de rotație laterală sau medială.

### ***III. Implicațiile osteoporozei asupra stabilității implanturilor***

Osteoporoza netratată afectează fixarea fracturii și formarea de calus, demonstrat în numeroase studii biomecanice experimentale care au evaluat diferite configurații de implanturi ortopedice, cum ar fi osteosinteza cu șuruburi, osteosinteza laterală și centromedulară, cu diferite moduri de încărcare.

Osteoporoza în sine nu afectează vindecarea fracturii ci, datorită diminuării suprafeței de contact dintre corticale, crește timpul necesar pentru a restabili osului rezistența mecanică necesară.

Mai mult decât atât, scăderea masei osoase reduce rezistența și stabilitatea dintre os și materialul de osteosinteză ceea ce poate duce la eșecul fixării și ulterior la vindecare întârziată sau pseudoartroză.

Migrarea șurubului de osteosinteză este una din complicațiile frecvent asociate cu o zonă de contact minimă între implantul ortopedic și osul cu densitate scăzută.

Tehnicile operatorii necesită modificări pentru a fi utile în tratamentul chirurgical al fracturilor pe os osteoporotic. Șuruburile trebuie plasate în zona cu cea mai bună calitate osoasă disponibilă, care este de obicei corticala opusă.

Înainte de a alege metoda de osteosinteză potrivită trebuie în primul rând să luăm în considerare creșterea calității vieții pacientului, alegerea unei metode de osteosinteză cu fixare stabilă și mobilizarea precoce.

Ca linii directoare putem avea câteva principii de bază, precum fixarea anatomică, implanturi cu preluarea forțelor, alegerea controlată a zonei de contact și a forței de compresie, plăcile cu stabilitate angulară cu un număr mai mic de șuruburi pentru o stabilitate mai mare, implanturi centromedulare cu posibilitatea de augmentare, folosirea reducerii cu focar închis, și nu în ultimul rând, artroplastia.

În ceea ce privește fixarea cu placă blocată, un contact stabil la locul fracturii este cel mai important factor pentru reducerea tensiunii în placă.

Osteosinteza centromedulară poate fi folosită în cazul fracturilor diafizare sau fracturile cominutive epi-meta-diafizare.

Osteosinteza cu placă cu stabilitate angulară este utilă în cazul fracturilor metafizare, dar necesită un contact stabil pentru a repartiza forțele pe corticala opusă.

Utilizarea înlocuitorilor de grefă osoasă este deosebit de importantă pentru a reduce morbiditatea grefei osoase recoltare și să asigure un volum adecvat de grefă la vârstnici.

Pacienții diagnosticați cu osteoporoză trebuie să înceapă un tratament antiosteoporotic cât mai repede, care să includă suplimente de calciu, vitamina D și bisfosfonați sau alte medicamente antiresorptive care să prevină pierderea osoasă în continuare.

În plus aceștia ar trebui să urmeze o dietă bogată în calciu și un consum moderat de proteine. Efortul fizic cuprinzând cel puțin 30 minute de trei ori pe săptămână de exerciții fizice a fost asociat cu un risc redus de producere a fracturilor.

Osteoporoza predispune la fragmentarea și deplasarea implantului după osteosinteză.

Fixarea osului osteoporotic cu implanturi mai rigide poate agrava această problemă. Dimpotrivă, implanturile cu proprietăți elastice și rigiditate scăzută minimalizează tensiunile de vârf la nivelul zonei de contact dintre os și implant astfel permițând impactarea fragmentelor osoase.

Au fost elaborate multiple metode de osteosinteză elastice (dinamice) de fixare pentru tratamentul fracturilor pe os osteoporotic.

Cu toate acestea, conceptele de consolidare a osului osteoporotic par promițătoare. Utilizarea osteosintezei cu placă blocată în cazul fracturilor cu patru fragmente, combinată cu grefare osoasă pare să obțină rezultate clinice și radiologice excelente.

Două studii privind tratamentul pentru osteoporoză cu ranelat de stronțiu la șobolani cu osteoporoză care au suferit osteosinteză cu și fără șuruburi de titan acoperite cu hidroxiapatită au demonstrat că tratamentul cu ranelat de stronțiu depășește efectele negative ale osteoporozei asupra stabilității implanturilor ortopedice.

Ambele studii au arătat o creștere a formării osoase și a stabilității implantului. Mai mult, dublul efect de inhibare a resorbției osoase și de promovare a formării osoase poate fi o abordare eficientă pentru a îmbunătăți fixarea implantului și creșterea stabilității la pacienții cu osteoporoză promovând osteointegrarea.

Studii de caz, precum și experiența clinică sugerează că fracturile la pacienții cu osteoporoză prezintă un risc crescut de apariție a complicațiilor.

Implicațiile osteoporozei asupra stabilității implanturilor ortopedice se corelează invers proporțional cu diferite tipuri de forțe aplicate pe sistemele de osteosinteză.

Aceasta afectează relaxarea inițială și influențează puterea de fixare în diferite regiuni ale osului osteoporotic.

Complicațiile menționate în literatura de specialitate asociate cu osteoporoza sunt migrarea șurubului, eșecul fixării, fracturi secundare, pseudartroza, pierderea reducerii anatomice și dislocarea fragmentelor.

Mecanismul cel mai frecvent de producere al fracturilor pe osul osteoporotic este căderea de la același nivel, cu această presupunere, cea mai corectă abordare pentru prevenția acestui tip de fractură este prevenția căderii de la același nivel.

Cauzele căderii de la același nivel la vârstnici sunt sincopile și lipotimiile de etiologie neurologică sau cardiovasculară, tulburările de echilibru, instabilitatea membrelor inferioare, abuzul de sedative, accidentele casnice și accidentele survenite în anotimpul rece.

Astfel evaluarea cardiologică și neurologică periodică cu gestionarea atentă a medicației prescrise, evaluarea acuității vizuale, recuperarea medicală cu menținerea tonusului muscular și a echilibrului, alegerea încălțămintei corecte pentru sezonul rece și evitarea expunerii la situații ce pot duce la astfel de accidente reprezintă cea mai accesibilă modalitate de prevenție a căderii de la același nivel.

De asemenea, aducerea la cunoștință a acestor metode de prevenție împreună cu măsuri generale de îmbunătățire a sănătății, precum oprirea fumatului și scăderea consumului de alcool, programe de exerciții fizice ușoare ce pot fi efectuate la domiciliu pentru a menține masa osoasă, sunt indicate pentru toate persoanele în vârstă.

Nu în ultimul rând, monitorizarea răspunsului la tratamentul antiosteoporotic la un interval de 2 ani prin măsurarea DMO și evaluarea markerilor biochimici ai turnover-ului osos la 6 luni, care din păcate nu este încă prezent în practica medicală curentă, deși ar putea aduce o perspectivă precoce a efectului terapiei antiosteoporotice și posibilitatea schimbării medicației cu cost-eficiență maximă.

În concluzie, osteoporoza reprezintă o problemă majoră de sănătate caracterizată prin masă osoasă scăzută și deteriorarea microarhitecturii structurii osoase, ducând la fragilitate osoasă și creșterea riscului de fracturi secundare. Tratamentul osteoporozei este esențial pentru creșterea fixării mecanice a implanturilor prin îmbunătățirea microarhitecturii osului din jurul implantului astfel crescându-i stabilitatea la pacienții cu osteoporoză.

Cu toate că nu există suficiente studii clinice pentru a susține studiile biomecanice care dovedesc implicațiile osteoporozei asupra stabilității implanturilor ortopedice, este o realitate faptul că osteoporoza locală are un efect negativ asupra proprietăților mecanice ale formării de calus, ceea ce duce la eșecul de fixare al implanturilor ortopedice.

## **PARTEA SPECIALĂ**

### ***I. Tehnici chirurgicale***

Scopul studiului este de a compara rezultatele funcționale postoperatorii obținute folosind două metode de osteosinteză utilizate pentru tratamentul chirurgical al fracturilor de humerus proximal: tija centromedulară și placa cu stabilitate angulară.

Tehnica chirurgicală a fost aleasă în funcție de tipul de fractură, astfel indicația de elecție pentru utilizarea tije centromedulare a fost fractura de humerus proximal simplă sau cominutivă cu extensie diafizară fiind singurul implant care a putut aduce o reducere optimă și o fixare stabilă în osul osteoporotic.

În ceea ce privește osteosinteza laterală cu placă cu stabilitate angulară indicația de elecție au fost fracturile de humerus proximal cu 2 părți, 3 părți și 4 părți, fără extensie diafizară oferind o reducere anatomică net superioară altor tipuri de implant cu o fixare stabilă în osul osteoporotic.

Pentru stabilirea tipului de fractură au fost efectuate radiografiile în minim două incidențe. În cazul fracturilor cominutive pentru o mai bună analizare a gradului de cominuție și identificarea fragmentelor osoase s-au efectuat tomografiile computerizate preoperator pentru stabilirea indicației de tratament.

În cazul fracturii de col chirurgical humerus drept cu deplasare după analizarea tomografiei computerizate și reconstrucția 3D s-a stabilit ca indicație de elecție osteosinteza laterală.

Cu toate acestea cele două metode de osteosinteză au fost adaptate ca tehnică chirurgicală în funcție de tipul de fractură și în funcție de gradul de osteoporoză pentru a obține cea mai bună stabilitate în osul osteoporotic și pentru a evita deteriorarea montajului.

