

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE “CAROL
DAVILA” BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DISCIPLINA DE ORTOPEDIE ȘI TRAUMATOLOGIE**

***MANAGEMENTUL DEFECTELOR ACETABULARE PRIN
IMPRIMARE TRIDIMENSIONALĂ ȘI RECONSTRUCȚIA CU
IMPLANT PERSONALIZABIL***

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

PROF. UNIV. DR. G-RAL(r) BARBILIAN ADRIAN GHEORGHE

STUDENT-DOCTORAND:

DINACHE GEORGE ALEXANDRU

BUCUREȘTI

2022

CUPRINS

A. INTRODUCERE	6
1. Anatomia și biomecanica articulației coxofemorale	11
1.1. Anatomia articulației coxo-femorale	11
1.1.1. Oasele și mușchii articulației coxo-femorale	12
1.1.2. Vascularizația și inervația șoldului	14
1.1.3. Aparatul capsulo-ligamentar al șoldului	18
1.2. Biomecanica șoldului normal	19
1.2.1. Biomecanica statică	20
1.2.2. Biomecanica dinamică	23
1.3. Biomecanica șoldului protezat	25
1.3.1. Axele membrului inferior	25
1.3.2. Funcția de transmitere a greutății corpului la nivelul șoldului	26
2. Tehnici clasice de abord în artroplastia totală de șold	30
2.1. Abordul anterior (Smith-Petersen)	30
2.1.1. Pericole - nervii	31
2.1.2. Pericole - vasele	31
2.2. Abordul antero-lateral al șoldului (Watson-Jones)	31
2.2.1. Pericole - nervii	34
2.2.2. Pericole - vasele	34
2.2.3. Pericole - altele	35
2.3. Abordul lateral al șoldului (Abordul Hardinge)	35
2.3.1. Pericole - nervii	36
2.3.2. Pericole- vasele	37
2.4. Abordul posterior (Moore Southern)	37
2.4.1. Pericole - nervii	41
2.4.2. Pericole - vasele	41
2.5. Abordul medial (Ludloff)	42
2.5.1. Pericole - nervii	42
2.5.2. Pericole - vasele	45
3. Factori decizionali, indicații și limitări ale abordurilor clasice în artroplastia primară de șold	46
3.1. Factori preoperatori care influențează alegerea abordului chirurgical	46
3.1.1. Motivul reviziei de șold	46
3.1.2. Tipul de implant și metoda de fixare	47
3.1.3. Influența țesutului moale și a leziunilor osoase	47

3.1.4. Influența inciziilor anterioare	48
3.1.5. Influența caracteristicilor pacientului.....	48
3.1.6. Influența experienței chirurgului practician	48
3.2. Indicații și limitări ale abordurilor convenționale	49
4. Tehnici de abord al articulației coxofemorale în revizia de șold.....	52
4.1. Revizia acetabulară	52
4.2. Revizia femurală.....	52
4.3. Corticotomia postero-laterală izolată.....	53
4.4. Fereastra corticală („cortical flap”).....	53
4.5. Trohanterotomia extinsă.....	54
5. Computer tomografia.....	55
5.1. Generalități	55
5.1.1 Achiziția CT.....	55
5.1.2. Reconstrucția CT.....	56
5.1.3. Post-procesarea CT.....	56
5.1.4. Scheletul axial și extremitățile.....	57
5.2. Interpretarea rezultatelor	57
5.3. Scara tonurilor de gri.....	57
5.4. Reconstrucție și protecții multiplane	58
5.5. Redarea volumului	59
5.6. Calitatea imaginii. Doză versus calitatea imaginii.....	59
5.7. Artefactele	59
5.8. Avantajele CT-ului	60
5.9. Efecte adverse	60
5.9.1. Neoplazii.....	60
5.9.2. Reacțiile date de substanța de contrast	61
5.10. Mecanism de funcționare.....	61
5.11. CT cu substanță de contrast	62
5.12. Cercetare	63
6. Printarea 3D.....	64
6.1. Generalități	64
6.2. Tipuri de prototipare rapidă (PR)	65
6.2.1. Stereolitografia.....	65
6.2.2. Tehnica polijet	66
6.2.3. Tehnica modelării multijet	66
6.2.4. Tehnica picăturii	67
6.2.5. Metoda sintetizării selective cu laser (SLS)	67

6.2.6. Tehnica depunerii de fir topit	69
6.2.7. Tehnica obiectelor laminate	69
6.2.8. Tehnica topirii selective cu laser	69
B. CONTRIBUȚII PERSONALE	72
7. Ipoteza de lucru și obiective generale.....	73
8. Metodologia generală a cercetării.....	73
8.1. Imprimarea 3D în industria medicală	73
8.1.1. Materiale medicale pentru imprimarea 3D FDM	76
8.2. Protocol CT	79
8.2.1. Atenuarea artefactelor metalice ale implanturilor ortopedice (O-MAR: orthopedic implants – metal artifact reduction).....	81
8.2.2. Descrierea algoritmului O-MAR.....	84
8.2.3. Studii „fantomă” (Phantom Studies).....	85
8.2.4. Discuții	87
8.3. Reconstrucția tridimensională a bazinului pe baza imaginilor CT	88
8.5. Proiectarea defectului personalizat la nivelul cotilului.....	117
8.6. Proiectare ghid extern pentru frezare și poziționare augment cu un implant comercial tip metal trabecular	118
9. Studiu comparativ privind influența reconstrucției tridimensionale asupra deciziei de diagnostic și tratament chirurgical versus radiografie și CT	125
9.1. Introducere.....	125
9.2. Materiale și metode	125
9.2.1. Clasificarea Paprosky	127
9.2.2. Metode statistice	129
9.3. Rezultate	129
9.4. Discuții	143
10. Studiu comparativ privind influența reconstrucției tridimensionale în mod exclusiv asupra deciziei de diagnostic și tratament chirurgical versus radiografie, CT și reconstrucție 3D	146
10.1. Introducere.....	146
10.2. Materiale și metode	146
10.3. Rezultate	148
10.4. Discuții	158
11. Concluzii și contribuții personale	161
Referințe	165

În ultimele două decade accesul la protezele de șold a fost mult mai facil din punct de vedere financiar și al numărului existent, motiv pentru care s-au putut realiza multe intervenții chirurgicale la pacienți ce necesitau artroplastie de șold din varii motive (degenerativ primar sau secundar). Astfel că, ne așteptăm ca numărul de revizii de șold să fie în creștere în următorii ani, ceea ce ne obligă să găsim modalități noi de a rezolva într-un mod cât mai acurat defectele ce apar.

Observația principală de la care a plecat lucrarea de față este dificultatea reviziei componentei acetabulare a protezelor de șold mai ales în condițiile unui planning pre-operator deficitar. În acest sens, obiectivul principal al studiului este reprezentat de obținerea unei metode imagistice performante pentru managementul defectelor acetabulare în cazurile de revizie de șold, prin utilizarea reconstrucției 3D și imprimării 3D pe baza imaginilor CT ale bazinului, precum și prin proiectarea unui ghid de frezare și implantare a cupei personalizate cu o poziție „ideală”, proiectarea defectului personalizat la nivelul cotilului și proiectarea unui ghid extern pentru frezare și poziționare augment cu implant comercial tip metal trabecular. Scopul obținerii acestei metode imagistice performante este acela de a-i permite chirurgului realizarea unui diagnostic cât mai exact al defectului acetabular și de a lua cele mai bune decizii de tratament pentru rezolvarea chirurgicală a acestuia.

