I.O.S.U.D. - Universitatea de Vest ”Vasile Goldiș” din Arad
ȘCOALA DOCTORALĂ MULTIDISCIPLINARĂ

Arad, 2024

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Inovații în diagnosticul și managementul fracturilor de astragal

Doctorand: **Paul Alexandru Deme**

Conducător de doctorat: **Prof. Univ. Dr. Alexandru Pop**

PhD THESIS SUMMARY

Inovations in the diagnosis and management of talus fractures

PhD Student: **Paul Alexandru Deme**

Scientific supervisor: **Prof. Univ. Dr. Alexandru Pop**

CUPRINS

INTRODUCERE **1**
PARTEA GENERALĂ **3**
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII **3**
1.1. NOȚIUNI DE ANATOMIE 3
1.2. FRACTURA DE ASTRAGAL 3
1.3. DIAGNOSTICUL FRACTURILOR DE ASTRAGAL 4
1.4. TRATAMENTUL FRACTURILOR DE ASTRAGAL 4
1.4.1. Tratamentul ortopedic al fracturilor de astragal 4
1.4.2. Tratamentul chirurgical al fracturilor de astragal 5
1.5. COMPLICAȚIILE FRACTURILOR DE ASTRAGAL 5
1.6. IMPRIMAREA 3D ÎN ORTOPEDIE ȘI TRAUMATOLOGIE 6
1.6.1. Generalităţi în imprimarea 3D în ortopedie şi traumatologie 6
1.6.2. Aplicabilitatea imprimării 3D în patologia osului astragal 6
1.6.3. Implantarea talusului imprimat 3D ca alternativă la protezarea totală în necroza avasculară de astragal 6
PARTEA SPECIALĂ **8**
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ **8**
2.1. IPOTEZA DE LUCRU/SCOP/OBIECTIVE GENERALE 8
2.2. CERCETAREA CLINICĂ, IMAGISTICĂ ȘI TERAPEUTICĂ 8
2.2.1. Material şi metodă 9
2.2.2. Metode de analiză a pacienţilor incluşi în studiu 9
2.3. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ 11
3. REZULTATELE CERCETĂRILOR **14**
3.1. REZULTATELE CERCETĂRII CLINICE IMAGISTICE ȘI TERAPEUTICE 14
3.1.1. Incidenţa şi distribuţia pacienţilor după tipul de tratament acordat. 14
3.1.2. Etiologia fracturilor de astragal şi distribuţia după clasificarea Hawkins 14
3.1.3. Corelaţii clinice şi imagistice 15

3.1.4. Rezultate terapeutice 15

3.1.5. Concluzii parţiale 18

3.2. REZULTATELE CERCETARII EXPERIMENTALE 19

DISCUŢII 21

CONCLUZII 23

ORIGINALITATEA PROIECTULUI ŞI CONTRIBUŢIA PERSONALĂ 26

BIBLIOGRAFIE 27

ABREVIERI UTILIZATE ÎN TEZĂ

3D	tridimensional
CT	tomografia computerizată
4K	rezoluţie orizontală de aproximativ 4.000 de pixeli
RMN	rezonanţă magnetică nucleară
SUA	statele unite ale americii
RX	radioscopie
MDCT	computer-tomografia cu multidetecţie
ORIF	open reduction and internal fixation
ESWT	terapia shockwave extracorporeala
AOFAS	societatea ortopedica americana de gleznă şi picior
AVN	necroză avasculară de astragal
3D CT	tomografia computerizată cu reconstrucţie tridimensională
CPK	creatinfosfokinaza
DICOM	standardul digital imaging and communications in medicine
STL	stereolitografie
LCD	liquid crystal display
SCJU Arad	spitalul clinic judeţean de urgenţa arad
INR	timp de protrombină
APTT	timp de tromboplastină parţială activată
SpO2	saturatie de oxigen
UPU	unitate de primiri urgenţe

INTRODUCERE

Astragalul reprezintă unul dintre cele mai importante oase de la nivelul piciorului. Realizând transferul greutății corpului la nivelul piciorului, el este adesea predispus traumatismelor de energie cinetică mare. Formând o balama anteroposterioară cu tibia și fiind o componentă esențială în trei articulații adiacente, permite un volum semnificativ de mișcări ale piciorului, astfel menținând o dinamizare corectă a mersului.

Fracturile de astragal au o incidență extrem de scăzută atât pe plan local, cât și național, însă, în ciuda frecvenței scăzute, majoritatea fracturilor de astragal prezintă un grad crescut de complexitate și un potențial ridicat de a dezvolta complicații.

Necroza avasculară de astragal reprezintă cea mai frecventă complicație, fiind întâlnită atât în cazurile abordate conservator, cât și în cele abordate chirurgical, reprezentând o condiție invalidantă în lipsa unui tratament prompt și eficient.

Metodele terapeutice, atât chirurgicale, cât și non-chirurgicale, au progresat în ultimii ani, oferind medicilor ortopezi opțiuni terapeutice adaptate fiecărui caz. Cu toate acestea, aprofundarea acestei patologii a fost insuficient abordată la nivel național, constituind o motivație personală în alegerea temei de cercetare.

Imprimarea 3D a devenit o tehnologie revoluționară în diverse domenii medicale, iar ortopedia și traumatologia sunt printre acestea. În ultimii ani, am observat cum aceste tehnologii avansate au deschis noi orizonturi în tratamentul fracturilor complexe, inclusiv cele de astragal.

Interesul meu pentru biomecanica gleznei, pentru patologia traumatică a astragalului, cât și pentru tehnologiile emergente, cum este imprimarea 3D, m-au determinat în alegerea temei de cercetare "Inovații în diagnosticul și managementul fracturilor de astragal".

Adoptarea unui tratament conservator sau a unei tehnici chirurgicale optime în cazul fracturilor de astragal reprezintă o provocare pentru medicii ortopezi, datorită complexității anatomice a astragalului, a tehnicii chirurgicale aplicate, cât și datorită prevalenței crescute a necrozei avasculare, reprezentând o motivație suplimentară pentru alegerea acestei teme.

Aplicarea personală a tehnicilor de osteosinteză cu broșe sau șuruburi în fracturile de astragal de tip Hawkins II, III sau IV, avantajele și dezavantajele celor două tehnici, precum

și diferențele semnificative între rezultatele terapeutice obținute, m-au condus spre definitivarea unui studiu în acest sens.

Diferențele vizibile între radiografia standard ca metodă diagnostică și examinarea imagistică CT cu reconstrucție 3D reprezintă un subiect controversat la nivel internațional, punându-se accent pe introducerea examinării CT ca metodă standardizată.

Tehnica imprimării 3D a modelelor de astragal fracturate aduce noi perspective în viziunea diagnosticului de precizie și a planificării pre-terapeutice a acestor fracturi, prin posibilitatea studierii în calitate 4K a modelelor izolate de fractură, cât și a manipulării acestor modele fără consecințe directe asupra pacienților.

Consider că dorința de cunoaștere, aprofundare și perfecționare continuă în tehnicile convenționale și moderne de diagnostic și tratament al fracturilor de astragal, precum și contribuirea la dezvoltarea cercetării medicale, reprezintă o motivație importantă în alegerea temei de cercetare.

PARTEA GENERALĂ

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

1.1. NOȚIUNI DE ANATOMIE

Anatomia reprezintă baza fundamentală în toate specializarile chirurgicale, îndeosebi în Ortopedie și Traumatologie. În lucrarea prezentată, anatomia complexă a astragalului joacă un rol important în particularitățile fracturilior de astragal atât din punct de vedere osos cât și din punct de vedere vascular [1].