## ***II. Studiu clinico-statistic comparativ între osteosinteza centromedulară și osteosinteza cu placă blocată***

### *Material și metode*

Pentru instrumentarea studiului am folosit ca sursă, o serie de cazuri urmărite personal în evoluție în cadrul Clinicii de Ortopedie a Spitalului Clinic de Urgență București înregistrate în perioada 01.01.2013 – 31.07.2015.

Baza de date a studiului cuprinde un număr de 75 de pacienți cu osteoporoză diagnosticați cu fractură de humerus proximal pe baza datelor clinice și imagistice și tratați chirurgical.

La acești pacienți am urmărit parametrii:

- sex
- grupa de vârstă
- mecanismul de produce a fracturii
- gradul de osteoporoză
- comorbidități
- forme anatomo-clinice

- metoda de tratament chirurgical
- complicațiile imediate și tardive

În acest studiu pacienții au fost evaluați radiologic la prezentare pe baza cărora a fost pus diagnosticul și indicația chirurgicală. Preoperator au fost efectuate tomografiile computerizate în cazul fracturilor cominutive pentru identificarea fragmentelor osoase și stabilirea indicației de tratament.

Osteoporoza ridică probleme osteosintezei în ceea ce privește stabilitatea implantului cu deteriorarea montajului și eșecul osteosintezei. În acest context, ținând cont de gradul osteoporozei, au fost alese implanturile care oferă maximum de stabilitate și s-a început tratamentul osteoporozei.

Postoperator au fost evaluați radiologic la 3 luni, 6 luni și respectiv 12 luni și s-a comparat evoluția formării calusului.

Rezultatele au fost apreciate după scorurile de evaluare funcțională a umărului, scorul Constant.

Toate datele obținute în urma completării chestionarelor și în urma evaluării imagistice la 3, 6 și 12 luni au fost introduse personal în Microsoft Excel 2007 și apoi prelucrate statistic în programul Spss 2007.

Postoperator am considerat că este necesară o imobilizare pentru o perioadă scurtă, cu scopul de a ameliora circulația locală, de a seda durerile și, de asemenea, de a ameliora edemul post-traumatic și postoperator. O mobilizare excesivă ar fi putut duce la mărirea hematomului și edemului local, cu consecințe nefavorabile asupra mobilității articulare ulterioare.

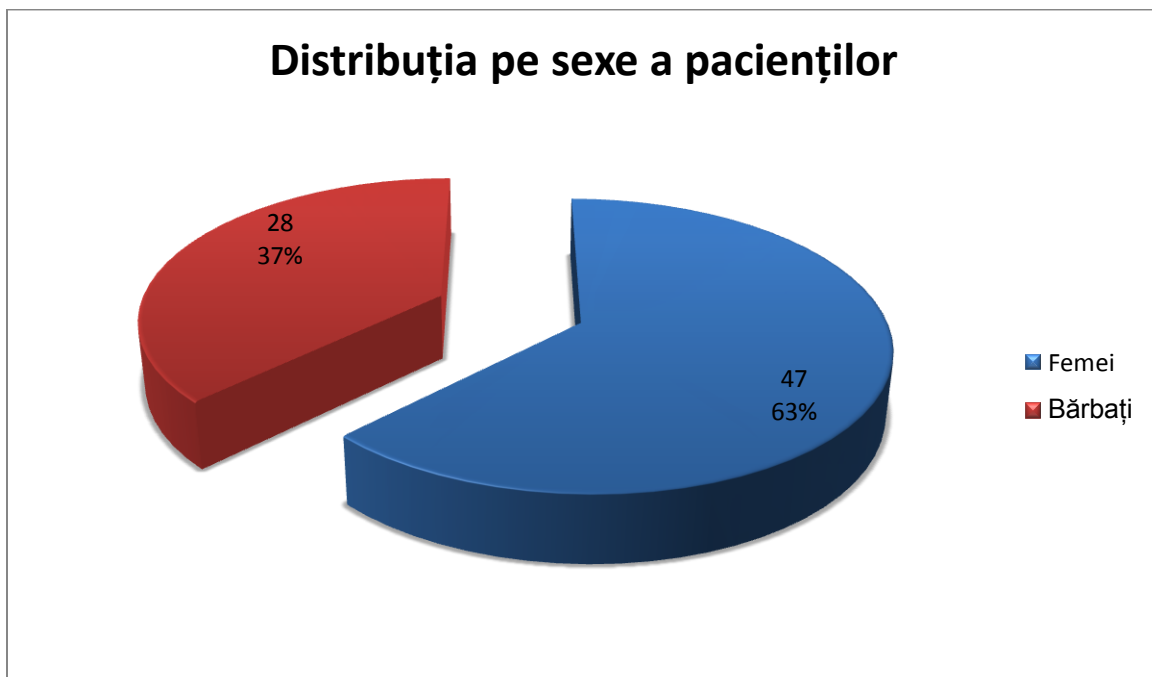
Prevenirea consolidării în poziții vicioase s-a efectuat printr-o intervenție chirurgicală cu reducere stabilă, anatomică, nedeformabilă în cursul unei mobilizări precoce.

Rezultatele intervenției chirurgicale nu sunt, însă, excelente dacă membrul afectat nu este mobilizat corespunzător postoperator, iar un program de recuperare fizică este obligatoriu până la 6 luni de la actul operator.

### Distribuția pe sexe a pacienților

Se observă că dintre cei 75 de pacienți incluși în studiu 47 sunt de sex feminin, ceea ce reprezintă 63% din întregul grup ales, în timp ce numărul bărbaților a fost de 28 (reprezentând un procent de 37%). Din aceste date, în funcție de distribuția pe sexe a pacienților, se poate observa o predominanță a fracturilor de humerus proximal în rândul populației de sex feminin.

**Graficul nr. 1**

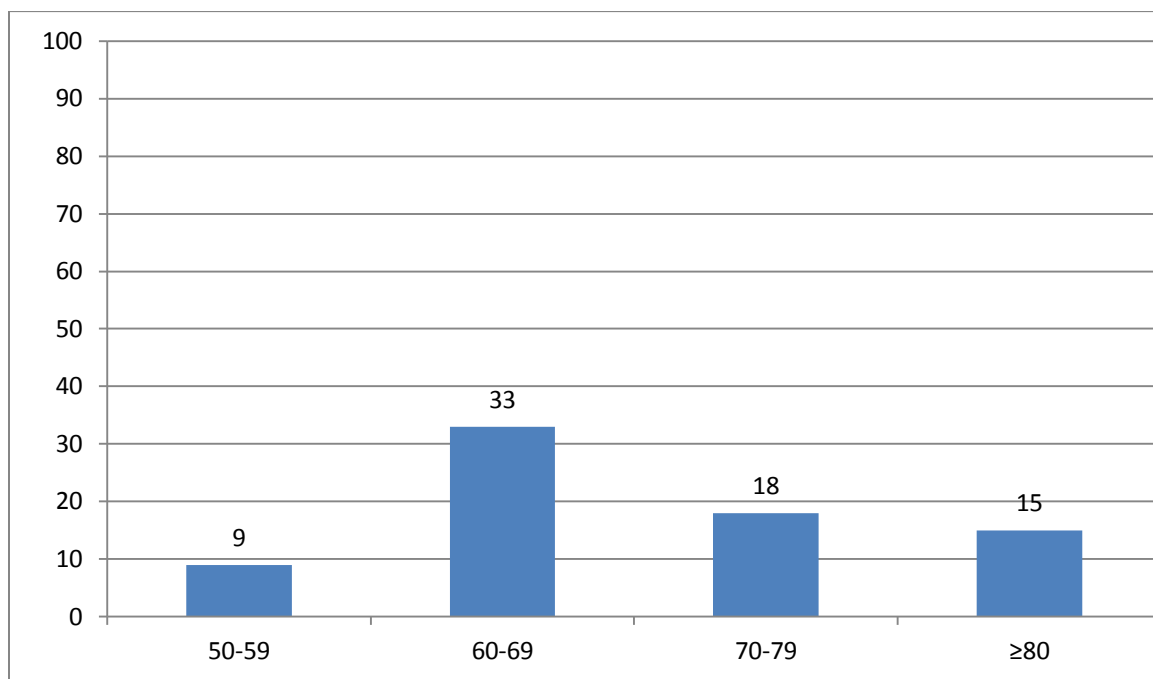


Incidența crescută în populația feminină se poate datora susceptibilității mai mari la osteoporoză. Majoritatea lor sunt accidente „casnice” și se produc prin căderea pe umăr.

### Distribuția pe grupe de vârstă

În urma analizării lotului din punct de vedere al repartiției pe grupe de vârstă am constatat că cea mai mare incidență apare la grupul de vârstă 60 – 69 de ani, reprezentând 44% (33 de pacienți).