Dificultățile întâmpinate în cazul deficitului osos acetabular se numără printre provocările cele mai importante întâlnite în chirurgia șoldului. Reconstrucția acetabulară în artroplastia totală de revizie a șoldului poate fi obținută cu succes prin utilizarea unor componente hemisferice cu o suprafață poroasă și a mai multor șuruburi pentru defectele acetabulare minore. Alegerea componentelor acetabulare se bazează în cea mai mare parte pe dimensiunea defectului osos prezent. În prezența unor defecte combinate cavitate și segmentare, reconstrucția folosind o allogrefa acetabulară protejată de o cază, este varianta preferată dintre opțiunile chirurgicale. Însă au fost descrise numeroase complicații ale acestei intervenții printre care slăbirea componentei acetabulare, infecție, dislocare, degradarea montajului.

Imprimarea 3D este folosită în industria medicală în multiple scopuri, de la a realiza prototipuri în scopuri didactice pentru a studia și exersa diverse intervenții chirurgicale complicate, până la a produce anumite instrumente medicale. [1] [2] Procesul imprimării 3D a fost îndelung studiat, iar la baza lui stă obținerea unor obiecte tridimensionale ale unor

modele digitale prin depunerea strat peste strat a unei cantități foarte mici de material, existând mai multe metode tehnologice utilizate în zilele noastre. [3] [4] Printre cele mai importante ramuri ce utilizează tehnologia 3D se regăsesc industria medicală și cea stomatologică, alături de ramura industrială, electronică și a automobilelor. Multiple date din literatura curentă susțin idee că imprimarea 3D în industria medicală este în continuă creștere și subliniază faptul că printarea multidimensională oferă numeroase avantaje față de metodele convenționale, facilitând producția de suprafețe și forme geometrice complexe, ce pot fi individualizate pacientului, în cazul nostru.

Tabel 1. Materiale folosite în imprimarea 3D pentru dispozitive medicale

<i>material</i>	<i>caracteristici</i>
ABS-M30, ABSplus	versatil, rezistent
ABS-ESD 7	rezistență la descărcări electrostatice
ABS- ABS-ESD M30i	biocompatibil
ABSi	translucid
ASA	stabil UV
PC	rezistent (la tensiune)
PC-ABS	rezistent (la impact)
PC-ISO	biocompatibil
rășină ULTEM 9085	flexibil
rășină ULTEM 1010	biocompatibil, rezistent la temperaturi înalte
PPSF	rezistent termic și chimic
Nylon 12	rezistent la stress

Bineînțeles că una din ramurile medicale ce beneficiază în mod direct și într-un procent semnificativ, este reprezentată de ortopedie, domeniu în care s-a observat că imprimarea 3D poate duce la un grad de succes ridicat al intervențiilor chirurgicale, la creșterea acurateții chirurgicale, la creșterea încrederii pacienților, precum și la creșterea dorinței de explorare a noi surse de inovație în ceea ce privește atât planificarea preoperatorie, cât și metodele chirurgicale. În concluzie, una dintre cele mai interesante aplicări ale imprimării 3D este reprezentată de crearea unor modele realiste care servesc ca ghiduri chirurgicale în planificarea unor intervenții chirurgicale complexe. Chirurgii pot

crea modele ale unor părți ale corpului asupra cărora urmează a se interveni și pot exercita pe acestea. În cazuri foarte complicate în care este necesară o echipă multidisciplinară, abilitatea de a determina cel mai bun abord mai ales când este vorba de echipe din diverse specialități (cardiovascular, ortopedie, neurochirurgie) pentru același pacient, este extrem de importantă. Modelele anatomice le permit astfel chirurgilor să exerseze diverse scenarii de abordare a intervenției chirurgicale. Imprimarea 3D în industria medicală poate fi privită ca o modalitate nouă de a face lucruri vechi. Poate fi o nouă cale de a modela produse noi sau categorii noi de produse care nu puteau fi realizate prin tehnologiile convenționale, mai vechi. [1] [2]

O parte importantă a reconstrucției 3D este reprezentată de imaginile CT. Fără a avea această bază a imaginilor CT, reconstrucția 3D nu poate fi realizată. În prezenta lucrare de doctorat sunt descrise în detaliu protocolul CT, cum sunt achiziționate imaginile și cum vor fi acestea prelucrate în scopul obținerii reconstrucției 3D. [5] [6] [7] Un capitol important este dedicat metodelor de atenuare a artefactelor date de metal în cazul implanturilor ortopedice. Odată cu utilizarea CT-ului au fost propuse numeroase metode de a suprima artefactele date de metal, cea mai complexă dintre acestea și foarte utilizată în lumea largă fiind metoda O-MAR, ce reprezintă un produs comercial dezvoltat de o companie foarte cunoscută. [8] [9]

Principiul O-MAR constă în existența unei bucle iterative prin care imaginea corectată de ieșire este sustrasă din imaginea inițială de intrare. Imaginea rezultantă va deveni ulterior noua imagine de intrare la care procesul se va repeta. Primul pas este de a crea o imagine a metalului din imaginea inițială de intrare. Această imagine va fi folosită pentru a identifica proiecțiile ce provin din metal. Dacă nu sunt vizualizate grupuri mari de pixeli ce provin din metal, procesul nu va mai continua. Prin urmare, O-MAR nu are impact pe imaginile fără metal. Algoritmul O-MAR este capabil să reducă efectul metalului pe imaginile CT pentru a îmbunătăți calitatea diagnostică, în ciuda faptului că nu poate elimina complet artefactele de metal. În practică curentă, datorită creșterii speranței de viață, CT-ul este o metodă imagistică frecventă utilizată la pacienții cu proteze de șold. Acestea reprezintă obiecte metalice de dimensiuni mari care pot duce la artefacte importante pe imaginile CT.

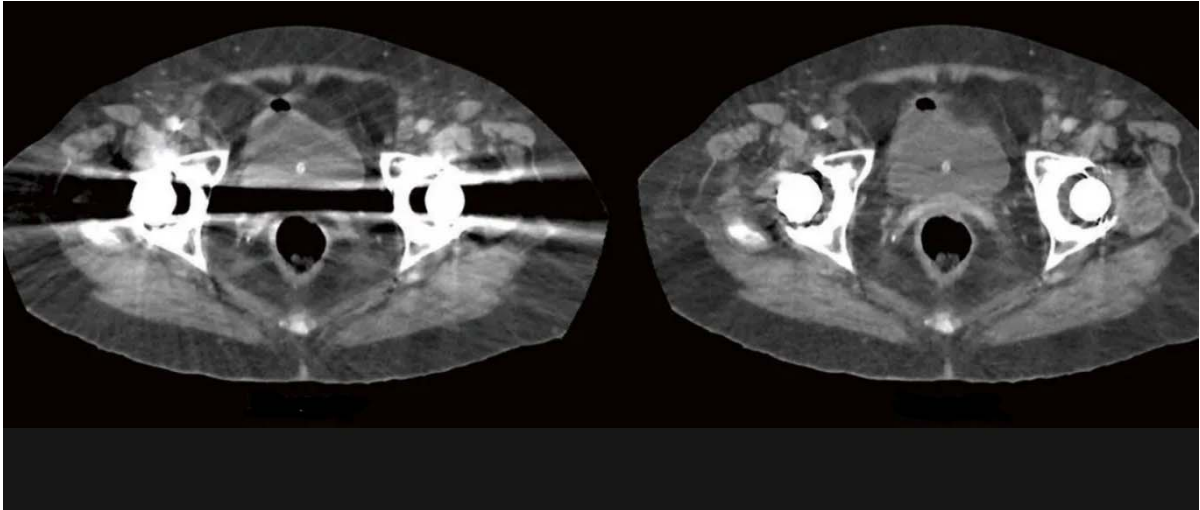


Fig.1 Înainte și după utilizarea funcției O-MAR

Un caz particular este al pacientului care are ambele șolduri protezate. Aceasta va duce la apariția unei suprafețe mari de pixeli negri în zona centrală a anatomiei pacientului, ceea ce înseamnă imposibilitatea formulării unui diagnostic pe baza acestor imagini CT. În această situație particulară, algoritmul O-MAR are indicație certă. Artefactele de metal nu au impact numai asupra imaginilor bidimensionale, ci și asupra imaginilor 3D. [5] [6] [9]