Anatomia astragalului este esențială în înțelegerea particularităților fracturilor acestui os, în special din perspectiva structurii osoase și a vascularizației. Capul astragalului are o suprafață articulară mare, ovalară, care se articulează cu navicularul și calcaneul. Colul astragalului, o porțiune îngustată între corp și cap, este predispus la fracturi și are patru suprafețe. Corpul astragalului este divizat în mai multe suprafețe, fiecare cu roluri specifice în articulațiile cu oasele adiacente, iar vascularizația sa complexă provine din mai multe surse arteriale, inclusiv artera canalului tarsian și artera deltoidiană. Aceste artere, alături de numeroase anastomoze, asigură un flux sanguin esențial pentru viabilitatea osului, însă fracturile, în special ale colului, pot compromite acest aport vascular, crescând riscul de necroză avasculară [2].

1.2. FRACTURA DE ASTRAGAL

Fracturile de astragal sunt rare, reprezentând sub 1% din totalul fracturilor umane și între 3% și 6% din fracturile piciorului. Sunt mai frecvente la tineri și sunt adesea rezultatul traumatismelor cu energie cinetică mare, cum ar fi accidentele rutiere sau căderile de la înălțime. Fracturile de cap de astragal sunt cele mai rare, în timp ce fracturile de corp sunt mai frecvente. Mecanismul de producere variază, incluzând flexia dorsală forțată și compresia axială. Clasificarea Hawkins, dezvoltată inițial în 1970 și extinsă ulterior, este utilizată pentru evaluarea, managementul și prognosticul acestor fracturi [3].

1.3. DIAGNOSTICUL FRACTURILOR DE ASTRAGAL

Examenul clinic pentru fractura de astragal este crucial, implicând inspecţie şi palpare. În fracturile fără deplasare, simptomele sunt similare cu cele ale unei entorse de gleznă, necesitând radiografii sau CT pentru diagnostic. În cazurile cu deplasare, simptomele sunt mai evidente, cu durere intensă şi impotenţă funcţională totală [4].

Radiografiile sunt primul pas în diagnostic, dar au limitări, în special pentru fracturile subtile sau în cazurile critice. Examinarea CT este esenţială pentru evaluarea detaliată şi planificarea chirurgicală, având o sensibilitate mai mare decât radiografiile, mai ales în cazurile complexe.

1.4. TRATAMENTUL FRACTURILOR DE ASTRAGAL

Tratamentul fracturilor de astragal variază în funcţie de tipul şi gravitatea fracturii, precum şi de starea generală a pacientului. În general, există două abordări majore: tratamentul ortopedic şi tratamentul chirurgical.

1.4.1. Tratamentul ortopedic al fracturilor de astragal

Tratamentul ortopedic este recomandat în special pentru fracturile fără deplasare sau când intervenţia chirurgicală este contraindicat datorită vârstei sau comorbidităţilor pacientului. În fracturile de col astragalian tip Hawkins I, tratamentul conservator include imobilizarea piciorului în cizmă gipsată pentru 8-10 săptămâni, fără sprijin în primele 6-8 săptămâni [5].

În fracturile tip Hawkins II, dacă reducerea ortopedică este anatomică, se poate utiliza osteosinteza percutană cu şuruburi de spongie. Fracturile de col astragalian tip Hawkins III şi IV, precum şi cele cu luxaţie, necesită de obicei tratament chirurgical datorită complexităţii şi riscului de necroză avasculară.

Avantajele tratamentului conservator includ reducerea riscului de infecţii şi evitarea lezării suplimentare a vascularizaţiei compromise. Dezavantajele constau în riscul pierderii reducerii anatomice şi instabilitatea fragmentelor osoase.

1.4.2. Tratamentul chirurgical al fracturilor de astragal

Tratamentul chirurgical este indicat atunci când tratamentul ortopedic eșuează sau când tipul de fractură necesită intervenție chirurgicală pentru o stabilizare adecvată. Există diferite aborduri chirurgicale, inclusiv abordurile anterolateral, anteromedial și lateral direct, fiecare oferind avantaje specifice în funcție de localizarea și tipul fracturii. Osteosinteza sângerândă, cum ar fi ORIF (open reduction internal fixation), este o tehnică frecvent utilizată pentru a asigura o fixare stabilă a fragmentelor osoase [6].

În cazul fracturilor deschise, managementul inițial include debridarea și reducerea ortopedică temporară. Dacă pacientul prezintă politraumatisme, osteosinteza definitivă poate fi amânată până la reducerea edemului. În cazurile de fracturi deschise cu cominuție severă, se poate recurge la fixare externă sau la osteosinteză minim-invazivă, cu posibilitatea de reconstrucție ulterioară [7].

Tratamentul chirurgical adecvat este crucial pentru a asigura o bună stabilizare și a reduce riscurile de complicații pe termen lung, cum ar fi necroza avasculară sau artroza posttraumatică.

1.5. COMPLICAȚIILE FRACTURILOR DE ASTRAGAL

Necroza avasculară de astragal, cunoscută și sub denumirea de necroză aseptică de astragal, este o complicație severă care apare frecvent după fracturile de astragal. Gradul acestei complicații este proporțional cu severitatea fracturii. Pe lângă cauzele traumatologice, necroza avasculară poate fi provocată și de consumul de alcool, utilizarea steroizilor, dislipidemii și cauze idiopatice. Diagnosticul este dificil și necesită atenție sporită din partea ortopedului, mai ales în cazurile de traumă severă [8].

Tratamentul este dificil, având adesea rezultate modeste. Managementul preoperator și imagistica sunt esențiale pentru a determina stadiul și severitatea necrozei. Opțiunile de tratament variază de la imobilizarea fără sprijin și terapii cu ultrasunete, până la intervenții chirurgicale complexe, cum ar fi decompresia cu foraje, autografe și artrodeză.

Tratamentul conservator este rezervat pentru stadiile incipiente, încercând să prevină prăbușirea domului talar până la revascularizare. Tratamentul chirurgical, cum ar fi decompresia prin foraje, este eficient în stadiile incipiente. În cazurile mai avansate, se recurge la protezarea talară sau la artrodeză, însă rezultatele pot fi limitate, provocând

dizabilităţi considerabile. Protezarea totală de gleznă este în dezvoltare, dar rămâne o provocare, mai ales în cazurile de necroză avasculară avansată.

1.6. IMPRIMAREA 3D ÎN ORTOPEDIE ŞI TRAUMATOLOGIE

1.6.1. Generalităţi în imprimarea 3D în ortopedie şi traumatologie

Imprimarea 3D reprezintă o tehnologie inovatoare cu aplicabilitate largă în ortopedie şi traumatologie, fiind folosită pentru crearea de orteze personalizate, modele anatomice precise pentru planificarea intervenţiilor chirurgicale şi antrenamentul chirurgical, ghiduri chirurgicale personalizate şi implante metalice adaptate pacientului. De asemenea, imprimarea 3D contribuie la dezvoltarea unor noi ţesuturi şi organe, oferind posibilităţi de tratament personalizat şi îmbunătăţind eficienţa procedurilor medicale. În ciuda potenţialului său, utilizarea acestei tehnologii nu este încă larg răspândită, în parte din cauza lipsei de cunoştinţe în rândul chirurgilor.