**Graficul nr. 2**



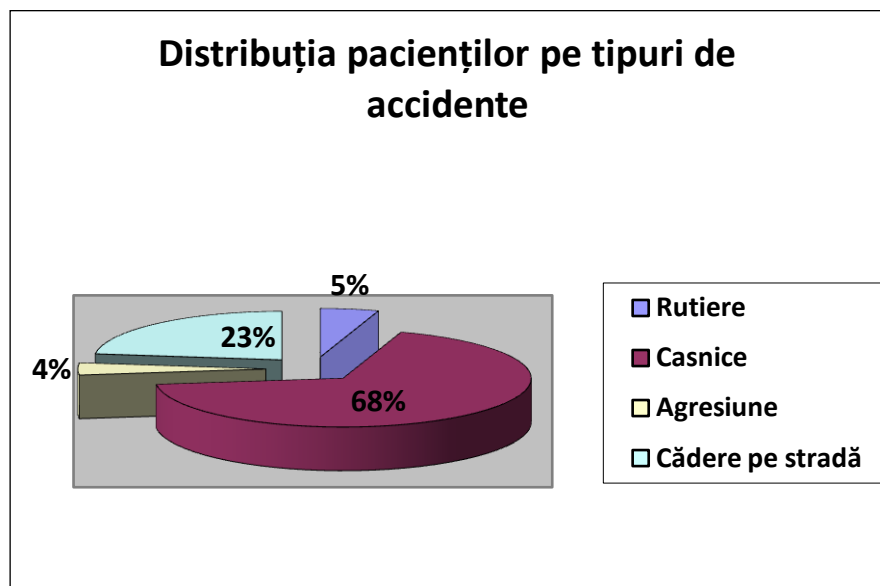
**Distribuția pe grupe de vârstă**

După cum se poate observa din acest grafic marea majoritate a pacienților (88%) au între 60 și peste 80 ani reprezentând atât populația activă din punct de vedere socio-economic cât și populația pasivă. Rezultând faptul că fractura de humerus proximal este o boală cu impact important asupra societății afectând în principal populația pasivă.

### Distribuția pacienților pe tipuri de accidente

Fracturile de humerus proximal la pacienții cu osteoporoză se pot produce prin mecanisme diverse. Analizând structura morbidității pe tipurile de accidente care au produs fractura, am obținut, după cum se poate vedea și în graficul nr. 3 faptul că accidentele casnice predomină, în proporție de 68% (51 pacienți). Următoarele ca proporție sunt fracturile produse prin cădere pe stradă, 23% (17 pacienți).

#### Graficul nr. 3

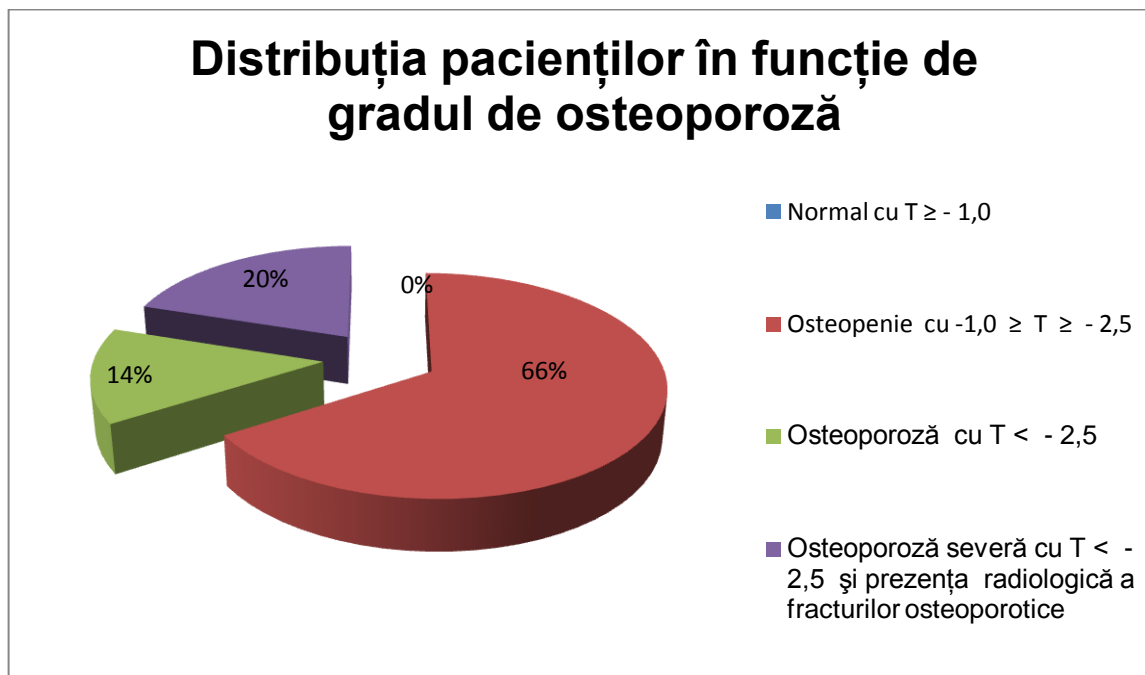


Un procent scăzut îl ocupă accidentele rutiere (5%), care reprezintă o problemă a societății românești la ora actuală, fiind datorate intensificării extreme a traficului rutier și a dinamicii intense din viața modernă. Agresiunile reprezintă 4% din cazurile studiate de noi, majoritatea fiind agresiuni casnice.

### Distribuția pacienților în funcție de gradul de osteoporoză

Cu toate că persoanele cu osteoporoză severă prezintă cel mai înalt risc relativ de fracturi, cele mai multe survin la pacienții cu masă osoasă scăzută sau osteopenie (scor T între -1,0 și -2,5). De aceea, evaluarea factorilor de risc independenți de DMO sunt importanți pentru predicția probabilității de fracturi.

Graficul nr. 4

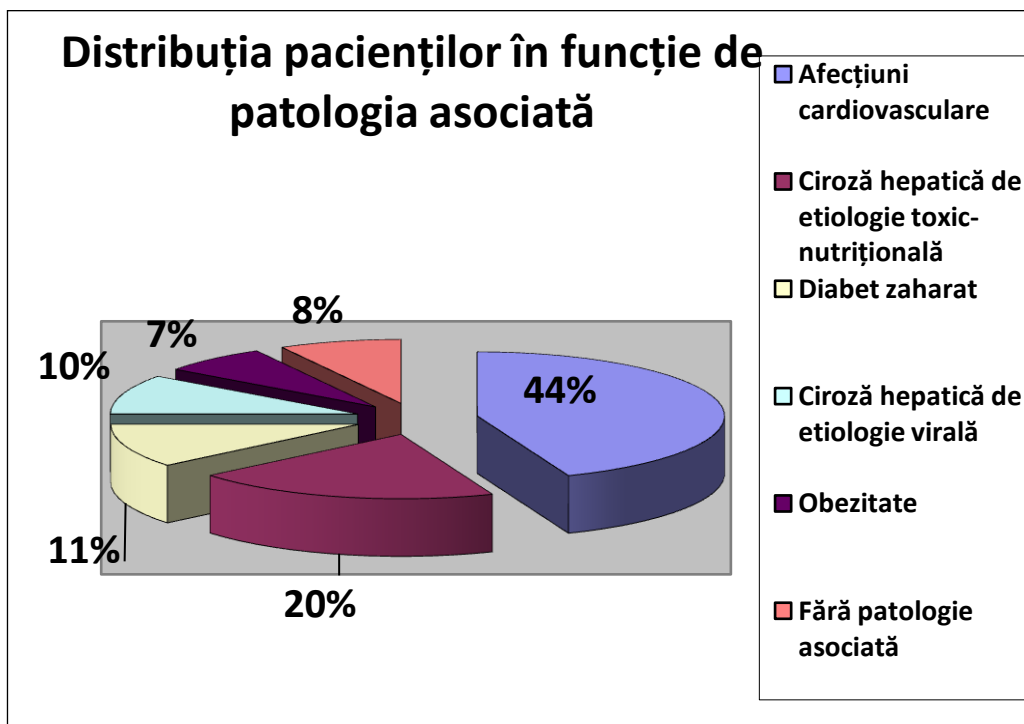


Astfel, se poate observa că majoritatea pacienților incluși în studiu, respectiv 66%, prezentau osteopenie cu un scor T între -1,0 și -2,5, la ultima evaluare DXA anterior producerii fracturii.

### Distribuția pacienților în funcție de patologia asociată

Se observă că dintre cei 75 de pacienți incluși în studiu majoritatea (92%) prezentau o patologie asociată la momentul internării. Pacienții care au ridicat probleme în timpul operator și au avut nevoie de îngrijiri suplimentare au fost cei care au avut următoarele afecțiuni asociate: 44% afecțiuni cardiovasculare, 20% ciroză hepatică de etiologie toxic-nutrițională, 11% diabet zaharat, 10% ciroză hepatică de etiologie virală și 7% obezitate.