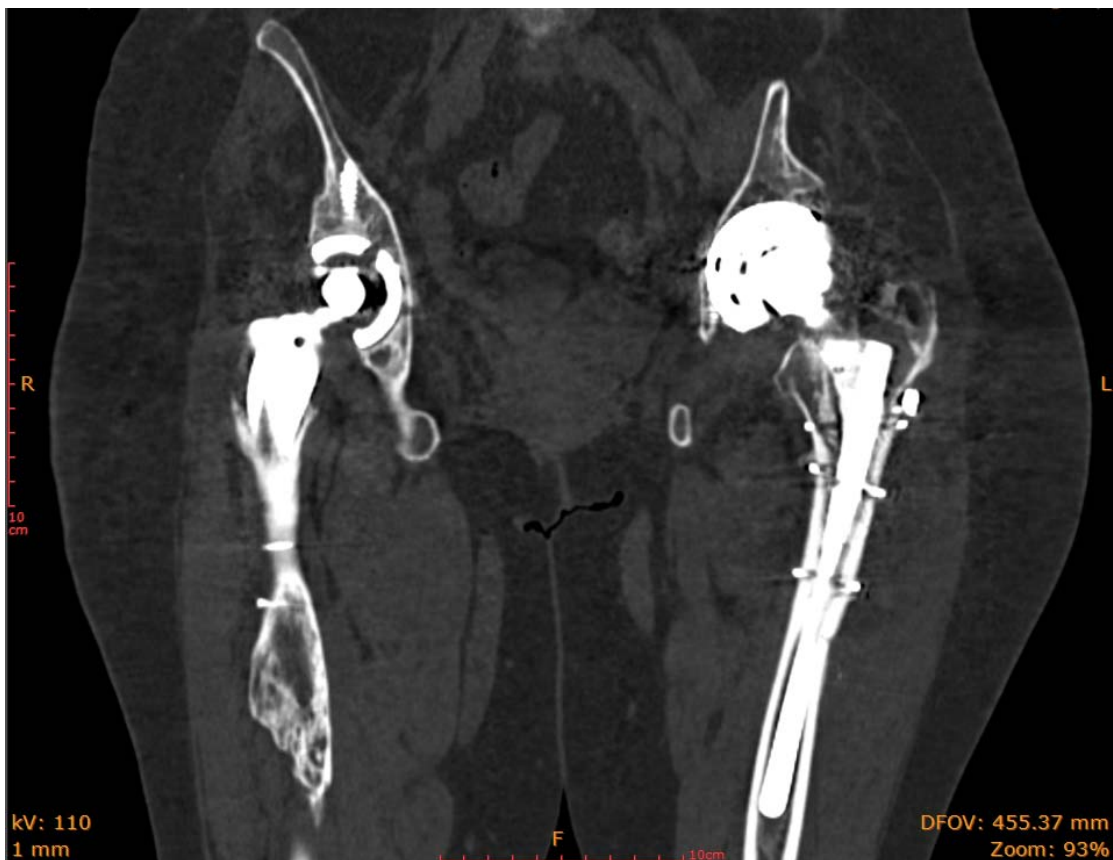


Fig.2 Imagine CT cu atenuarea funcției de metal

Mergând mai departe, așa cum am precizat mai sus, după obținerea imaginilor CT s-a realizat proiectarea 3D. Pentru aceasta, s-a utilizat softul 3D Slicer versiunea 4.11.20210226. [10] [11] [12] În procesul imprimării 3D sunt folosite câteva elemente esențiale, printre acestea fiind modelul 3D și imprimanta 3D, legătura dintre ele fiind stabilită de softul de tipărire care acționează ca și intermediar. Pentru cei care nu sunt specialiști în programare, explicația cea mai ușor de înțeles este aceea că se folosește un feliator de imprimare 3D, care pregătește modelul selectat pentru imprimanta 3D, ulterior este generat un cod G, ce reprezintă un limbaj de programare cu control numeric utilizat pe scară largă. Există un număr mare de software pentru imprimare, multe dintre ele fiind gratuite. 3D Slicer este un pachet software gratuit utilizat pe scară largă pentru cercetarea medicală și biomedicală. Acest soft este conceput pentru rezolvarea provocărilor avansate de calcul al imaginii, în special pentru aplicațiile clinice și biomedicale. Avantajul major al acestui program este reprezentat și de o comunitate mare de utilizatori și dezvoltatori care lucrează împreună pentru a îmbunătăți rezultatul final obținut. Dezvoltarea 3D Slicer, inclusiv a numeroaselor sale extensii, a rapoartelor de probleme și a sugestiilor este posibilă de către utilizatori, dezvoltatori, colaboratori din întreaga lume. În lucrarea de față vor fi descrise pas cu pas toate etapele parcurse pentru obținerea reconstrucției 3D în partea dedicată acesteia. [10] [11] [12]

După ce softul a realizat grosier reconstrucția, rezultatul se prelucrează manual la nivelul zonelor defecte date de aberațiile de metal. Prin selectarea acestuia, softul este capabil să sincronizeze prin poziționarea exactă în secțiunile transversale de CT, ulterior îmbunătățește zonele reconstruite. Efectul asupra zonei de lucru, după prelucrarea manuală prin selectarea segmentelor marcate incorect, este reprezentat de dispariția zonei selectate greșit de către soft și astfel reconstrucția 3D devine fidelă realității. [11]