1.6.2. Aplicabilitatea imprimării 3D în patologia osului astragal

Imprimarea 3D s-a dovedit eficientă în înlocuirea osului astragal (talus) în cazuri de necroză avasculară, oferind rezultate clinice favorabile. Într-un studiu efectuat pe 9 pacienţi, protezele talare imprimate 3D au fost plasate cu precizie, iar pacienţii au prezentat îmbunătăţiri semnificative în ceea ce priveşte înălţimea talusului, unghiul lui Meary şi reducerea durerii, conform Scala Analogică Vizuală (VAS). Nu s-au observat complicaţii majore postoperatorii, iar satisfacţia pacienţilor a fost ridicată [9].

1.6.3. Implantarea talusului imprimat 3D ca alternativă la protezarea totală în necroza avasculară de astragal

Un caz notabil implică utilizarea imprimării 3D pentru crearea unui talus personalizat la o pacientă de 19 ani cu necroză avasculară, cauzată de tratamentul cu corticosteroizi. Procedura a presupus utilizarea imaginilor CT pentru crearea unui model precis al talusului, urmată de imprimarea şi implantarea acestuia. În timpul intervenţiei, osul talus nativ a fost îndepărtat şi înlocuit cu proteza imprimată 3D, care a oferit o stabilitate excelentă şi o recuperare rapidă, pacienta fiind mobilizată în doar două săptămâni. Această abordare oferă

o alternativă promițătoare la procedurile tradiționale, cu beneficii semnificative în termeni de recuperare și eficiență [10].

PARTEA SPECIALĂ

CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

2.1. IPOTEZA DE LUCRU/SCOP/OBIECTIVE GENERALE

Imprimarea 3D a câștigat recunoaștere în rândul specialiștilor în ortopedie pentru tratamentul fracturilor de astragal, dar aplicarea sa în diagnosticul și managementul acestora este încă în dezvoltare. Tehnologia permite o vizualizare detaliată a fracturilor, traiectelor și fragmentelor, oferind avantaje semnificative comparativ cu metodele imagistice tradiționale, precum radiografiile și CT-ul. Acest lucru facilitează planificarea preoperatorie și testarea tehnicilor de osteosinteză.

Scopul cercetării este de a demonstra superioritatea imprimării 3D în comparatie cu metodele convenționale, printr-o abordare clinică și experimentală. Studiul va analiza eficiența tratamentelor conservatoare și chirurgicale în gestionarea fracturilor de astragal, inclusiv utilizarea imprimării 3D pentru vizualizarea fracturii și planificarea intervenției. În plus, va explora impactul imprimării 3D asupra planificării preoperatorii și evaluării statusului fracturii și a progresiei către necroza avasculară.

Imprimarea 3D oferă noi perspective în diagnostic și tratament, îmbunătățind planificarea și reducând riscurile de complicații. Deși fracturile de astragal sunt rare și experiența în acest domeniu este limitată, integrarea imprimării 3D poate aduce beneficii semnificative, avansând astfel practica ortopedică și îmbunătățind rezultatele clinice. Această cercetare va contribui la înțelegerea și promovarea tehnologiei inovatoare în gestionarea fracturilor de astragal.

2.2. CERCETAREA CLINICĂ, IMAGISTICĂ ȘI TERAPEUTICĂ

Cercetarea clinică, imagistică și terapeutică realizată în cadrul Clinicii de Ortopedie - Traumatologie a Spitalului Clinic Județean de Urgență Arad se concentrează pe evaluarea eficacității osteosintezei fracturilor de astragal folosind broșe sau șuruburi pe o perioadă de 8 ani. Studiul vizează optimizarea managementului fracturilor de astragal prin compararea

rezultatelor tratamentului conservator cu cele obținute prin osteosinteză. Obiectivele principale sunt analiza rezultatelor imediate și pe termen lung ale tratamentului, inclusiv aspectele clinice, imagistice și funcționale. O bază de date detaliată va fi constituită pentru a facilita comparațiile și analizele. Studiul va examina rezultatele clinice și radiologice pre și postoperatorii și le va compara cu datele din literatura de specialitate și alte metode anterioare. Scopul final este de a demonstra utilitatea osteosintezei cu broșe sau șuruburi și a tratamentului conservator, contribuind la îmbunătățirea practicii clinice și optimizarea managementului fracturilor de astragal. Acest demers se bazează pe o infrastructură clinică adecvată și pe perioada extinsă de studiu, oferind perspective valoroase asupra eficacității fiecărei metode terapeutice.

2.2.1. Material și metodă

Studiul prospectiv desfășurat între 2016 și 2023 în cadrul Secției de Ortopedie - Traumatologie a Spitalului Clinic Județean de Urgență Arad a investigat tratamentul fracturilor de astragal prin compararea eficacității osteosintezei cu broșe și șuruburi cu tratamentul conservator. Au fost incluși 33 de pacienți, cu vârste între 18 și 80 de ani, diagnosticați cu fracturi de astragal de tipurile Hawkins I, II, III și IV. Pacienții au fost împărțiți în trei grupuri: unul tratat cu osteosinteză cu broșe, unul cu șuruburi și unul tratat conservator. Studiul a implicat monitorizarea atentă a evoluției fiecărui pacient, analizând rezultatele clinice, imagistice și terapeutice. Cercetarea a fost realizată atât clinic, cât și experimental, respectând standardele etice, cu consimțământ informat obținut de la toți participanții. Datele au fost colectate de la admiterea inițială până la urmărirea ulterioară în ambulatoriu, inclusiv intervențiile chirurgicale suplimentare. Studiul a folosit tehnici imagistice avansate, precum radiografia, IRM și CT, pentru a evalua rezultatele postoperatorii. Scopul a fost de a oferi noi perspective asupra managementului fracturilor de astragal și de a compara eficiența diferitelor metode terapeutice.

2.2.2. Metode de analiză a pacienților incluși în studiu

Studiul prospectiv a fost realizat pe o perioadă de 8 ani (2016-2023) în cadrul Secției de Ortopedie - Traumatologie a Spitalului Clinic Județean de Urgență Arad și a inclus 33 de

pacienţi cu fracturi de astragal de tipurile Hawkins I-IV. Pacienţii au fost împărţiţi în trei grupuri: tratament conservator (Lotul I), osteosinteză cu şuruburi (Lotul II) şi osteosinteză cu broşe (Lotul III).

Criterii de includere şi excludere:

- **includere:** pacienţi cu fracturi de astragal Hawkins I-IV, cu indicaţie pentru tratament conservator sau chirurgical, vârstă minimă 18 ani.
- **excludere:** fracturi pe os patologic, chiste, tumori maligne.

Evaluarea clinică

Evaluările clinice iniţiale şi postoperatorii au fost realizate de aceeaşi echipă de medici, incluzând examinări clinice şi imagistice (radiografie, CT cu reconstrucţie 3D) pentru clasificarea fracturii şi stabilirea tratamentului optim. Monitorizarea postoperatorie a evaluat progresul plăgilor, mobilitatea şi consolidarea osoasă.

Investigaţii de laborator

Bilanţul biologic a inclus analize standard (grupa sanguină, hemoleucogramă, uree, creatinină, glicemie, transaminaze, timpi de coagulare) şi, în cazuri de politraumatisme, analize suplimentare. Monitorizarea dinamică a fost esenţială pentru pacienţii cu comorbidităţi şi niveluri scăzute de hemoglobină.