Graficul nr. 5



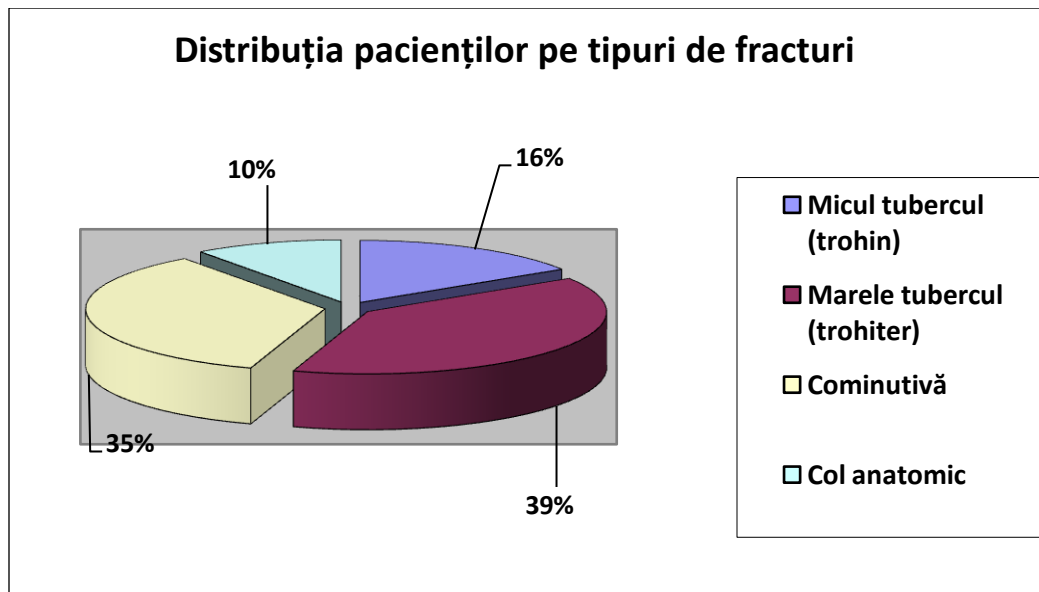
Cu toate că, din aceste date, în funcție de patologia asociată, se poate observa o predominanță a pacienților cu o patologie asociată în momentul internării, majoritatea au o recuperare postoperatorie excelentă.

### Distribuția pacienților pe tipuri de fracturi

În studiul nostru am observat că fracturile izolate de col chirurgical reprezintă 55% dintre care 16% cu interesarea trohinului și 39% cu interesarea trohiterului.

35% dintre pacienți au avut diagnosticul de fractură de humerus proximal cominutivă cu și fără extensie diafizară și au fost operați de urgență prezentând risc înalt de afectare a pachetului vasculo-nervos.

Graficul nr. 6

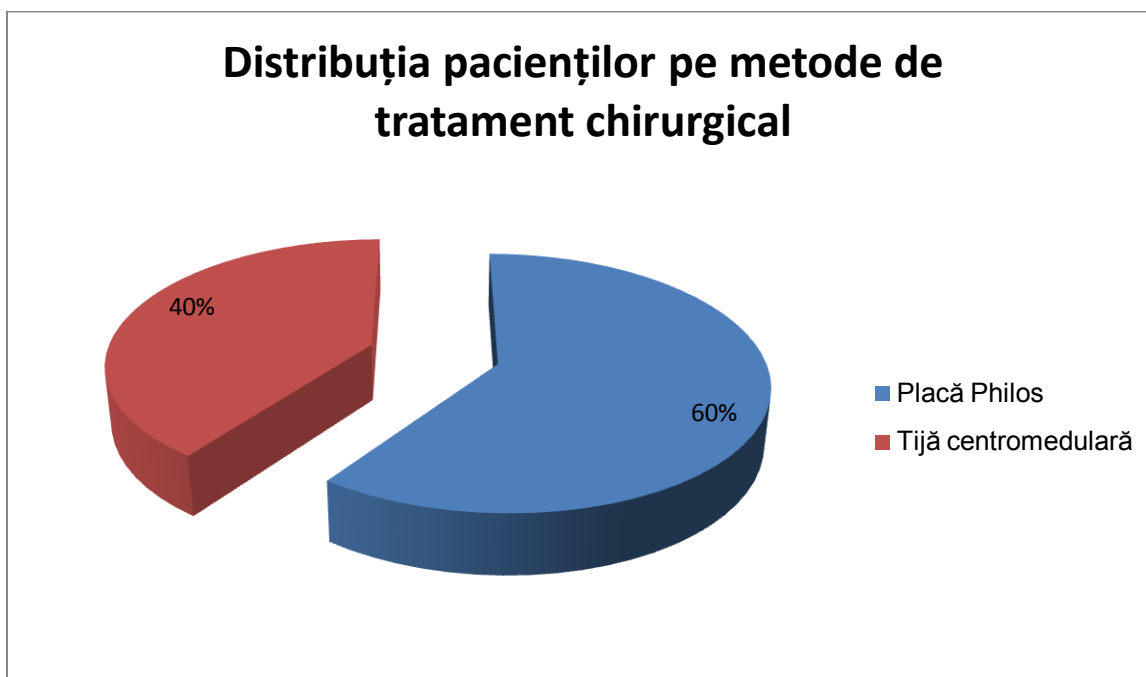


Fracturile de col anatomic au fost întâlnite la 10% dintre pacienți, majoritatea fiind femei cu osteoporoză.

### Distribuția pacienților pe metode de tratament chirurgical

Tratamentul chirurgical are o varietate destul de mare de proceduri, toate acestea fiind adaptate la individualitatea atât a fracturii cât și a pacientului. Scopul intervenției chirurgicale este de a reda funcționalitatea articulației umărului cât mai repede și cât mai corect posibil. Am ales doar pacienții la care s-a aplicat osteosinteza cu placă tip Philos și osteosinteza cu tijă centromedulară.

Graficul nr. 7



Intervențiile chirurgicale au fost efectuate în medie la 24-48 de ore de la internare, iar metoda de osteosinteză care s-a folosit cel mai mult este cu placă Philos în proporție de 66,67%, respectiv 50 de pacienți. Pentru 33,33% dintre pacienți (25 de pacienți) metoda de osteosinteză de elecție a fost tija blocată. În fracturile de col asociate cu fracturi ale capului humeral, se folosește tija telegraf.

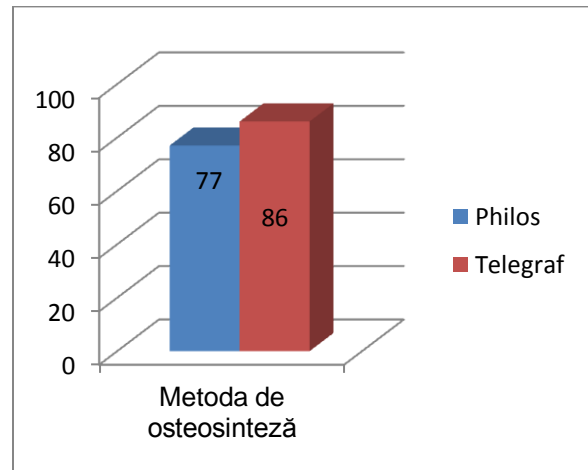
### *Rezultate*

Pentru evaluarea rezultatelor funcționale postoperatorii am aplicat Scorul Constant. Pacienții au fost evaluați la trei luni, șase luni și apoi la doisprezece luni având în vedere următorii factori subiectivi și obiectivi:

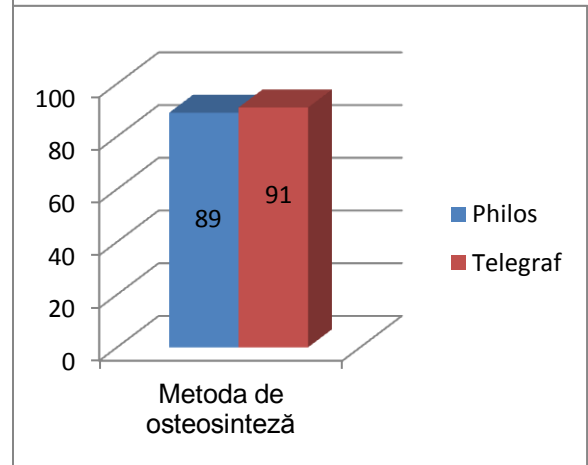
1. durere
2. ușurința activităților cotidiene
3. poziția brațului
4. forța de abducție
5. flexie anterioară
6. abducție
7. rotație externă
8. rotație internă

Acești factori sunt cuprinși în chestionarul Constant, fiecare factor este explicat astfel încât completarea sa este accesibilă oricărui pacient. După trei luni, șase luni și apoi la doisprezece luni, pacienții au fost verificați clinic și radiologic folosind chestionarul Constant. Am împărțit rezultatele pe două grupuri: Philos și Telegraf, iar fiecare grup l-am împărțit corespunzător celor trei perioade de control, la trei luni, șase luni și respectiv doisprezece luni.

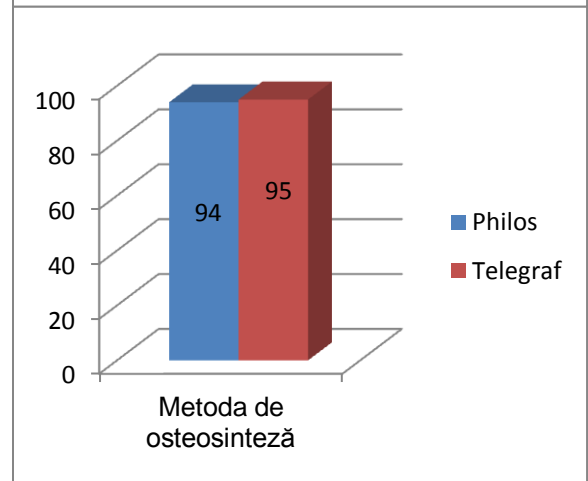
**Rezultate la 3 luni**



**Rezultate la 6 luni**



**Rezultate la 12 luni**



Prelucrând statistic datele obținute folosind chestionarul Constant la trei luni, șase luni și, respectiv, doisprezece luni pentru cele două metode de osteosinteză am obținut următoarele rezultate:

### CONTROL LA 3 LUNI

Testul t aplicat la intervalul de 3 luni:

Grup	Telegraf	Philos
Mean	86,00	77,00
SD	10,00	8,00
SEM	2,00	1,13
N	25	50

Valorile intermediare utilizate în testul t:

Scorul Constant	Gradul de libertate-df	Eroarea standard	Diferența de interval	Valoarea t	Valoarea p
Compararea celor două metode de osteosinteză	73	2,133	9	4,2192	< 0,0001

La controlul de 3 luni am obținut rezultate mai bune pentru pacienții operați folosind osteosinteza centromedulară cu tijă decât pentru cei operați folosind osteosinteza laterală cu placă Philos, înregistrând o valoare  $p < 0,0001$  cu o semnificație statistică mare. Intervalul de încredere obținut a fost de 95% cu o diferență a intervalului de la 4,75 la 13,25 și o medie de 9. Valorile intermediare utilizate au fost:  $t = 4,2192$ ,  $df$  (gradul de libertate) = 73 și o eroare standard = 2,133.