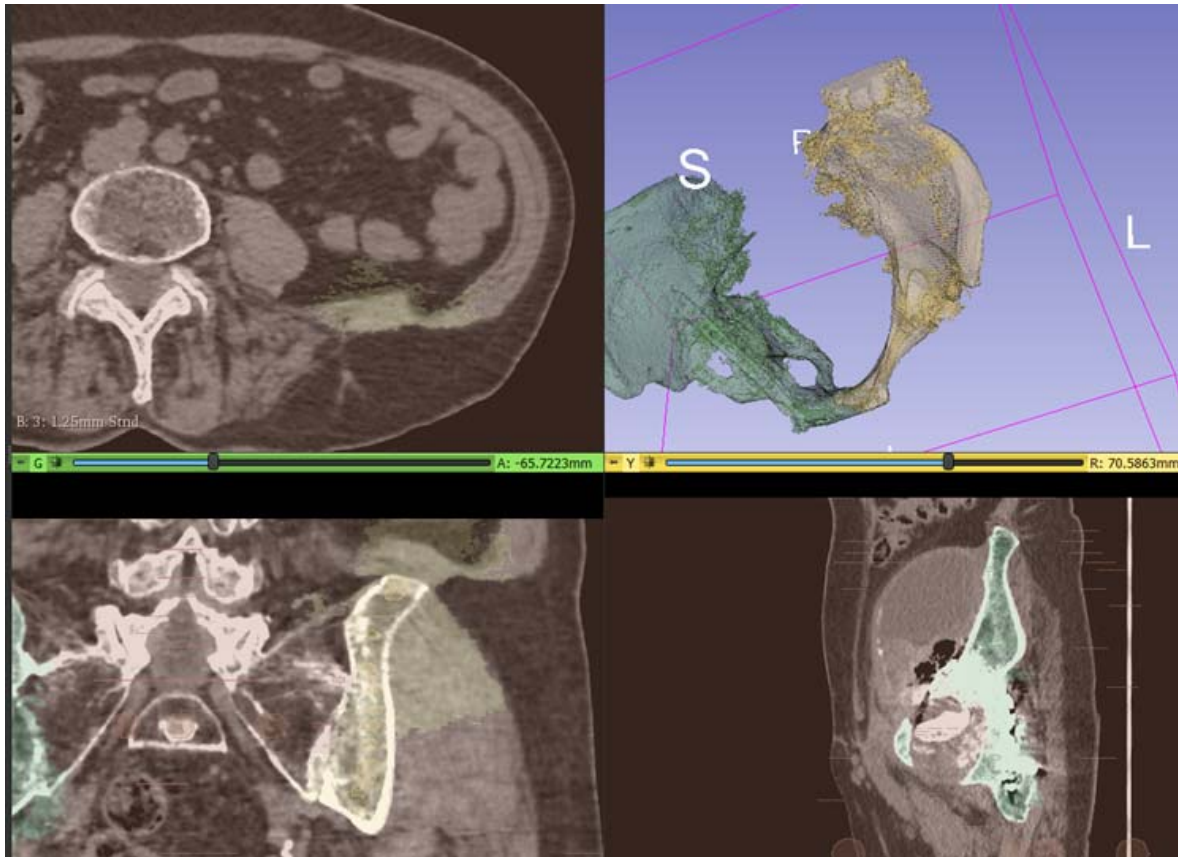


Fig. 3 Reconstrucția tridimensională a bazinului pe baza imaginilor CT

În etapa a doua a realizării modelului 3D se va folosi softul Autodesk Meshmixer pentru prelucrarea geometrică a suprafeței modelului ajutând la simplificarea acestuia. Prin funcția „import”, se importă „STL”-ul salvat în prealabil, se selectează „open”. După importarea fișierului de lucru, se selectează cu dublu-click, elementele de interes. Cu ajutorul funcțiilor „modify” și „invert” se modifică suprafața de interes. Geometria neselectată se va șterge prin apăsarea tastei „delete” (secțiunile rămase în exteriorul zonei selectate și care nu sunt conectate cu suprafața selectată, vor dispărea). [11]

Pentru realizarea obiectivelor acestei lucrări, au fost realizate 2 studii, unul în care este comparată influența reconstrucției tridimensionale asupra deciziei de diagnostic și tratament chirurgical versus radiografie și CT și unul în care este evaluată influența reconstrucției tridimensionale în mod exclusiv asupra deciziei de diagnostic și tratament chirurgical versus radiografie, CT și reconstrucție 3D.

În cele două studii au fost introduși 10 pacienți cu defecte acetabulare din clinica noastră, ce necesitau intervenție chirurgicală de revizie de șold. Toți pacienții au efectuat radiografie preoperatorie, precum și CT cu atenuare de metal. Cu ajutorul imaginilor CT s-

a realizat reconstrucția 3D a bazinului, cu scopul de a înțelege mai bine defectul acetabular și pentru un planning pre-operator cât mai acurat. Imaginile radiografice, de CT, precum și de reconstrucție 3D au fost vizualizate de 10 chirurghi ortopezi care au completat un tabel pentru cei 10 pacienți introduși în studiu pe baza unui chestionar standardizat. Astfel că, pentru fiecare pacient, ținând cont că au fost efectuate atât radiografii în două incidente, cât și CT cu atenuare de metal, volumul de imagini obținut a fost considerabil. S-a pornit de la idea că volumul mare de date sau imagini precum și a situației pandemice COVID-19 vor fi greu de gestionat de către cei 10 chirurghi ortopezi, motiv pentru care s-au creat două filme care ulterior au fost trimise electronic medicilor care au participat și care au condus intervenții chirurgicale de revizie a șoldului.

Chestionarul cuprinde un număr de 10 întrebări care se referă atât la diagnostic, cât și la tratament și la managementul defectului acetabular, iar pentru simplificarea centralizării răspunsurilor cât și pentru realizarea studiului statistic, răspunsurile la toate cele 10 întrebări sunt cu da sau nu. Pentru diagnosticul defectului acetabular am ales clasificarea Paprosky.

În ceea ce privește metodele statistice utilizate pentru obținerea rezultatelor ce vor fi prezentate au fost folosite mai multe tipuri de variabile (calitative, continue), iar toate testele statistice au fost efectuate prin intermediul softului IBM SPSS Statistics, versiunea 25.0 pentru Windows (Armonk, NY, IBM Corp.).

Intervenția ortopedică inițială a reprezentat montarea unei proteze de șold la 7 pacienți (70%) și respectiv osteosinteza de cotil la 3 pacienți (30%). Din cele 7 proteze de șold, 5 au fost necimentate (71,4%), iar 2 au fost cimentate (28,6%). Intervențiile ortopedice revizuite (proteze și osteosinteze de șold) aveau o vârstă mediană de 10,5 (0-22) ani, în condițiile în care toate cele trei osteosinteze de cotil au fost revizuite în luna în care au fost montate.

Cauzele reviziei intervențiilor ortopedice inițiale au fost, în ordinea descrescătoare a frecvenței: loosening acetabular (prezent la 6 pacienți – 60%), fractura de cotil (prezentă la 3 pacienți – 30%, toți care inițial avuseseră osteosinteză de cotil), luxația (prezentă la 2 pacienți – 20%), infecția protezei și pseudo-artroza cotilului (prezente respectiv la câte un pacient – 10%). Intervențiile ortopedice inițiale au fost revizuite la 7 pacienți dintr-un singur motiv, pe când la 3 pacienți decizia reviziei a fost motivată de combinația a două motive (loosening acetabular și pseudo-artroză de cotil, loosening acetabular și luxație, respectiv infecție și luxație recidivată).

Toate reviziile au fost efectuate prin abord chirurgical postero-lateral, iar în cazul a doi pacienți s-a practicat și abord anterior. Revizia a implicat cupele tuturor celor 7 proteze de șold inițiale, pe când revizia stem-ului a fost efectuată doar la 4 pacienți (57,1%).

Din totalul reviziilor intervențiilor ortopedice inițiale, 5 (50%) au implicat un implant comercial tip metal trabecular (cupă de revizie, inclusiv în cazul unui pacient care inițial avusese osteosinteză de cotil), 2 (40%) din care necesitând și augment, pe când la ceilalți 5 pacienți (40%) reviziile au necesitat soluții variate: ablația protezei și spacer, cupă și augment, caja de tip Burch-Schneider și cupă de revizie, caja de tip Kerboull și cupă de revizie, respectiv cupă cimentată.

Toți medicii ortopezi respondenți au considerat că reconstrucția tridimensională aduce informații utile și este de folos în planificarea intervenției chirurgicale ($p = 0,002$).

În primul studiu realizat, în ceea ce privește rezultatele obținute, evaluând fiecare pacient, inițial cu date din radiologia convențională și CT, apoi folosind date din radiologia convențională, CT și reconstrucție tridimensională, medicii respondenți și-au modificat în mod semnificativ răspunsurile la întrebarea 1 legată de clasificarea Paprosky la jumătate din pacienții evaluați ($p = 0,005$), ceea ce semnifică faptul că influența reconstrucției 3D este semnificativă și reprezintă o componentă importantă ce poate fi considerată în viitor o metodă esențială în planning-ul preoperatoriu al acestor pacienți. În ceea ce privește abordul chirurgical, acesta nu a fost influențat semnificativ de expunerea la informațiile reconstrucției tridimensionale, variațiile răspunsurilor nefiind semnificative statistic, întrucât majoritatea medicilor au preferat și și-au menținut preferința pentru abordul postero-lateral.

Spre deosebire de primul studiu, în cel de-al doilea s-a urmărit evaluarea reconstrucției tridimensionale în absența imagisticii clasice. Așa cum ne așteptam, răspunsurile nu au variat semnificativ, cu alte cuvinte impactul pe care îl au radiologia și CT-ul este minim în decizia chirurgului și nu există diferențe majore între cele două decizii.