Investigaţii imagistice

Investigaţiile imagistice au inclus radiografii antero-posterioare şi laterale ale gleznei şi piciorului, CT pentru detalii suplimentare şi RMN în cazuri de necroză avasculară suspectată. Monitorizarea postoperatorie a urmat un protocol specific pentru evaluarea consolidării osoase şi identificarea complicaţiilor.

Tratament ortopedic conservator

Pentru fracturi Hawkins I şi unele Hawkins II, s-a aplicat imobilizare gipsată. Tehnica a presupus un gips gambiero-podal cu flexie şi inversiune.

Tehnici chirurgicale:

- **osteosinteză cu șuruburi:** procedura a implicat incizii antero-laterale sau alte aborduri pentru reducerea și stabilizarea fracturii cu șuruburi, utilizând fluoroscopie pentru verificarea aliniamentului.
- **osteosinteză cu broșe:** utilizarea broșelor kirschner prin incizii minime sau percutane, având ca scop stabilizarea fracturii cu invazivitate redusă.

Monitorizarea pe termen lung și scurt:

Supravegherea a inclus evaluări clinice și radiologice periodice, cu radiografii și CT pentru consolidarea osoasă și RMN pentru necroză avasculară. Evaluarea funcționalității articulare s-a realizat la intervale de 1, 2, 3, 6 și 12 luni, pentru a identifica complicațiile și a optimiza recuperarea. Acest studiu a oferit perspective asupra eficacității diferitelor metode de tratament pentru fracturile de astragal și a contribuit la îmbunătățirea managementului clinic al acestei afecțiuni ortopedice.

2.3. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ

În cadrul cercetării, am implementat tehnologia de imprimare 3D pentru a îmbunătăți planificarea preoperatorie a fracturilor de astragal. Această tehnologie permite crearea unor modele tridimensionale detaliate ale structurilor osoase afectate, facilitând o pregătire mai precisă pentru intervențiile chirurgicale. Utilizarea imprimării 3D contribuie la o evaluare mai profundă a complexității anatomice a fracturii, ajutând la anticiparea dificultăților și ajustarea strategiilor chirurgicale în funcție de particularitățile fiecărui pacient. Acest lucru conduce la o scădere a duratei intervențiilor, îmbunătățirea rezultatelor postoperatorii și reducerea prevalenței necrozei avasculare a astragalului.

Tehnologia 3D permite o vizualizare exactă a traiectelor și fragmentelor osoase, ceea ce ajută la planificarea mai eficientă a aplicării materialelor de osteosinteză, precum plăcile și șuruburile. În plus, imprimarea 3D facilitează exercițiile de aliniere a fragmentelor osoase și determinarea celor mai eficiente strategii de fixare internă, minimizând astfel timpul operator și îmbunătățind precizia intervențiilor. Modelele 3D permit, de asemenea, evaluarea precisă a riscurilor chirurgicale, inclusiv lezarea țesuturilor adiacente, și contribuie la o recuperare mai rapidă și eficientă.

Cercetarea urmărește să studieze impactul imprimării 3D asupra diagnosticării fracturilor de astragal și planificării intervențiilor chirurgicale. Scopul este să se compare rezultatele obținute prin tehnologia 3D cu cele obținute prin metodele convenționale, să se investigheze precizia ghidării inserției de șuruburi și broșe, să se determine eficiența în reducerea riscurilor chirurgicale și să se analizeze modul în care simulările 3D influențează durata de recuperare postoperatorie. Această metodologie inovatoare reflectă progresele în tehnologia ortopedică și oferă o abordare personalizată și detaliată în tratamentul fracturilor complexe.

Studiul experimental, desfășurat între 01.10.2016 și 01.10.2023, a fost conceput pentru a evalua utilizarea imprimării 3D în managementul fracturilor de astragal. Pacienții incluși în studiu au fost selectați din trei loturi, iar fiecare a fost supus unei tomografii computerizate (CT) a gleznei, cu reconstrucție tridimensională (3D), pentru a facilita crearea modelelor 3D.

Pentru imprimarea 3D, fișierele DICOM obținute de la CT au fost convertite în fișiere STL folosind software-ul EXOCAD. Acest software a permis izolarea talusului fracturat din articulațiile adiacente, cum ar fi tibio-astragaliană, talo-naviculară și talo-calcaneană. Imprimarea efectivă s-a realizat cu o imprimantă 3D Anycubic 4K, care utilizează tehnologia LCD pentru a polimeriza rășina fotoreactivă. Această imprimantă oferă o rezoluție de 4K, esențială pentru obținerea unor modele detaliate și precise.

După imprimare, modelele 3D au fost comparate cu rezultatele obținute prin metodele tradiționale de diagnosticare și planificare preoperatorie pentru a evalua eficacitatea și precizia tehnicii de imprimare 3D. Studiul a urmărit să determine dacă utilizarea imprimării 3D îmbunătățește rezultatele chirurgicale în comparație cu metodele convenționale.

Pentru a fi incluși în studiul experimental, pacienții trebuiau să aibă vârste de peste 18 ani și să fie diagnosticați cu fracturi de astragal de tip Hawkins I, II, III sau IV, confirmate prin CT cu reconstrucție 3D. Au fost excluși pacienții cu fracturi de os trigon și cei care nu au beneficiat de CT cu reconstrucție 3D.

Studiul a implicat colaborarea unui laborator de tehnică dentară, dotat cu echipamentele necesare pentru vizualizarea, modelarea și imprimarea 3D a fracturilor. Un tehnician dentar specializat a prelucrat modelele digitale importate din reconstrucțiile CT,

folosind programul Exoplan pentru conversia fișierelor DICOM în STL și pentru izolarea detaliată a fracturii. Modelul STL generat a fost apoi importat în programul Anycubic pentru simularea imprimării, înainte de a începe efectiv procesul de imprimare, care a durat între 45 și 70 de minute.

Modelele imprimate au fost examinate pentru a asigura detaliile anatomice necesare planificării preoperatorii. Imaginile 3D rezultate au fost analizate pentru a evalua acuratețea reprezentării fracturilor și pentru a determina dacă această tehnologie poate îmbunătăți planificarea chirurgicală, reducând durata intervențiilor și îmbunătățind alinierea osoasă.

Acest studiu a demonstrat cum imprimarea 3D poate contribui semnificativ la managementul fracturilor de astragal prin crearea unor modele precise care facilitează o planificare chirurgicală mai eficientă și o intervenție mai bine adaptată la specificul fiecărui caz.

3. REZULTATELE CERCETĂRILOR

3.1. REZULTATELE CERCETĂRII CLINICE IMAGISTICE ȘI TERAPEUTICE

3.1.1. Incidența și distribuția pacienților după tipul de tratament acordat.

Studiul personal realizat la Secția Clinică Ortopedie – Traumatologie a SCJU Arad a arătat că, dintre pacienții cu fracturi de astragal internați pe parcursul cercetării, 72,73% (24 pacienți) au beneficiat de tratament chirurgical, în timp ce 27,27% (9 pacienți) au fost tratați conservator. Analiza distribuției pe sexe a indicat că 70% dintre pacienți sunt bărbați și 30% sunt femei, sugerând că bărbații sunt mai predispuși la aceste fracturi, probabil din cauza activităților fizice riscante sau muncii grele.