**CONTROL LA 6 LUNI****Testul t aplicat la intervalul de 6 luni:**

Grup	Telegraf	Philos
Mean	91,00	89,00
SD	9,00	7,00
SEM	1,80	0,99
N	25	50

**Valorile intermediare utilizate în testul t:**

Scorul Constant	Gradul de libertate- df	Eroarea standard	Diferența de interval	Valoarea t	Valoarea p
Compararea celor două metode de osteosinteză	73	1,890	2	1,0583	0,2934

La controlul de 6 luni am observat o creștere mai mică a scorului mediu pentru pacienții operați folosind osteosinteza centromedulară cu tijă decât pentru cei operați folosind osteosinteza laterală cu placă Philos, înregistrând o valoare  $p = 0,2934$  fără semnificație statistică. Intervalul de încredere obținut a fost de 95% cu o diferență a intervalului de la -1,77 la 5,77 și o medie de 2. Valorile intermediare utilizate au fost:  $t = 1,0583$ , df (gradul de libertate) = 73 și o eroare standard = 1,890.

**CONTROL LA 12 LUNI****Testul t aplicat la intervalul de 12 luni:**

Grup	Telegraf	Philos
Mean	95,00	94,00
SD	7,00	5,00
SEM	1,40	0,71
N	25	50

**Valorile intermediare utilizate în testul t:**

Scorul Constant	Gradul de libertate- df	Eroarea standard	Diferența de interval	Valoarea t	Valoarea p
Compararea celor două metode de osteosinteză	73	1,405	1	0,7119	0,4788

La controlul de 12 luni am obținut rezultate funcționale similare pentru cele două metode de osteosinteză, înregistrând o valoare  $p = 0,4788$  fără semnificație statistică. Intervalul de încredere obținut a fost de 95% cu o diferență a intervalului de la -1,80 la 3,80 și o medie de 1. Valorile intermediare utilizate au fost:  $t = 0,7119$ ,  $df$  (gradul de libertate) = 73 și o eroare standard = 1,405.

Deși imediat post-operator (la 3 luni) am înregistrat rezultate mai bune pentru pacienții operați folosind tija telegraf ca metodă de osteosinteză, pe termen lung, după 6 luni de recuperare cele două metode de osteosinteză au oferit rezultate funcționale similare.

### *Concluzii*

Fractura de humerus proximal la pacienții cu osteoporoză este o leziune invalidantă în lipsa tratamentului chirurgical corespunzător scăzând calitatea vieții și posibilitatea de a munci.

Osteoporoza crește riscul de fracturi atraumatice și contribuie la severitatea fracturilor traumatiche. Gestionarea acestor fracturi este dificilă din cauza calității osoase scăzute și a problemelor care pot apărea în cazul eșecului de fixare a implanturilor folosite pentru a stabiliza fractura până când se formează calusul.

Un tratament adecvat al leziunilor scheletice secundare osteoporozei necesită o înțelegere a efectului pe care îl are osteoporoza asupra modului de vindecare a fracturii și proprietăților structurale ale osului. Stabilizarea eficientă a fracturii este obiectivul principal al tratamentului. Cu toate acestea, fracturile pe os osteoporotic prezintă provocări unice, deoarece stabilizarea este frecvent complicată de fixare insuficientă sau chiar eșecul osteosintezei.

Osteoporoza netratată afectează fixarea fracturii și formarea de calus, demonstrat în numeroase studii biomecanice experimentale care au evaluat diferite configurații de implanturi ortopedice, cum ar fi osteosinteza cu șuruburi, osteosinteza lateral și centromedulară, cu diferite moduri de încărcare. Migrarea șurubului de osteosinteză este una din complicațiile frecvent asociate cu o zonă de contact minimă între implantul ortopedic și osul cu densitate scăzută.

Tehnicile operatorii necesită modificări pentru a fi utile în tratamentul chirurgical al fracturilor pe os osteoporotic. Șuruburile trebuie plasate în zona cu cea mai bună calitate osoasă disponibilă, care este de obicei corticala opusă. În ceea ce privește fixarea cu placă blocată, un contact stabil la locul fracturii este cel mai important factor pentru reducerea tensiunii în placă. Osteosinteza centromedulară poate fi folosită în cazul fracturilor diafizare sau fracturile cominutive epi-meta-diafizare.

Studiul repartiției cazurilor pe grupe de vârstă relevă faptul că grupa de vârstă cea mai afectată în cazul fracturii de humerus proximal este cea de peste 60 ani, în care apariția osteoporozei, împreună cu scăderea capacității de coordonare neuro-musculară constituie principala cauză de apariție a fracturii.

Distribuția cazurilor în funcție de sex a arătat o înclinare a balanței către sexul feminin, cu un procent de 63% față de cel al sexului masculin, cu 37%.

Principala cauză de producere a fracturii de humerus proximal o constituie accidentele casnice (68%), urmate de accidentele prin cădere pe stradă (23%) și cele rutiere (5%).

În acest studiu fracturile au fost evaluate pre- și postoperator după analiza radiografiilor, urmărindu-se reducerea fracturii, poziția implantului, pierderea ulterioară a reducerii și alte complicații. Situația funcțională a pacienților a fost înregistrată împreună cu rezultatele controlului la 3, 6 și respectiv 12 luni cu ajutorul scorului Constant.

Astfel, tratamentul chirurgical folosind tija telegraf a dus la următoarele rezultate funcționale:

- excelent sau bun în 84% din cazuri;
- acceptabil sau prost în 16% din cazuri.

Și tratamentul chirurgical folosind placa Philos ca metodă de osteosinteză a dus la rezultatele funcționale:

- excelent sau bun în 78% din cazuri;
- acceptabil sau prost în 22% din cazuri.

Rezultatul funcțional al tratamentului chirurgical al fracturilor de humerus proximal folosind reducerea închisă și fixarea internă cu tija Telegraf la evaluarea de 3 luni pare să fie superior tratamentului cu placă Philos, datorită avantajelor biomecanice și biologice a tijelor intramedulare comparativ cu osteosinteza cu placă și șuruburi, precum și expunerii mai mici a fracturii, a prezervării periostului și mobilizării precoce. De asemenea, tijele

intramedulare par a oferi rezultate superioare în tratamentul fracturilor instabile, în special a fracturilor cu extensie diafizară care nu pot fi tratate ușor folosind cu osteosinteza cu placă.

Cu toate acestea, după intervalul de 12 luni de recuperare cele două metode de osteosinteză au oferit rezultate funcționale similare.

Rămâne ca decizia să fie luată în funcție de tipul de fractură, de terenul patologic al pacientului și de experiența medicului curant.

Postoperator considerăm că este necesară o imobilizare pentru o perioadă scurtă cu scopul de a ameliora circulația locală, de a seda durerile, în scop hemostatic și de asemenea de a ameliora edemul post-traumatic și postoperator.

O mobilizare excesivă ar putea duce la mărirea hematomului și edemului local, cu consecințe nefavorabile asupra mobilității articulare ulterioare.

Prevenirea consolidării în poziții vicioase se face printr-o intervenție chirurgicală cu reducere stabilă, anatomică, nedeformabilă în cursul unei mobilizări precoce și inițierii tratamentului antiosteoporotic.

Rezultatele intervenției chirurgicale nu sunt însă excelente dacă membrul afectat nu este mobilizat corespunzător postoperator, iar un program de recuperare fizică este obligatoriu până la 6 luni de la actul operator.

Obținerea unei libertăți de mișcare complete, criteriu atât de important pentru o reabilitare de succes, este frecvent întârziată la pacienții necooperanți.

### ***III. Studiul biomecanic experimental***

Studiul biomecanic experimental efectuat în cadrul Universității Politehnica din București în Centrul de Biomateriale – BIOMAT prin metoda elementelor finite pe modele cu osteosinteză centromedulară și osteosinteză laterală ne-a ajutat să evidențiem zonele de concentrări de forțe, deformația relativă echivalentă și totală, tensiunea echivalentă, tensiunile de

forfecare, tensiunile normale și principale, și ne-au permis concluzionarea cu aplicabilitate în practica medicală pentru evitarea eșecurilor.

Metoda elementelor finite sau analiza cu elemente finite (FEA) are la bază conceptul construirii unor obiecte complexe folosind elemente simple sau a împărțirii unor obiecte complexe în segmente mici, ușor de manipulat. Astfel, orice obiect compus din forme geometrice poate fi reprezentat prin forme geometrice simple, reprezentate de elemente.