În foarte multe țări, așa cum se întâmplă și în țara noastră, numărul de revizii de șold este în creștere. [13] [14] Acesta este principalul motiv pentru care chirurgii ortopezi trebuie să ia decizia corectă de tratament, în ceea ce privește tipul protezei alese și planificarea intervenției chirurgicale, mai ales în condițiile în care revizia se impune în urma unor defecte acetabulare de cele mai multe ori complicate sau prin existența de loosening acetabular. Astfel că evaluarea prechirurgicală este primordială în aprecierea defectului acetabular. [15]

Până la acest moment, majoritatea chirurgilor au realizat această evaluare preoperatorie prin metode clasice de imagistică și anume, radiografia convențională și imaginile CT. Putem presupune că, dacă s-ar utiliza numai radiografia convențională, chirurgul ar trebui să fie foarte bine pregătit în realizarea acestui tip de intervenție chirurgicală și cu o foarte mare experiență operatorie. Este în general acceptat faptul că evaluarea defectului acetabular preoperatoriu reprezintă cea mai importantă parte a intervenției chirurgicale, evaluare în urma căreia acesta trebuie clasificat conform unor clasificări acceptate. În mod uzual sunt două tipuri de clasificări acceptate în literatura de specialitate pentru defectele acetabulare și anume, clasificarea Paprosky, utilizată și în lucrarea de față, și clasificarea AAOS. [16] [17] [18] [19] Având în vedere utilizarea celor două clasificări în mod uzual, pe lângă validarea acestora în multe lucrări de specialitate, au fost prezentate și limite ale acestora. De exemplu, Yu și Campbell afirmă faptul că utilizarea acestor clasificări sunt subiective și ar trebui luată în considerare și o altă metodă standardizată, obiectivă pentru validarea defectului acetabular într-o manieră cât mai acurată. [17] [18] [20]

În momentul de față, pentru realizarea planning-ului preoperatoriu sunt utilizate în mod uzual imaginile CT, care oferă o perspectivă detaliată asupra defectelor acetabulare, putându-se realiza măsurători ale unghiurilor sau ale grosimii sau densității osoase. [21] [22] Astfel imaginile CT tridimensionale reprezintă o metodă obiectivă de diagnostic și tratament, însă și aceasta presupune ca ortopedul să fie experimentat și nu oferă posibilitatea realizării de implanturi personalizate.

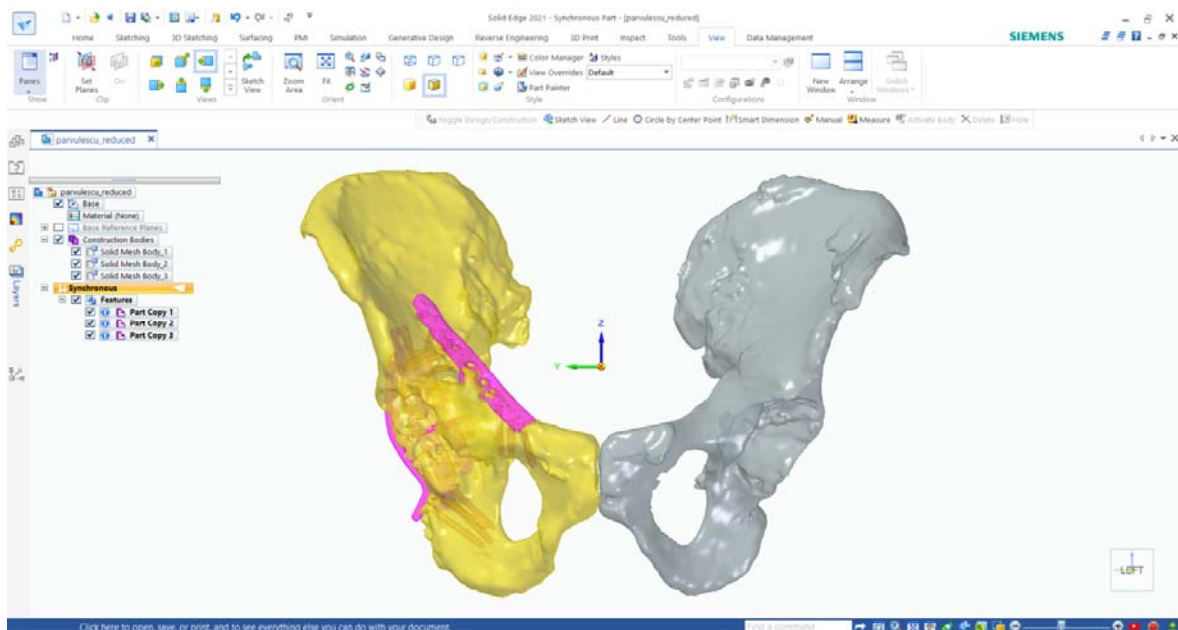


Fig.4A

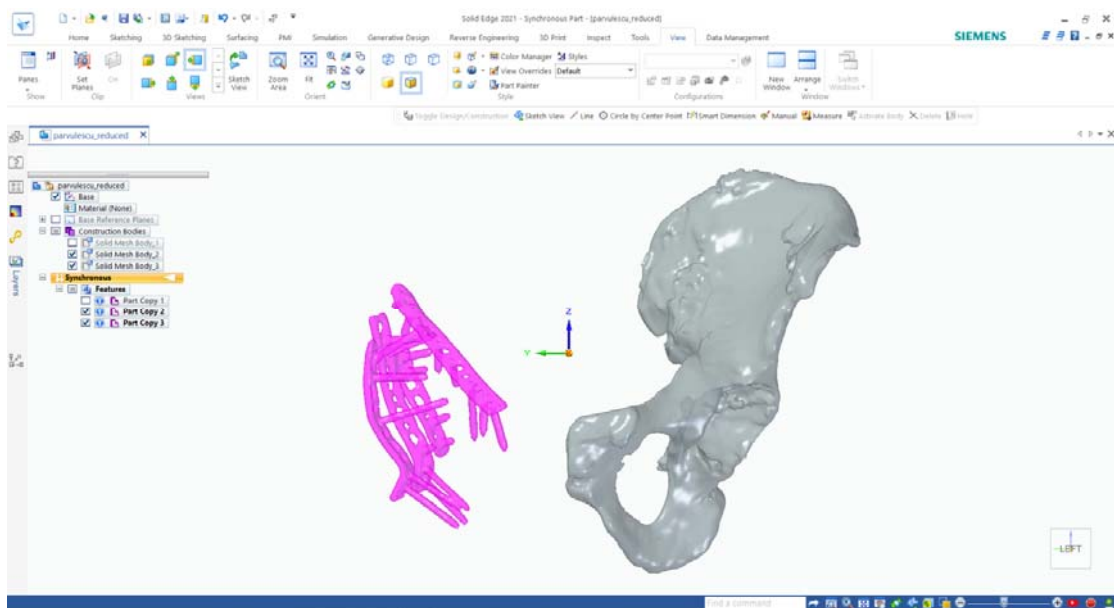


Fig. 4B Prezența material de osteosinteză pe partea dreaptă, secundară fracturii de cotil prin fixarea coloanelor anterioară și posterioară după reconstrucția 3D

Exemplificarea practică pentru funcția „mirroring” de a transpune, spre exemplu, centrul șoldului sănătos la cel afectat reprezentând un reper ideal pentru identificarea corectă a viitoarei poziții a centrului de rotație a cupei