3.1.2. Etiologia fracturilor de astragal și distribuția după clasificarea Hawkins

Studiul a relevat că fracturile de astragal sunt clasificate în principal în tipurile Hawkins II și III, cu prevalență ridicată a celor de tip II (35,9%) și III (20,5%). Fracturile de tip I și IV sunt mai puțin frecvente, dar tot importante în contextul managementului acestor leziuni.

În ceea ce privește cauzele, cele mai frecvente sunt căderile de la același nivel (46,88%), urmate de accidentele rutiere (31,25%) și căderile de la înălțime (25%). Aceste statistici sugerează că accidentele de mare energie și căderile sunt cele mai relevante riscuri pentru fracturile de astragal.

Analiza pe grupe de vârstă indică faptul că tinerii adulți (18-30 ani) sunt cei mai afectați de accidente sportive și căderi, în timp ce adulții între 30 și 60 de ani suferă frecvent fracturi din accidente de muncă și rutiere. Vârstnicii (60-80 ani) sunt expuși riscurilor

cauzate de osteoporoză și căderi domestice. Aceste date subliniază necesitatea unor măsuri preventive și de tratament specifice pentru fiecare grupă de vârstă.

3.1.3. Corelații clinice și imagistice

Graficul privind comorbiditățile pacienților indică faptul că hipertensiunea arterială este cea mai frecventă afecțiune, afectând 58,3% dintre pacienți, ceea ce sugerează necesitatea unui control strict al tensiunii pentru a preveni complicațiile cardiovasculare. Diabetul zaharat și hepatita sunt prezente la 16,7% dintre pacienți fiecare, având un impact negativ asupra vindecării și tratamentului din cauza riscurilor crescute de infecții și probleme hepatice. Osteoporoza, întâlnită la 8,3% dintre pacienți, contribuie la riscul de fracturi, în special la vârstnici, și necesită tratamente speciale pentru îmbunătățirea densității osoase. Aceste comorbidități necesită o abordare atentă și integrată în managementul pacientului, subliniind importanța personalizării tratamentului ortopedic.

În ceea ce privește investigațiile imagistice, toți cei 33 de pacienți au efectuat radiografii la internare, dar doar 30% au beneficiat și de tomografie computerizată. Deși radiografiile sunt esențiale pentru evaluarea inițială, CT-ul oferă imagini detaliate și tridimensionale ale fracturilor, esențiale pentru o planificare chirurgicală precisă. Absența CT-ului în cazul majorității pacienților poate duce la intervenții insuficient planificate și la posibile complicații post-operatorii. Implementarea CT-ului ca procedură standard în urgență ar putea îmbunătăți semnificativ precizia intervențiilor chirurgicale și rezultatele clinice, reducând riscurile și optimizând recuperarea pacientului.

3.1.4. Rezultate terapeutice

În analiza fracturilor de astragal, tratamentele aplicate au variat: 27,27% dintre pacienți au urmat un tratament conservator, 45,46% au beneficiat de osteosinteză cu broșe, iar 27,27% au fost tratați prin osteosinteză cu șuruburi. Osteosinteza cu broșe, deși mai puțin invazivă și mai economică, oferă o stabilitate mecanică mai mică și poate necesita o intervenție ulterioară pentru îndepărtarea broșelor. În contrast, osteosinteza cu șuruburi asigură o fixare mai stabilă și permanentă, dar este mai invazivă și costisitoare. Alegerea

metodei de tratament trebuie personalizată pentru fiecare pacient, ţinând cont de specificul fracturii şi preferinţele individuale.

Timpul până la intervenţia chirurgicală a variat, cu 25% dintre pacienţi operându-se în primele 24 de ore, 15% între 24 şi 48 de ore, şi 20% între 48 şi 72 de ore. Alţii au aşteptat între 72 şi 96 de ore sau între 96 şi 120 de ore, iar 5% au avut un timp de aşteptare mai lung de 120 de ore. Totuşi, majoritatea intervenţiilor au avut loc în primele 72 de ore, reflectând o bună gestionare a urgenţelor.

Durata medie de spitalizare a variat în funcţie de tipul de fractură, cu fracturile de tip I având o durată medie de 7 zile, cele de tip II de 10 zile, cele de tip III de 12,5 zile şi cele de tip IV de 15 zile. Fracturile mai severe, de tip II şi III, necesită o perioadă de spitalizare mai lungă.

Durata medie de imobilizare este uniformă la 3 luni pentru toate tipurile de fracturi, ceea ce sugerează un protocol standardizat de tratament. Această durată constantă reflectă un regim uniform de tratament, indiferent de severitatea fracturii.

Timpul necesar pentru apariţia calusului vizibil variază, majoritatea pacienţilor dezvoltându-l în 2 sau 3 luni. Un număr mic a necesitat 4 luni, indicând posibile variaţii în complexitatea fracturii sau condiţii medicale individuale. Nu există diferenţe semnificative între sexele pacienţilor în ceea ce priveşte timpul de vindecare.

În ceea ce priveşte necroza avasculară, 27,3% dintre pacienţi au dezvoltat această complicaţie. Aceasta este mai frecventă în fracturile de tip III şi IV. Durata medie de vindecare până la apariţia calusului vizibil este mai lungă pentru pacienţii cu necroză avasculară, sugerând o corelaţie între severitatea fracturii şi riscul de complicaţii. Analiza sugerează că monitorizarea atentă şi intervenţiile timpurii sunt esenţiale pentru prevenirea acestor complicaţii.

3.1.4.1. Rezultate terapeutice Lotul I

În cazul pacienţilor cu fracturi de astragal de tip Hawkins I, tratamentul standard constă în imobilizare gipsată gambiero-podală şi interdicţie de sprijin. Vindecarea s-a realizat pentru toţi pacienţii, cu excepţia unui caz în care s-a dezvoltat tardiv necroză avasculară. Perioada medie de imobilizare şi interdicţie de sprijin a fost de 2-3 luni, iar

formarea calusului vizibil a avut loc în aproximativ 2 luni pentru 44,4% dintre pacienți și în 3 luni pentru 33,3% dintre aceștia. Durata totală de recuperare a variat, influențată de statusul biologic și vârsta pacientului. Rata de succes a fost optimă, cu o bună mobilitate articulară și reluarea activităților zilnice în maxim 4 luni.

Un caz particular din lotul I a implicat o fractura-luxație deschisă de tip Hawkins III. Pacientul, un bărbat de 29 de ani, a suferit un traumatism sever la glezna dreaptă din cauza unei căderi de la înălțime. După o evaluare inițială și tratament de urgență, s-a efectuat un CT care a confirmat o fractură cominutivă a colului astragalian fără deplasare și o reducere adecvată a luxației tibio-astragaliene. Pacientul a fost internat și tratat cu succes, beneficiind de imobilizare gipsată și tratament conservator pentru 2 luni. La finalul acestei perioade, calusul osos era vizibil și pacientul a început să suporte parțial greutatea, având o recuperare completă după 3 luni.

3.1.4.2. Rezultate terapeutice Lotul II

Pentru pacienții din lotul II, diagnosticați cu fracturi de astragal de tip Hawkins II, III sau IV, s-a recomandat tratamentul chirurgical prin osteosinteză cu șuruburi. În cadrul acestui tratament, pacienții au fost supuși unor examinări clinice și paraclinice detaliate, incluzând radiografie, tomografie computerizată și, în cazurile cu risc de necroză avasculară, imagistică prin rezonanță magnetică. Analizele de sânge au completat evaluarea, asigurând o bază solidă pentru decizia chirurgicală.