Pentru acest studiu am folosit programul Mimics (Materialise's Interactive Medical Image Control System). Acesta este reprezentat de un software pentru procesarea imaginilor medicale și crearea modelelor 3D folosind imaginile obținute prin tomografie computerizată sau imagistică prin rezonanță magnetică pentru a construi modele 3D, care pot fi apoi prelucrate direct cu rapid prototyping, CAD, simulări chirurgicale și analize de inginerie avansată.

Utilizarea acestui program cuprinde o serie de comenzi complexe care fac posibilă reproducerea imaginilor obținute din tomografiile computerizate cu realizarea unor modele biomecanice 3D care reproduc fidel humerusul proximal și segmentele de fractură.

În primul rând multiple imagini au fost încărcate în program, constând din imagini în planul XY (axial). Apoi, Mimics a calculat și a obținut imagini în planurile XZ (coronal) și YZ (sagital), astfel, permițând o percepție 3D mai cuprinzătoare a datelor 2D.

Pentru conversia datelor anatomice din imagini în modele 3D a fost folosit un proces numit segmentare. În timpul segmentării, am selectat structurile de interes în datele din imaginile feliante, apoi le-am folosit pentru a reconstrui un model 3D din elementele segmentate. Pentru a descrie suprafața exterioară a modelului 3D, Mimics folosește formatul STL, care este formatul comun pentru fișiere în RP.

Formatul STL permite descrierea cu acuratețe a celor mai complexe configurații geometrice. Această acuratețe este necesară, deoarece datele anatomice sunt în general foarte complexe. Segmentarea precisă este importantă pentru a putea extrage informații semnificative din imagini.

Multe din instrumentele de segmentare din Mimics sunt comune procesării de imagini și pot fi aplicate în orice plan (XY, XZ sau YZ), dar Mimics are un instrument de editare

3D unic. Astfel, o segmentare inițială poate fi optimizată într-o pre-vizualizare 3D care face editarea mult mai accesibilă.

Totuși, acuratețea într-un model Mimics depinde de acuratețea obiectului obținut prin tomografia computerizată.

Astfel, prin Region Growing a fost posibilă separarea segmentării create prin filtrare în mai multe obiecte.

Pentru reconstrucția rețelei 3D am selectat operațiunea Remesh cu reducerea cantității detaliilor, reducerea cantității triunghiurilor din obiect, îmbunătățirea cantității triunghiurilor cu păstrarea calității, reducerea numărului de triunghiuri cu păstrarea calității și eliminarea straturilor suplimentare.

Pentru a elimina artefactele rămase se optează pentru o operațiune de netezire (Smooth) a obiectului obținut după creșterea regiunii de interes și se generează noul obiect 3D corespunzător.

Se fac apoi neteziri succesive prin erodarea și dilatarea ulterioară a măștilor obținute; fiecare astfel de operațiune determină apariția unui nou obiect 3D.

Obiectul a fost analizat și prelucrat în 3-matic, unde informația poate fi prelucrată în continuare prin reconstrucția rețelei triunghiulare ce definește obiectul pentru analiza ulterioară în programe de tip FEA.

După obținerea obiectul 3D final al humerusului proximal, se începe analiza cu elemente finite cu ajutorul programului ANSYS Workbench 16.

Structurile anatomice, cum este osul, au proprietăți de material variabile în structurile lor. În imaginile în tonuri de gri obținute prin scanare CT există mai multe informații decât doar forma geometrică a unei anumite componente anatomice.

Astfel, în acest program a fost posibil utilizarea valorilor Hounsfield din tomografiile computerizate cu calcularea densității osoase a fiecărui pacient în parte, ceea ce ne-a oferit o imagine clară a zonelor cu rezistență scăzută din osul osteoporotic.

### *Material și metodă*

Pentru studiului de față am folosit ca sursă, o serie de tomografiile computerizate aparținând pacienților incluși în primul studiu prezentat în lucrarea de față și elaborat în cadrul Clinicii de Ortopedie a Spitalului Clinic de Urgență București.

Pentru prelucrarea imaginilor tomografiilor computerizate am folosit:

- Mimics Innovation Suite 17 (Mimics și 3-matic) © Materialise NV.
- Autodesk Inventor Professional 2016.
- ANSYS Workbench 16 © 2015 SAS IP, Inc.

În aceste programe am utilizat operațiuni complexe de reproducere a imaginilor obținute din tomografiile computerizate cu realizarea unor modele biomecanice 3D care reproduc fidel humerusul proximal și segmentele de fractură.

După definirea elementelor 3D, în Mimics și 3-matic, am inserat implanturile ortopedice, osteosinteza centromedulară cu tijă, respectiv osteosinteza laterală cu placă tip Philos și am început analiza elementelor finite pentru fiecare metodă de osteosinteză în parte.

În ANSYS Workbench am efectuat analiza comparativă a celor două metode de osteosinteză pentru fracturile de humerus proximal la pacienții cu osteoporoză calculând zonele de concentrări de forțe, deformația relativă echivalentă și totală, tensiunea echivalentă, tensiunile de forfecare, tensiunile normale și principale după încărcare cu greutate crescând pentru fiecare metodă de osteosinteză în parte.

O serie de tomografiile computerizate ale pacienților incluși în studiu au fost prelucrate în programul Mimics cu analizarea segmentelor osoase ale fracturilor de humerus proximal. Aceste segmente au fost repositionate anatomic cu reconstrucția corticalei și poziționarea implantului. Acest lucru ne-a ajutat să înțelegem modul de adaptare al implantului ortopedic.

## Rezultate

**Analiza comparativă a celor două metode de osteosinteză pentru fracturile de humerus proximal**

Pentru analiza comparativă a celor două metode de osteosinteză pentru fracturile de humerus proximal am început prin a calcula deformația relativă echivalentă după încărcare cu greutate crescând pentru fiecare metodă de osteosinteză în parte.

Astfel, osteosinteza centromedulară a suferit o deformare relativă echivalentă maximă de aproximativ 5,1081 mm/mm, având zone de concentrări de forțe la nivelul tuberculului mic.

În ceea ce privește osteosinteza laterală, aceasta a suferit o deformare relativă echivalentă maximă de aproximativ 13,63 mm/mm, de două ori mai mare decât osteosinteza centromedulară, prezentând zone de concentrări de forțe la nivelul capului humeral (figura 34).

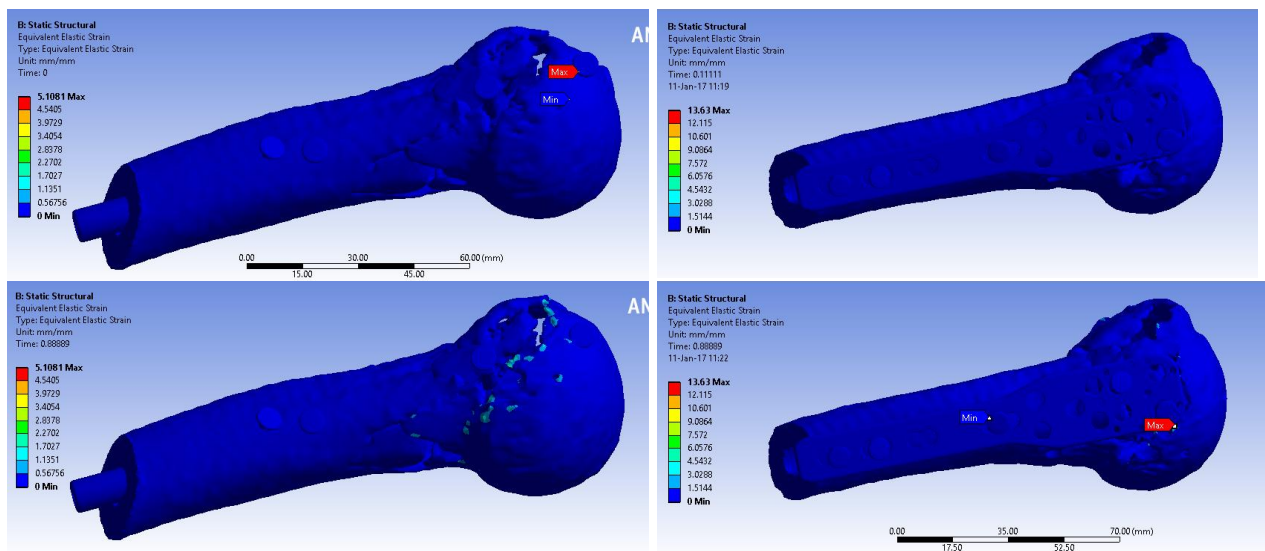
**Osteosinteză centromedulară cu tijă****Osteosinteză laterală cu placă tip Philos**

Figura 34. Deformație relativă echivalentă

Tensiunea echivalentă pentru osteosinteza cu tijă a înregistrat un maxim de 73.107 MPa cu zone de concentrări de forțe la nivelul colului anatomic. Iar osteosinteza cu placă a

înregistrat o tensiune echivalentă maximă de 152.335 MPa cu zone de concentrări de forțe localizate la nivelul capului humeral (figura 35).