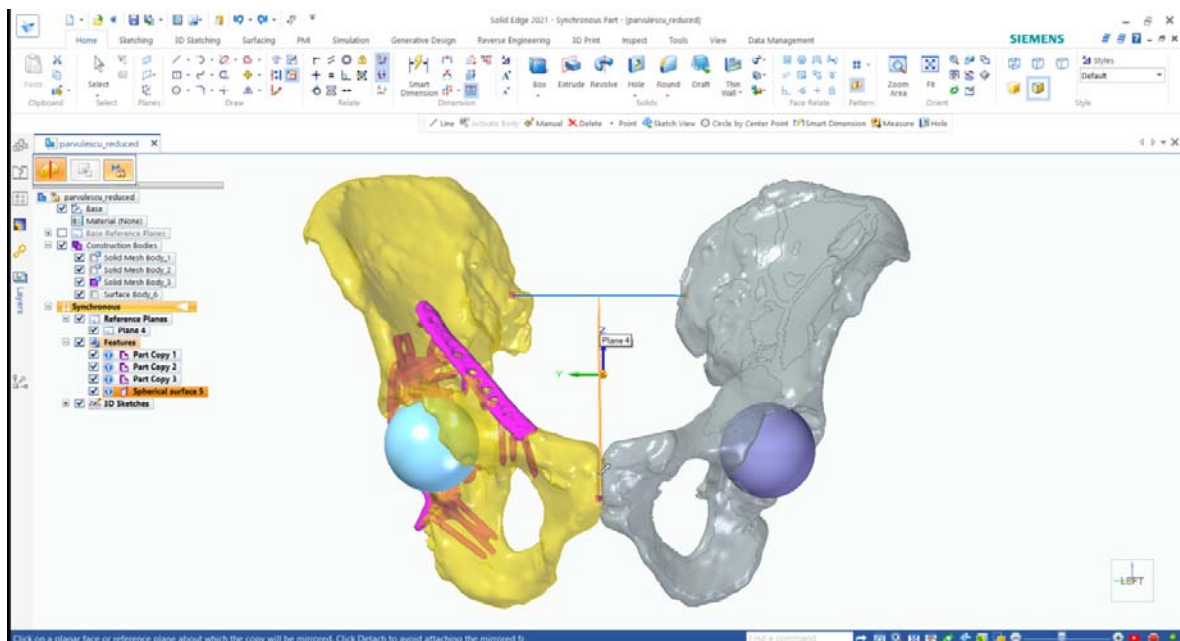


Fig. 5 Transpunerea centrului de rotație de la șoldul neafectat la cel de interes

Astfel, din motivele prezentate mai sus și pentru a evita diagnosticarea eronată a defectelor acetabulare complexe, în multe studii, însă deja și în multe instituții medicale de ortopedie care realizarea intervenția de revizie de șold, a fost acceptată și utilizată reconstrucția 3D a defectului acetabular. Având în față un model tridimensional real al defectului acetabular, chirurgul ortoped poate vizualiza corect anatomia locală și poate în același timp, prin colaborare cu ingineri specializați, să realizeze un implant personalizat. În același timp, pe un model tridimensional printat cu imprimanta 3D se pot realiza simulări ale intervenției chirurgicale, ceea ce înseamnă o îmbunătățire semnificativă a eficienței și siguranței. Lucrarea de față, așa cum este menționat și în literatura de specialitate, a arătat faptul că tehnologia 3D aduce îmbunătățiri importante în acuratețea evaluării defectelor acetabulare comparativ cu imagistica uzuală (radiografia și CT), însă sunt puține lucrări în literatură care să ateste valoarea acesteia și în efectuarea intervenției chirurgicale de revizie a șoldului. Cu toate acestea, s-a observat că existența unui model 3D care a permis chirurgilor să vizualizeze defectul acetabular în mod real preoperatoriu, a dus la diminuarea timpului operator, precum și la reducerea necesarului de transfuzii sanguine. [23] [24]

Imprimarea 3D prezintă și limitări, iar una dintre acestea se referă la faptul că nu pot fi reprezentate și cartilajul sau țesuturile moi. [25] [26] În acest sens, prin lucrarea de față subliniem și faptul că este necesară o colaborare mai bună cu inginerii specializați în tehnologia imprimării 3D, care și ei, pe măsura ce va fi folosită cât mai mult, vor acumula mai multă experiență și valoarea imprimării 3D va crește exponențial în viitor. De asemenea, este foarte important de menționat materialul utilizat în imprimarea 3D, care trebuie să aibă proprietăți mecanice cât mai apropiate de cele ale osului pentru a evita erorile de diagnostic și tratament. O altă limitate a imprimării 3D poate fi reprezentată de costul ridicat, care poate fi o problemă atunci când se dorește utilizarea pe scară cât mai largă. [27] În plus, trebuie să se țină cont și de faptul că imprimarea 3D presupune un timp de examinare mai mare decât dacă imagistica uzuală.

În prezent, așa cum am menționat anterior, materialele utilizate pentru imprimarea 3D nu sunt echivalente țesutului osos, iar modelele bazate pe scala gri în general nu pot reprezenta rigiditatea completă a structurilor. Se încearcă o rezolvare a acestei probleme, iar în acest sens se iau în considerare materiale policrome sau combinarea mai multor tipuri de materiale cu rigiditate mecanică diferite care să poată reprezenta starea acetabulului. Se iau în considerare atât densitatea osoasă, cât și calitatea osului existent. Astfel, trebuie obținute

date imagistice ce vor fi analizate de computer în așa fel încât să poate fi creat un model cu o rigiditate calculată. Studii viitoare sunt necesare pentru obținerea acestor materiale.

Spre deosebire de artroplastia primară de șold, intervenția chirurgicală de revizie a șoldului este mult mai complexă și pot fi întâlnite mai multe obstacole în timpul acesteia. Unele dintre aceste obstacole sunt reprezentate de: fractura periprotetica, malpoziția implantului ce poate duce la dificultăți în îndepărtarea acestuia, calitatea proastă a osului restant. [28] [29] [30] [31] Toate acestea la un loc duc la apariția multor provocări întâmpinate de chirurgul ortoped în timpul intervenției pentru revizia de șold.

Cele două clasificări utilizate sunt Paprosky și AAOS, fiind cele mai comune, acestea fiind axate în principal pe defectul acetabular, însă mai puțin pe aripa iliacă sau alte zone din regiunea pelvisului mai îndepărtate de acetabul. Multe studii, dar și practica clinică, au arătat că aceste zone, chiar dacă nu vin în contact direct cu capul femural, pot influența negativ în cazul afectării și a acestora, stabilitatea și proprietățile biomecanice ale șoldului. Aceasta duce la concluzia că, clasificările utilizate în mod uzual, de altfel așa cum am folosit și în studiul de față, nu acoperă în întregime toate defectele osoase ce pot exista în cazul necesității intervenției de revizie de șold. Menționăm că cele două clasificări sunt bazate în principiu pe metodele clasice de revizie a șoldului, cum ar fi protezele convenționale, cajele, grefele osoase și altele. Astfel, pe măsură ce îmbunătățim metodele de revizie, se va impune și o metodă de îmbunătățire a clasificării defectelor osoase. Din punctul nostru de vedere, îmbunătățirea evidentă adusă metodei de revizie constă în realizarea modelului 3D a defectului acetabular care duce la un planning preoperatoriu bine conturat și care oferă chirurgului imaginea reală a defectului osos, ducând la diagnostic corect și tratament adecvat.

Realizarea modelului 3D bazat pe imaginile CT obținute duce la posibilitatea evitării utilizării de allogrefe, ceea ce previne mai departe riscul de fractură a acestora, duce la scăderea timpului intraoperatoriu, precum și la diminuarea utilizării de alte materiale de osteosinteză ceea ce implicit duce la risc traumatic mai mic. [32] [33] [34] Există puține studii în care s-a evaluat utilizarea protezelor individualizate prin imprimarea 3D pe baza modelului 3D realizat prin intermediul imaginilor CT. Aceste studii au arătat că protezele individualizate funcție de pacient prin imprimarea 3D, se pot adapta anatomiei locale influențate de defectele osoase complexe ale pacientului respectiv, ceea ce face și montarea acesteia mai facilă, precum și realizarea imediată a stabilității șoldului. Forma precisă,

individualizată, a acestor proteze, precum și structura lor, ajută la evitarea alezării excesive pentru a așeza implantul, ceea ce înseamnă că stabilitatea șoldului este crescută pe termen lung și se păstrează o mare parte din masa osoasă existentă, mai ales în cazul în care va fi necesară o altă revizie ulterioară. [35] [36] Bineînțeles că și aceste studii au anumite limitări. Una dintre acestea este necesitatea realizării modelului 3D ceea ce presupune efectuarea unui CT, modelul realizându-se pe baza imaginilor obținute, mai degrabă decât utilizarea numai a radiografiei convenționale care este insuficientă, deși este mai ieftină și mai puțin iradiantă. Reconstrucția tridimensională joacă un rol cheie în planning-ul preoperator și în design-ul protezei, în plus crește foarte mult complexitatea procesului de diagnostic, dar în același timp crește și costul.