Din totalul pacienților, majoritatea au avut o durată standard de imobilizare de 3 luni, iar perioada de interdicție de sprijin a fost similară pentru 77% dintre aceștia. Apariția calusului vizibil a variat, cu 44% dintre pacienți având calusul vizibil după 3 luni și 11% după 1 lună. Un procent de 22% dintre pacienți au dezvoltat necroză avasculară post-traumatică, această rată fiind consistentă cu literatura existentă, în special în contextul fracturilor mai severe, cum ar fi cele de tip Hawkins IV.

Un exemplu de caz a implicat un pacient cu fractură cu deplasare de tip Hawkins II, tratat prin osteosinteză minim invazivă. După o perioadă de imobilizare de 60 de zile, calusul osos a fost vizibil și pacientul a început să suporte parțial greutatea. Recuperarea completă a fost obținută în 4 luni, incluzând tratamente de fizioterapie și kinetoterapie.

Un alt caz a prezentat o fractura-luxație de tip Hawkins III, care a necesitat o intervenție chirurgicală de urgență pentru reducerea luxației și stabilizarea fracturii cu șuruburi canelate. Intervenția a inclus un abord anteromedial pentru reducerea fracturii și un al doilea șurub canelat introdus minim invaziv pentru stabilizare. Pacientul a fost re-imobilizat și a beneficiat de o recuperare bună după intervenție.

3.1.4.3. Rezultate terapeutice Lotul III

În lotul III, pacienții au fost diagnosticați cu fracturi de astragal de tip II, III sau IV, adesea cu caracteristici complexe precum cominuția și tulburările circulatorii. Tratamentul a inclus osteosinteză minim invazivă folosind broșe Kirschner, datorită naturii severe a fracturilor, cum ar fi cele cu deschidere sau cominuție semnificativă.

Toți pacienții din acest lot au necesitat 3 luni de imobilizare gipsată și o interdicție de sprijin pe aceiași perioadă. Formarea calusului osos a variat, fiind observată la majoritatea pacienților după 2 sau 3 luni. Aproximativ 40% dintre pacienți au dezvoltat necroză avasculară, un risc crescut asociat în special cu fracturile de tip III și IV, care sunt cunoscute pentru predispoziția lor spre această complicație.

Un caz specific a implicat un pacient cu fractură-luxație cominutivă de astragal și fractură bimaleolară, cauzată de un accident rutier. După o evaluare detaliată și tratamente conservatoare inițiale, pacientul a fost supus unei intervenții chirurgicale complexe cu broșe Kirschner, urmate de imobilizare gipsată. După 4 luni, pacientul a prezentat semne de necroză avasculară confirmate prin RMN, ceea ce a condus la luarea în considerare a unor opțiuni de tratament suplimentare, inclusiv posibilitatea protezării gleznei sau astragalului.

Astfel, gestionarea fracturilor complexe de astragal din lotul III a necesitat o abordare atentă și personalizată, având în vedere riscurile asociate și complexitatea cazurilor.

3.1.5. Concluzii parțiale

Rezultatele cercetării clinice, imagistice și terapeutice au evidențiat diferențele dintre cele trei opțiuni de tratament pentru fracturile de astragal: tratamentul conservator, osteosinteza cu șuruburi și osteosinteza cu broșe Kirschner. Studiul a inclus pacienți cu

fracturi de astragal de tip Hawkins I, II, III și IV și a oferit date esențiale privind etiopatogenia, managementul terapeutic și rezultatele obținute.

Pentru pacienții cu fracturi de astragal de tip Hawkins I, tratamentul conservator a demonstrat rezultate bune, cu o prevalență scăzută a necrozei avasculare și o recuperare eficientă. În cazul pacienților cu fracturi de tip Hawkins II, III și IV, osteosinteza cu șuruburi a avut rezultate post-operatorii favorabile, reducând timpul de imobilizare și accelerând consolidarea fracturii, comparativ cu tratamentele alternative.

Pacienții cu fracturi complexe sau cu tulburări circulatorii severe, tratati prin osteosinteză cu broșe Kirschner, au beneficiat de o abordare minim invazivă care a redus riscurile infecțiilor, dar au avut o prevalență mai mare a necrozei avasculare comparativ cu cei tratați cu șuruburi. Comparativ, osteosinteza cu șuruburi a oferit rezultate terapeutice superioare, cu o mai bună compactare a focarului fracturar și un risc mai mic de necroză avasculară. Având în vedere frecvența foarte redusă a acestor fracturi, acest studiu aduce o contribuție semnificativă comunității științifice, oferind rezultate terapeutice valoroase și strategii eficiente pentru managementul fracturilor de astragal.

3.2. REZULTATELE CERCETARII EXPERIMENTALE

Rezultatele studiului imprimarii 3D ca metoda diagnostică de precizie în managementul pre-terapeutic al fracturilor de astragal

În cadrul studiului experimental, pacienții au fost selectați din cele trei loturi de cercetare în funcție de complexitatea fracturii și posibilitatea de a realiza tomografii computerizate cu reconstrucție 3D. Aproximativ 70% dintre pacienții pentru care s-au efectuat astfel de tomografii au fost incluși în studiul experimental și au beneficiat de imprimare 3D.

Distribuția tratamentelor în studiul experimental a fost variată: 14,28% dintre pacienți au fost tratați conservator, 28,57% au fost supuși osteosintezei cu broșe Kirschner, iar 57,15% au fost tratați cu osteosinteză cu șuruburi. Utilizarea imprimării 3D pentru planificarea preoperatorie a permis o mai bună fixare și compactare a focarelor de fractură, contribuind la obținerea unor rezultate post-operatorii superioare. Din pacienții incluși în

studiul experimental, 14,28% au dezvoltat necroză avasculară, un procent scăzut ce subliniază eficienţa metodei de imprimare 3D în reducerea riscurilor.

În cazul unui pacient cu fractură-luxaţie cominutivă tip Hawkins III, imaginile obţinute prin reconstrucţie 3D şi importate în programul Exocad au permis vizualizarea detaliată a luxaţiei şi fracturii, facilitând o evaluare precisă a fragmentelor şi a suprafetelor articulare. Izolarea şi imprimarea fragmentelor au permis generarea unor modele 3D precise care au fost utilizate pentru a simula intervenţia chirurgicală, oferind o planificare detaliată şi îmbunătăţind rezultatele terapeutice.

Un alt caz, cu fractură-luxaţie cominutivă şi fractură bimaleolară, a beneficiat de similară tehnică de imprimare 3D, permiţând izolarea şi imprimarea fiecărui fragment de fractură. Aceste modele 3D au demonstrat utilitatea lor în planificarea şi simularea preoperatorie, facilitând abordarea chirurgicală de precizie.

Concluziile studiului experimental subliniază eficienţa imprimării 3D în diagnosticarea şi gestionarea fracturilor complexe de astragal. Modelele 3D au oferit o vizualizare detaliată a fracturilor şi au permis simularea intervenţiilor chirurgicale, contribuind la o planificare mai precisă şi reducând riscurile asociate. Această tehnică modernă nu doar că îmbunătăţeşte rezultatele terapeutice, dar deschide şi perspective pentru dezvoltarea ulterioară, inclusiv posibilitatea imprimării 3D a osului astragal pentru artroplastia totală.