**Osteosintează centromedulară cu tijă**

**Osteosintează laterală cu placă tip Philos**

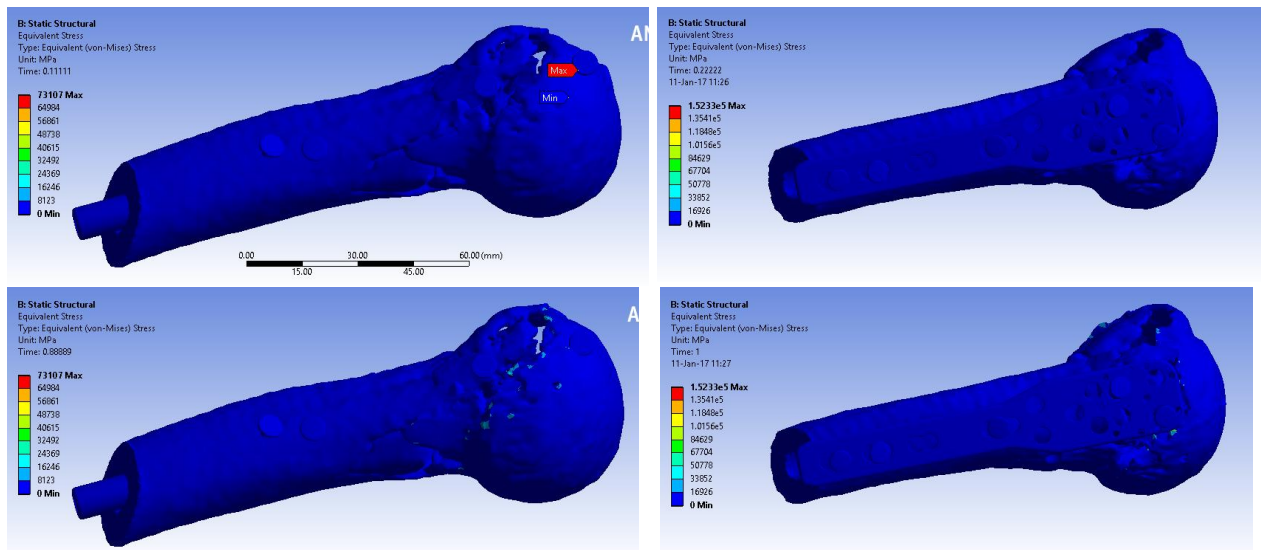
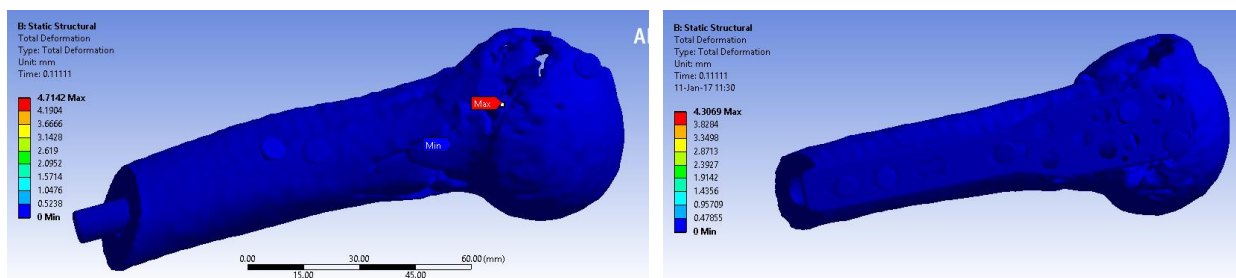


Figura 35. Tensiune echivalentă

Utilizând în continuare încărcarea cu greutate crescândă am obținut rezultate similare pentru cele două metode de osteosintează. O deformare totală de 4,7142 mm pentru osteosinteza centromedulară cu tijă și 4,3069 mm pentru osteosinteza laterală cu placă tip Philos, cu concentrarea forțelor predominant la nivelul colului anatomic pentru ambele (figura 36).

**Osteosintează centromedulară cu tijă**

**Osteosintează laterală cu placă tip Philos**



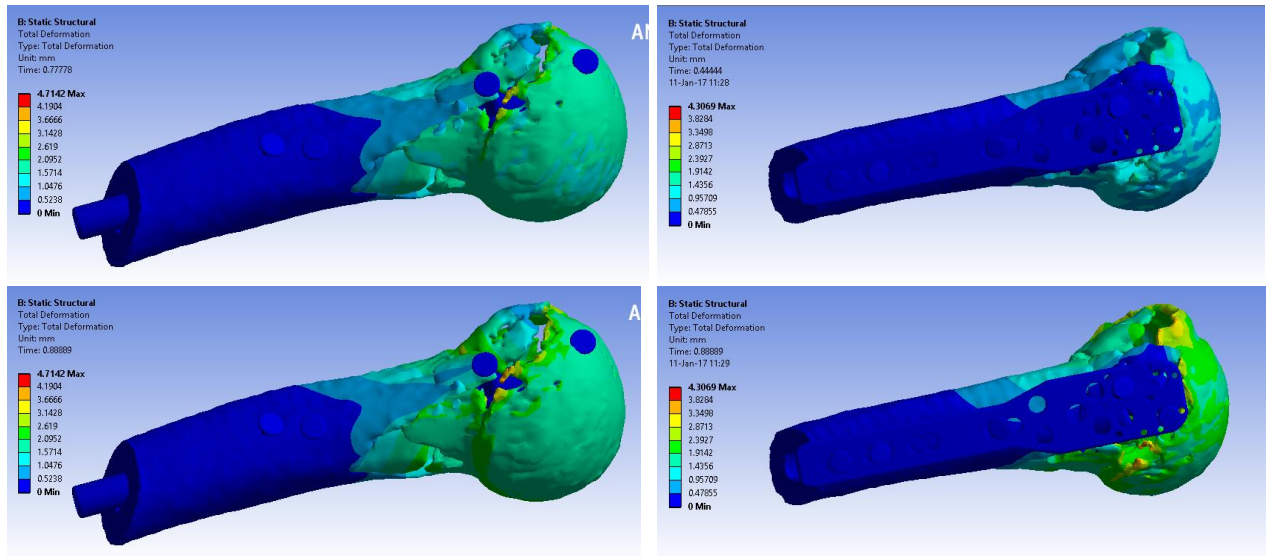
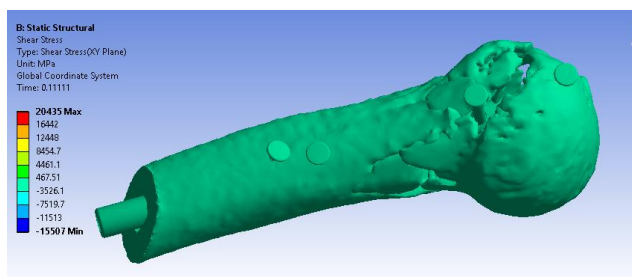


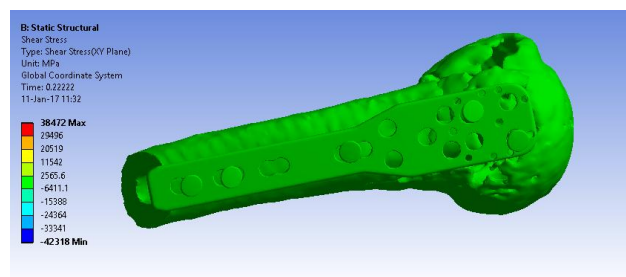
Figura 36. Deformație totală

A patra valoare studiată a fost reprezentată de tensiunile de forfecare, numite și tangențiale. Astfel, în cazul osteosintezei cu tijă am observat o valoare maximă a tensiunilor de forfecare de 20.435 MPa cu zona predominantă de concentrări de forțe la nivelul colului chirurgical. Osteosinteza cu placă a înregistrat o tensiune de forfecare maximă de 38.472 MPa cu concentrarea forțelor în centrului capului humeral (figura 37).

#### Osteosinteză centromedulară cu tijă



#### Osteosinteză laterală cu placă tip Philos



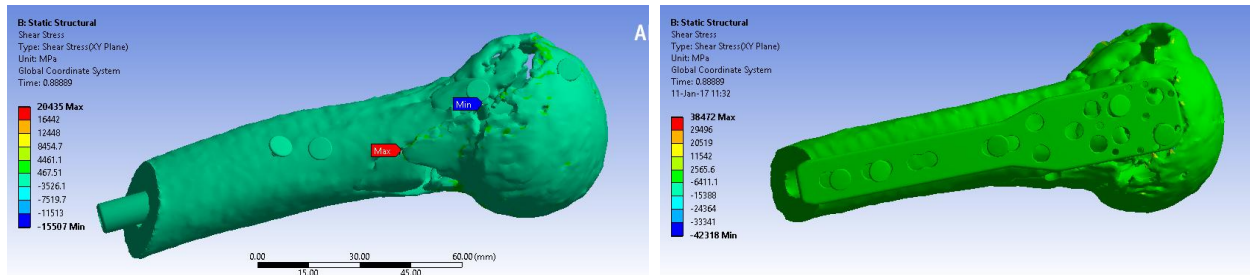


Figura 37. Tensiuni de forfecare (tangențiale)

Tensiunile normale obținute în urma încărcării cu greutate crescânde au fost de 50.057 MPa pentru tija centromedulară și 187.235 MPa pentru placa blocată (figura 38).