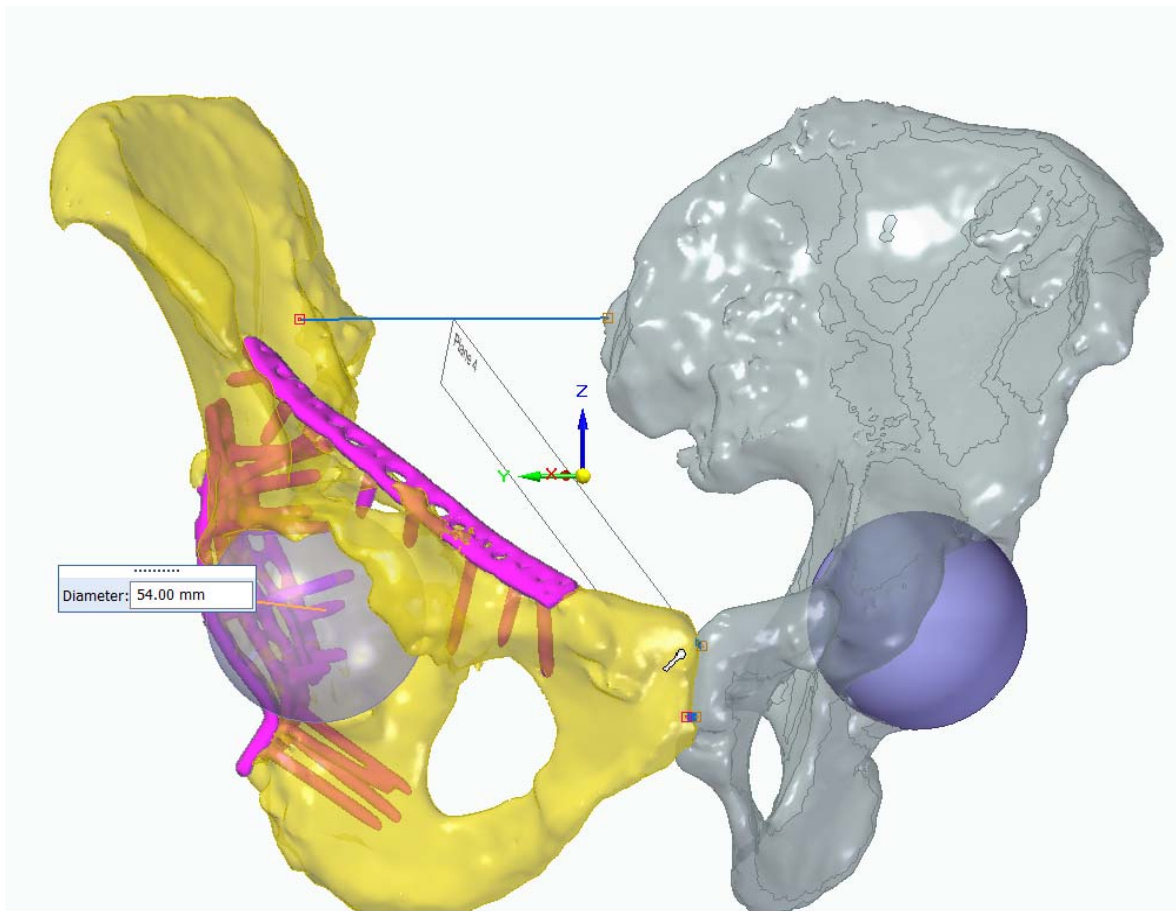


Fig. 6 Aspectul final după prelucrare, în care se vizualizează relația intimă și dimensiunea maximă la care se poate ajunge pentru a nu intra în contact cu materialul de osteosinteză.

CONCLUZII

- ❖ Am obținut imaginea tridimensională a bazinului cu tot cu implantul metallic pentru a oferi chirurgului ortoped o mai bună vizualizare a defectului acetabular în vederea realizării unui diagnostic cât mai exact al acestuia și pentru a lua cele mai bune decizii chirurgicale.
- ❖ Prin imprimarea tridimensională pe baza imaginilor CT ale bazinului, am obținut o metodă imagistică performanță pentru planning-ul preoperator, standardizarea acestuia în managementul defectelor acetabulare în cazuri de revizie a protezelor de șold.
- ❖ Prin intermediul reconstrucției tridimensionale pornind de la imaginile CT, am putut vizualiza și analiza foarte bine defectul osos, am putut prestabili pașii ce vor fi urmați în cadrul intervenției chirurgicale, precum și metode de management al defectului osos.
- ❖ Am realizat un ghid de frezare și implantare a cupei cu o poziție ideală, conform planningului preoperator și defectelor osoase locale. Cu ajutorul acestuia am putut stabili o poziționare ideală a cupei finale, atunci când defectul osos este masiv și reperele clasice nu pot fi folosite.