DISCUȚII

Fracturile de astragal sunt rare, reprezentând doar 0,1% până la 0,85% din totalul fracturilor membrului pelvin, iar managementul acestora necesită o abordare specializată datorită complexității și riscurilor asociate, cum ar fi necroza avasculară, o complicație frecventă și problematică. Deși studiile recente din Europa, SUA și China au început să exploreze aceste fracturi, există o lacună în literatura națională în ceea ce privește tehnicile moderne și inovațiile din domeniu [11].

Progresul tehnologic în imprimarea 3D a avut un impact semnificativ în ortopedie, incluzând crearea de proteze personalizate și plăci interne pentru stimularea matricei osoase. În fracturile de astragal, această tehnologie a permis realizarea de proteze personalizate și modelarea precisă a fracturilor. Studiul nostru, efectuat pe o perioadă de 8 ani, a inclus un număr semnificativ de pacienți cu fracturi de astragal, dintre care 72,7% au beneficiat de tratament chirurgical, în principal pentru fracturi cu deplasare tip II, III sau IV conform clasificării Hawkins [12].

Analiza a evidențiat o predominanță a fracturilor de astragal în rândul bărbaților (70%), datorită accidentelor rutiere, activităților sportive și muncii fizice. Fracturile tip Hawkins II au fost cele mai frecvente, cauzate în principal de căderi de la același nivel, iar accidentele rutiere au contribuit semnificativ la fracturi complexe.

Managementul politraumatismelor a fost adesea complicat de alte traume asociate, iar intervențiile chirurgicale au fost adesea amânate pentru stabilizarea hemodinamică a pacienților. Distribuția pe grupe de vârstă a arătat că majoritatea pacienților au fost în intervalul 30-60 de ani, iar fracturile de astragal sunt din ce în ce mai frecvente și în rândul tinerilor, în special în contextul snowboarding-ului.

Comorbiditățile frecvente au inclus hipertensiunea arterială și diabetul zaharat, necesită evaluări și tratamente suplimentare pentru a minimiza riscurile perioperatorii. Tratamentul conservator a fost eficient pentru fracturile fără deplasare (Hawkins I), cu o rată redusă de necroză avasculară (11,1%). Osteosinteza cu șuruburi a demonstrat rezultate superioare față de osteosinteza cu broșe Kirschner, oferind o stabilizare mai bună și o incidență mai mică a necrozei avasculare (22% comparativ cu 40%) [13].

Imprimarea 3D a fost utilizată pentru a îmbunătăţi planificarea preoperatorie, permiţând o vizualizare detaliată a fracturilor şi simularea reducerii acestora. Studiul a arătat că utilizarea tehnicii de imprimare 3D a redus semnificativ incidenţa necrozei avasculare şi a îmbunătăţit rezultatele terapeutice.

În ansamblu, cercetarea subliniază importanţa utilizării tehnologiilor avansate în managementul fracturilor de astragal, evidenţiind beneficiile osteosintezei cu şuruburi şi a imprimării 3D pentru îmbunătăţirea rezultatelor clinice şi reducerea complicaţiilor.

CONCLUZII

1. Studiul prospectiv demonstrează incidența extrem de redusă a fracturilor de astragal în patologia traumatică a membrului pelvin, de până la 0,85%, acest fapt conducând la o insuficientă abordare științifică a acestor fracturi la nivel național.
2. Abordarea tuturor celor 4 tipuri de fracturi după clasificarea Hawkins a oferit o perspectivă amplă asupra managementului fiecărui tip, de la opțiunea de tratament la rezultatele terapeutice și prevalența necrozei avasculare de astragal.
3. Incidența crescută la pacienții de sex masculin de 70% a evidențiat clar că mecanismele de producere, respectiv căderile de la înălțime cauzate de accidente la locul de muncă sau căderi accidentale, accidentele rutiere în calitate de șofer, cât și căderile de la același nivel, unele prin accidentări sportive, au o prevalență crescută la persoanele de acest sex.
4. Examinările clinice și paraclinice au oferit informații importante necesare stabilirii unui diagnostic definitiv, al evaluării comorbidităților și al riscului operator, contribuind la stabilirea unui plan terapeutic țintit, adaptat fiecărui pacient.
5. Prin prisma rezultatelor obținute, consider că examinarea CT cu reconstrucție 3D ar trebui să constituie un standard minim de examinare imagistică pentru pacienții cu un diagnostic pozitiv de fractură de astragal sau în situațiile în care se ridică suspiciunea unei astfel de fracturi.
6. Consider că examinarea CT oferă informații net superioare radiografiei standard în ceea ce privește relația astragalului cu articulațiile învecinate, dispunerea fragmentelor deplasate sau luxate, cât și în stabilirea gradului de cominuție.
7. Tratamentul conservator este în continuare opțiunea terapeutică optimă pentru fracturile tip Hawkins I, cu rezultate terapeutice foarte bune, precum și cu o prevalență scăzută a necrozei avasculare de astragal.
8. Practicarea intervenției chirurgicale la 72,7% dintre pacienții incluși în studiu a demonstrat necesitatea abordării unui tratament chirurgical, având în vedere că majoritatea fracturilor s-au încadrat în tipul II, III sau IV, unde tratamentul chirurgical are indicație absolută.
9. Accidentele rutiere, cu o pondere de 31,25%, au fost soldate adesea cu politraumatisme asociate fracturilor complexe cu luxații și fracturi maleolare,

necesitând atât un management interdisciplinar riguros, cât și abordarea chirurgicală a tuturor fracturilor de la nivelul gleznei în același timp operator.

10. Pacienții operați prin osteosinteză cu broșe Kirschner au prezentat rezultate bune, raportat la tipul fracturii, aspectul cominutiv, tulburările circulatorii și starea tegumentară precară.
11. Comparând rezultatele obținute prin cele 2 tipuri de osteosinteză în ceea ce privește perioada de imobilizare, timpul de vindecare și prevalența necrozei avasculare, consider că osteosinteza cu șuruburi reprezintă o opțiune terapeutică superioară celei cu broșe Kirschner.
12. Gradul de compactare, precum și fixarea rigidă fără posibilitatea migrării materialului de osteosinteză, recomandă osteosinteza cu șuruburi ca o metodă chirurgicală superioară osteosintezei cu broșe.
13. Consider că osteosinteza cu șuruburi canulate, prin abord percutan minim invaziv în cazul fracturilor tip Hawkins II în care deplasarea este minimă, iar abordul antero-lateral sau antero-medial nu este necesar, reprezintă o intervenție chirurgicală optimă în aceste cazuri.
14. Rezultatele studiului clinic, imagistic și terapeutic contribuie la literatura de specialitate pe plan național, având în vedere resursa științifică limitată în ceea ce privește managementul fracturilor de astragal.
15. Utilizarea prelucrării și imprimării 3D ca tehnică de simulare preoperatorie, cât și ca tehnică diagnostică, a permis explorarea într-un spațiu fizic și virtual 3D a tuturor aspectelor de la nivel osos pentru pacienții incluși în studiul experimental.
16. Vizualizarea în format 4K 3D a modelului de astragal în formă izolată, în programul Exocad, a permis observarea de traiecte noi, care nu au fost anterior vizibile pe imaginile CT 3D de gleznă, facilitând astfel stabilirea riscului de cut-out al șuruburilor și evitarea posibilității dezvoltării unor fracturi secundare intraoperator.
17. Prezentarea cazurilor particulare a demonstrat beneficiile utilizării acestei tehnici prin izolarea temeinică a 3 fragmente principale, respectiv 1 fragment de corp și 2 fragmente de dom, stabilind astfel ordinea fixării lor în schema terapeutică de osteosinteză, asociată cu păstrarea sau extragerea fragmentului minor de dom astragalian.