### Osteosinteză centromedulară cu tijă

### Osteosinteză laterală cu placă tip Philos

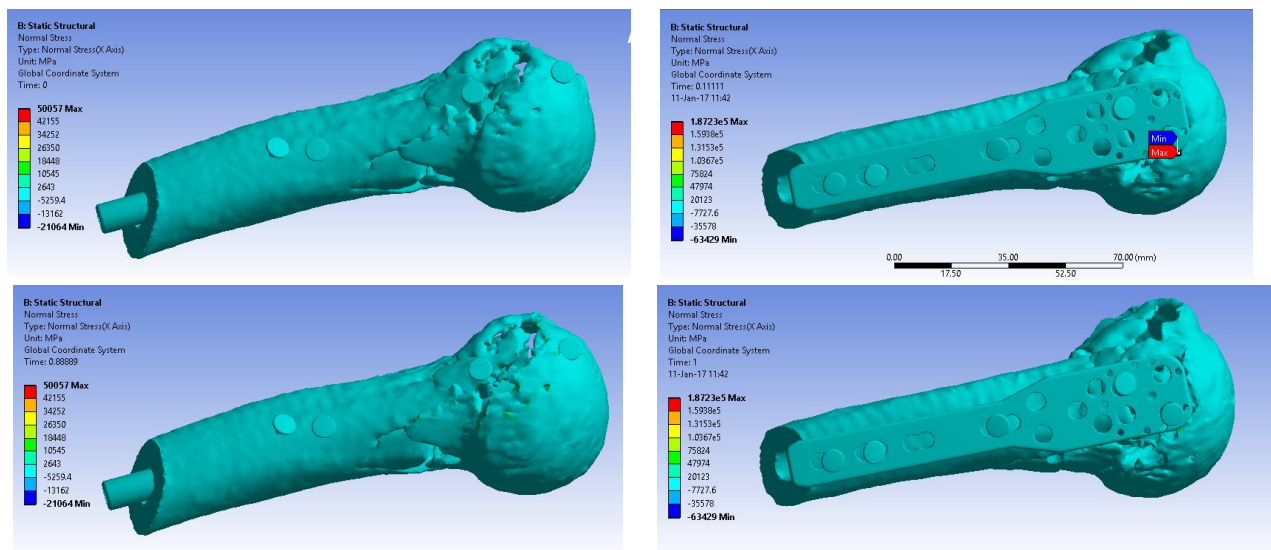


Figura 38. Tensiuni normale

Ultimul test aplicat celor două metode de osteosinteză a fost reprezentat de calcularea tensiunilor principale cu evidențierea zonelor maxime de concentrări de forțe la nivelul capului humeral pentru ambele metode de osteosinteză (figura 39). Cu toate acestea, tensiunile principale au fost observate mai mult în cazul tije decât în cazul plăcii.

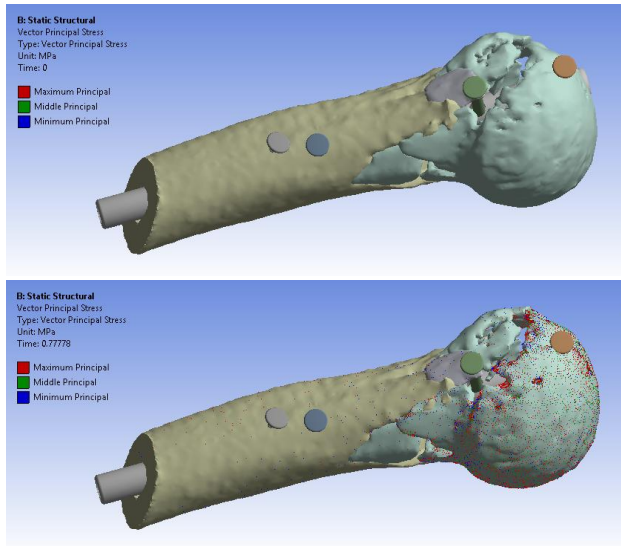
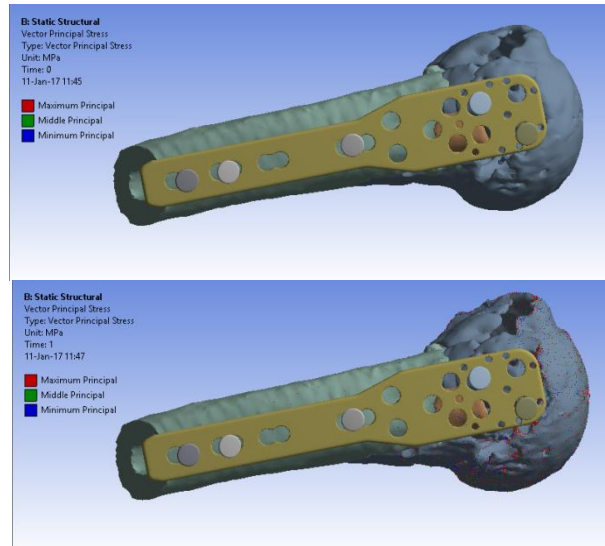
**Osteosinteză centromedulară cu tijă****Osteosinteză laterală cu placă tip Philos**

Figura 39. Tensiuni principale

*Concluzii*

Acest studiu biomecanic experimental efectuat în cadrul Universității Politehnica din București în Centrul de Biomateriale – BIOMAT prin metoda elementelor finite pe modele cu osteosinteză centromedulară și osteosinteză laterală ne-a ajutat să evidențiem zonele de concentrări de forțe, deformația relativă echivalentă și totală, tensiunea echivalentă, tensiunile de forfecare, tensiunile normale și principale, și ne-au permis concluzionarea cu aplicabilitate în practica medicală pentru evitarea eșecurilor.

Metoda elementelor finite sau analiza cu elemente finite (FEA) are la bază conceptul construirii unor obiecte complexe folosind elemente simple sau a împărțirii unor obiecte complexe în segmente mici, ușor de manipulat. Astfel, orice obiect compus din forme geometrice poate fi reprezentat prin forme geometrice simple, reprezentate de elemente triunghiulare.

Pentru acest studiu am folosit programele Autodesk Inventor Professional 2016, Mimics Innovation Suite (Mimics și 3-matic) și ANSYS Workbench 16.

Utilizarea acestor programe ne-a ajutat să efectuăm o serie de comenzi complexe care au făcut posibilă analiza imaginilor obținute din tomografiile computerizate prin realizarea unor modele biomecanice 3D care reproduc fidel humerusul proximal și segmentele de fractură.

Am efectuat o analiză comparativă a celor două metode de osteosinteză pentru fracturile de humerus proximal la pacienții cu osteoporoză calculând zonele de concentrări de forțe, deformația relativă echivalentă și totală, tensiunea echivalentă, tensiunile de forfecare, tensiunile normale și principale după încărcare cu greutateți crescânde pentru fiecare metodă de osteosinteză în parte.

Astfel, osteosinteza centromedulară a suferit o deformare relativă echivalentă maximă de aproximativ 5,1081 mm/mm, mai puțin de jumătate din valoarea înregistrată pentru osteosinteza laterală, care a suferit o deformare relativă echivalentă maximă de aproximativ 13,63 mm/mm.

Tensiunea echivalentă pentru osteosinteza cu tijă a înregistrat un maxim de 73.107 MPa, iar osteosinteza cu placă a înregistrat o tensiune echivalentă maximă de 152.335 MPa, de două ori mai mult decât pentru osteosinteza cu tijă.

Utilizând în continuare încărcarea cu greutateți crescânde am obținut rezultate similare pentru cele două metode de osteosinteză. O deformație totală de 4,7142 mm pentru osteosinteza centromedulară cu tijă și 4,3069 mm pentru osteosinteza laterală cu placă tip Philos.

Tensiunile de forfecare, numite și tangențiale, în cazul osteosintezei cu tijă au înregistrat o valoare maximă de 20.435 MPa, iar pentru osteosinteza cu placă de 38.472 MPa.

Tensiunile normale obținute în urma încărcării cu greutateți crescânde au fost de 50.057 MPa pentru tija centromedulară și 187.235 MPa pentru placa blocată.

Ultimul test aplicat celor două metode de osteosinteză a fost reprezentat de calcularea tensiunilor principale cu evidențierea zonelor maxime de concentrări de forțe la nivelul capului humeral pentru ambele metode de osteosinteză. Cu toate acestea, tensiunile principale au fost observate mai mult în cazul tije decât în cazul plăcii.

Aceste teste efectuate cu ajutorul programului de simulare ANSYS ne-au ajutat să descoperim zonele maxime de concentrări de forțe și valorile maxime ale deformației relative

echivalente și totale, tensiunii echivalente, tensiunii de forfecare, tensiunii normale și principale astfel putând aplica în practica medicală aceste informații pentru evitarea eșecurilor.

Din aceste considerente concluzionăm faptul că tehnicile operatorii necesită modificări pentru a fi utile în tratamentul chirurgical al fracturilor pe os osteoporotic, evitând zonele de concentrări maxime de forțe. Șuruburile trebuie plasate în zona cu cea mai bună calitate osoasă disponibilă, care s-a dovedit a fi corticala opusă. În ceea ce privește fixarea cu placă blocată, un contact stabil la locul fracturii este cel mai important factor pentru reducerea tensiunii în placă. Pentru o mai bună stabilitate în osul osteoporotic osteosinteza centromedulară va fi introdusă prin tuberculul mare pentru evitarea migrării secundare a tijei, rămânând soluția chirurgicală de elecție pentru fracturile diafizare sau fracturile cominutive epi-meta-diafizare.