18. Vizualizarea modelelor imprimate ale fragmentelor de astragal a oferit o perspectivă amplă asupra posibilității reducerii anatomice a fragmentelor, precum și calcularea cu exactitate a lungimii materialelor de osteosinteză și traiectul acestora.
19. Consider că această tehnică aduce mari avantaje în ceea ce privește stabilirea defectului osos în urma alinierii fragmentelor într-o poziție anatomică, cât și stabilirea necesității adăugării de grefe osoase.
20. Posibilitatea simulării unei reduceri ortopedice preoperator, prin manipularea unui model imprimat la scară de 1:1, identic cu cel care urmează a fi supus intervenției chirurgicale, oferă chirurgului un avantaj inegalabil, superior oricărei imagini CT.
21. Rezultatele terapeutice obținute la pacienții incluși în studiul experimental, în ceea ce privește timpul de vindecare și incidența scăzută a necrozei avasculare, confirmă superioritatea imprimării 3D a modelelor fracturate de astragal, atât ca metodă de diagnostic de precizie, cât și ca metodă de stabilire a unei planificări preoperatorii.
22. Prin costul scăzut și datorită non-invazivității procedurii, raportat la beneficiile aduse, recomand utilizarea acestei tehnici în centrele de specialitate, atât pe plan medical, cât și științific.
23. Consider că rezultatele cercetării experimentale contribuie la literatura de specialitate pe plan național, demonstrând eficiența și aplicabilitatea imprimării 3D în diagnosticul și managementul fracturilor de astragal.
24. Prin prisma gradului de inovație, cât și a rezultatelor obținute, consider că este necesară continuarea și dezvoltarea cercetărilor în sfera imprimării 3D în patologia traumatică a osului astragal.

ORIGINALITATEA PROIECTULUI ȘI CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

Studiile realizate în cadrul cercetării sunt inovatoare, aducând o abordare integrată clinică, imagistică, terapeutică și experimentală pentru fracturile de astragal. Cu un număr semnificativ de pacienți, date fiind raritatea acestei patologii, cercetarea oferă o contribuție unică în domeniu.

În urma analizei literaturii de specialitate, s-a constatat că nu există studii similare care să combine examinarea clinică, radiologică, tehnica imprimării 3D și tratamentele conservatoare sau chirurgicale într-un singur protocol coordonat de un singur medic.

Studiul a comparat eficiența osteosintezei cu broșe și șuruburi, demonstrând superioritatea acestei din urmă metode pe baza rezultatelor terapeutice. Prin aplicarea tehnicii de imprimare 3D, s-au obținut detalii anatomice suplimentare, esențiale pentru planificarea chirurgicală, oferind o mai bună înțelegere a fracturii și optimizând deciziile terapeutice.

Rezultatele cercetării evidențiază că imprimarea 3D facilitează un diagnostic precis și un management terapeutic personalizat, reducând riscurile și îmbunătățind planificarea operatorie. Această tehnică poate avea și aplicații didactice, oferind simulări utile pentru pregătirea medicilor rezidenți și specialiști.

Tehnica de imprimare 3D reprezintă un avans important în diagnosticul și tratamentul fracturilor de astragal, iar cercetarea deschide calea pentru aplicarea sa în alte tipuri de fracturi ortopedice.

BIBLIOGRAFIE

[1] M. A. Hegazy, H. M. Khairy, A. A. Hegazy, M. A. E. F. Sebaei, and S. I. Sadek, "Talus bone: normal anatomy, anatomical variations and clinical correlations," *Anat. Sci. Int.*, vol. 98, no. 3, pp. 391–406, Jul. 2023, doi: 10.1007/s12565-023-00712-y.

[2] R. H. Gelberman and W. W. Mortensen, "The arterial anatomy of the talus," *Foot Ankle*, vol. 4, no. 2, pp. 64–72, 1983, doi: 10.1177/107110078300400204.

[3] L. G. Hawkins, "Fractures of the neck of the talus.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 52, no. 5, pp. 991–1002, 1970, doi: 10.2106/00004623-197052050-00013.

[4] T. Williams *et al.*, "Total talar fracture – Inter- and intra-observer reproducibility of two classification systems (Hawkins and AO) for central talar fractures," *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, vol. 98, no. 4, Supplement, pp. S56–S65, 2012, doi: https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.04.011.

[5] J. J. M. Haverkort, L. P. H. Leenen, and K. J. P. V. Wessem, "Diagnosis and treatment of talar dislocation fractures illustrated by 3 case reports and review of literature," *Int. J. Surg. Case Rep.*, vol. 16, p. 106, 2015, doi: 10.1016/J.IJSCR.2015.09.025.

[6] C. Lee, D. Brodke, P. W. Perdue, and T. Patel, "Talus Fractures: Evaluation and Treatment," *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, vol. 28, no. 20, pp. E878–E887, Oct. 2020, doi: 10.5435/JAAOS-D-20-00116.

[7] X. Liu, H. Zhang, L. Liu, Y. Fang, and F. Huang, "Open Talus Fractures: Early Infection and Its Epidemiological Characteristics," *J. Foot Ankle Surg.*, vol. 58, no. 1, pp. 103–108, Jan. 2019, doi: 10.1053/j.jfas.2018.08.020.

[8] M. S. Dhillon, B. Rana, I. Panda, S. Patel, and P. Kumar, "Management Options in Avascular Necrosis of Talus," *Indian J. Orthop.*, vol. 52, no. 3, pp. 284–296, 2018, doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_608_17.

[9] N. S. Madi, A. N. Fletcher, G. F. Pereira, A. Balu, J. K. DeOrio, and S. G. Parekh, "Early Outcomes of Combined Total Ankle Total Talus Replacement Using a 3D-Printed Talus Component With Hindfoot Arthrodesis," *Foot Ankle Spec.*, vol. 16, no. 3, pp. 273–282, Jun. 2023, doi: 10.1177/19386400221120567.

[10] J. Tracey, D. Arora, C. E. Gross, and S. G. Parekh, "Custom 3D-Printed Total Talar Prostheses Restore Normal Joint Anatomy Throughout the Hindfoot," *Foot Ankle Spec.*, vol. 12, no. 1, pp. 39–48, Feb. 2019, doi: 10.1177/1938640018762567.

[11] P. Sautet, X. Roussignol, F. Loubignac, R. A. Rochwerger, and L. Pidhorz, "Talar fracture: Epidemiology, treatment and results in a multicenter series," *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, vol. 107, no. 6, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.OTSR.2021.102835.

[12] "Applications of 3D Printing Technology in Orthopedic Treatment 2021 | Hindawi." https://www.hindawi.com/journals/bmri/si/361782/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=HDW_MRKT_GBL_SUB_ADWO_PAI_DYNA_SPEC_X_X0000_June2021&gclid=EAIaIQobChMIrY-pluat-AIVYY9oCR2dcQY2EAAYAiAAEgIfw_D_BwE (accessed Jun. 14, 2022).

[13] C. Biz *et al.*, "Long-term radiographic and clinical-functional outcomes of isolated, displaced, closed talar neck and body fractures treated by ORIF: The timing of surgical management," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–11, Aug. 2019, doi: 10.1186/S12891-019-2738-2/FIGURES/4.