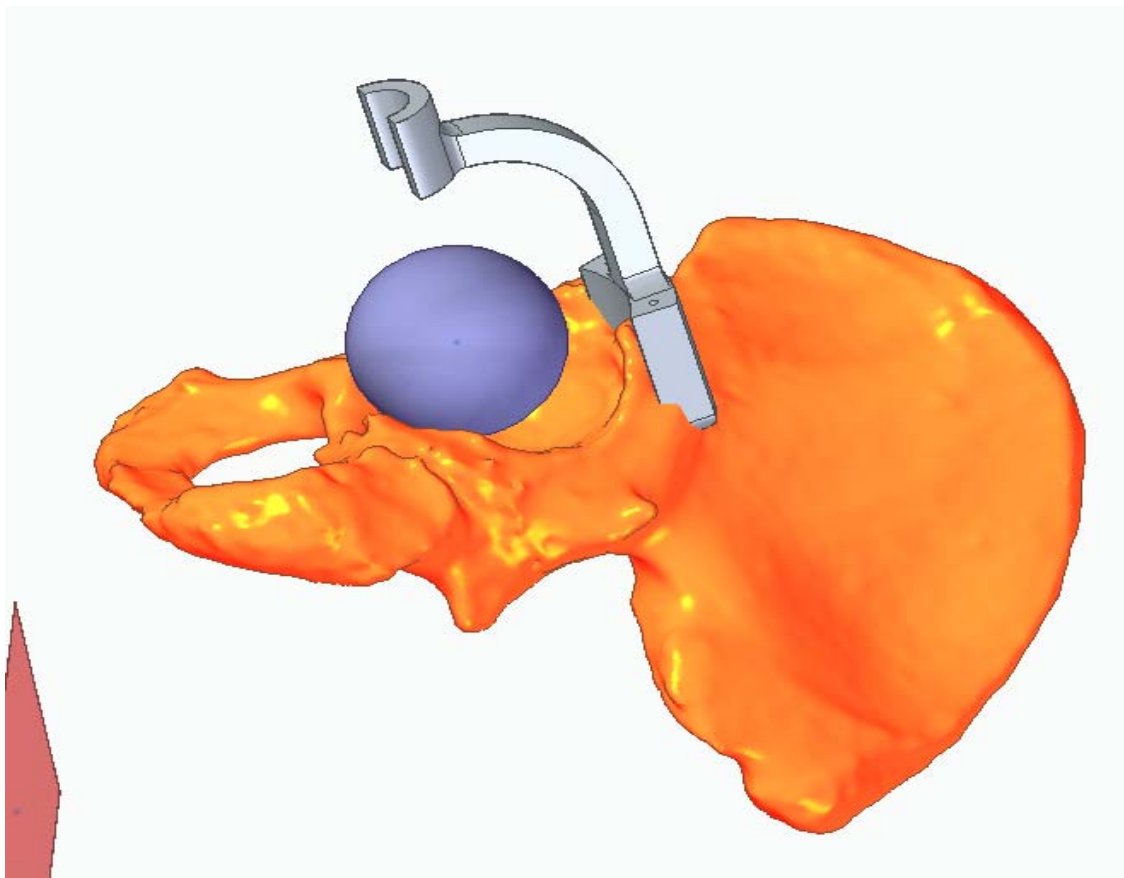
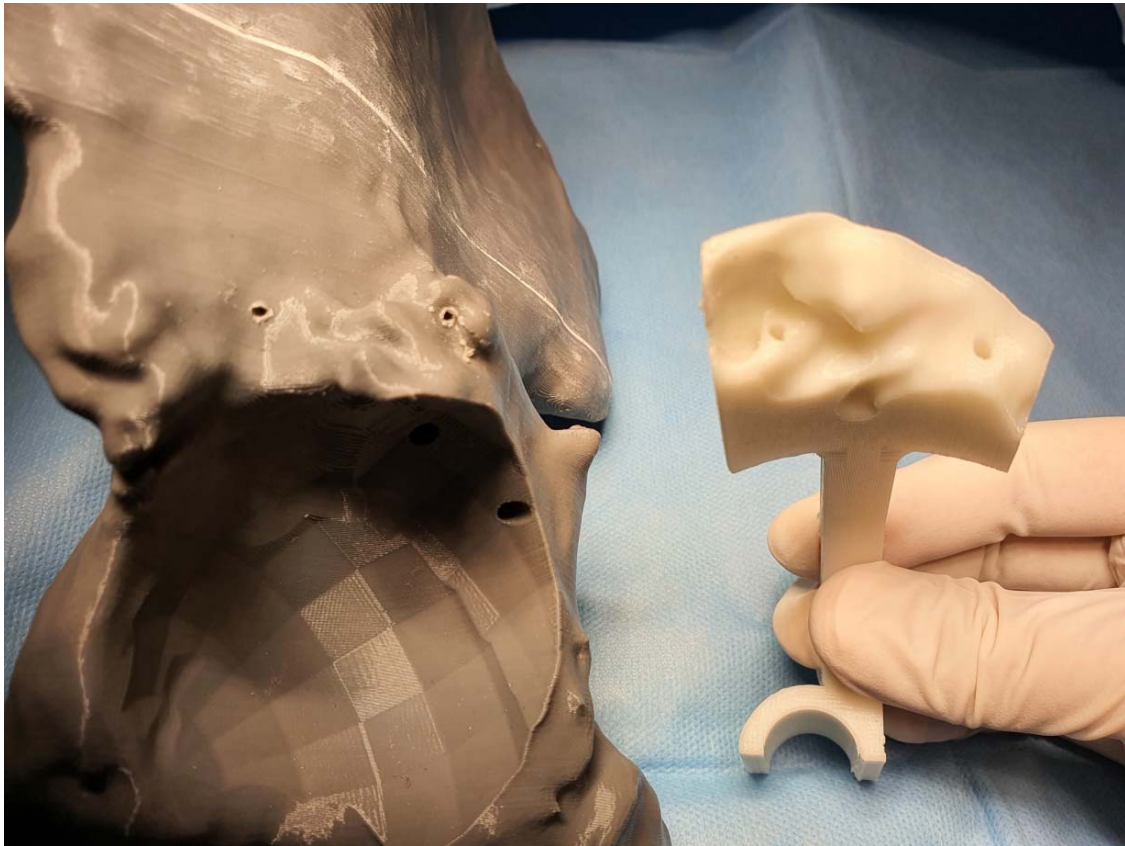
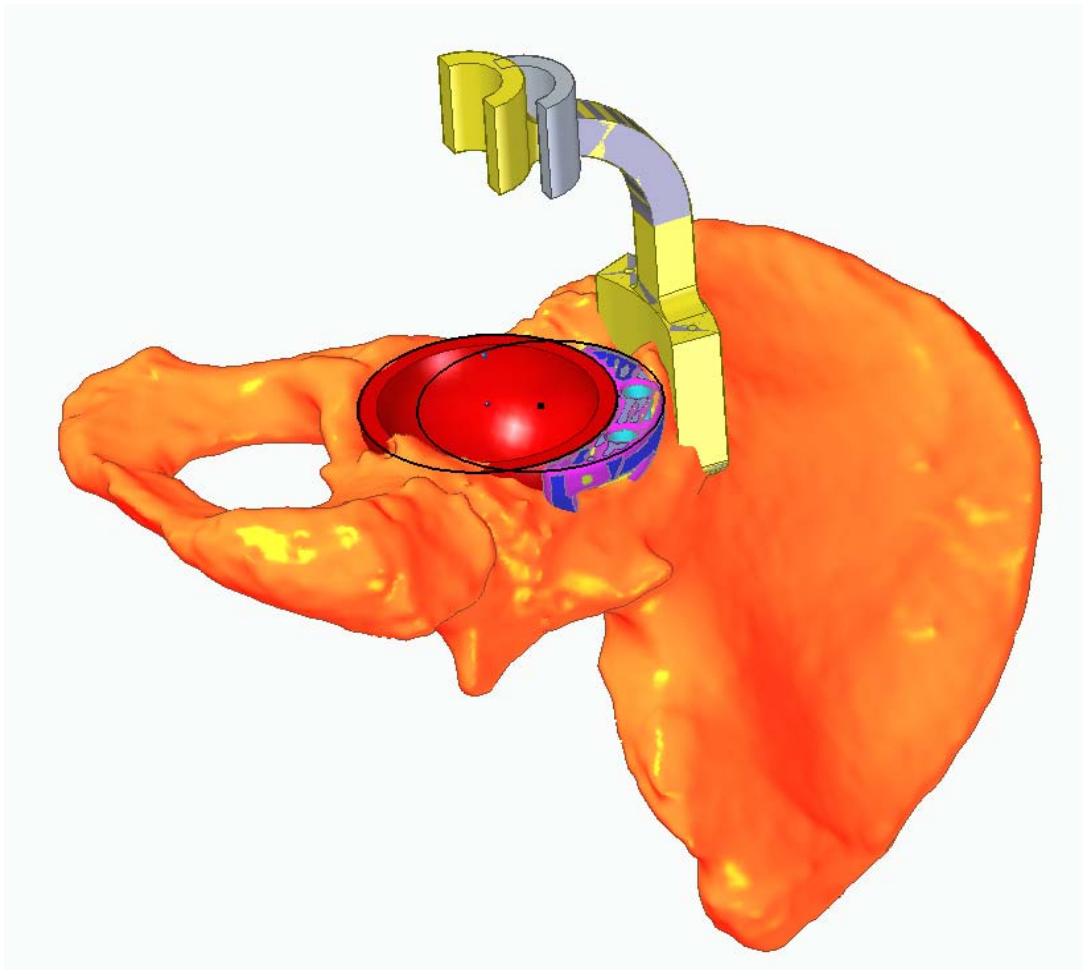


Fig. 7 Exemplificarea proiectării ghidului extern de frezare la nivelul cotilului
Exemplificarea proiectării ghidului extern de frezare la nivelul cotilului cu 2 găuri

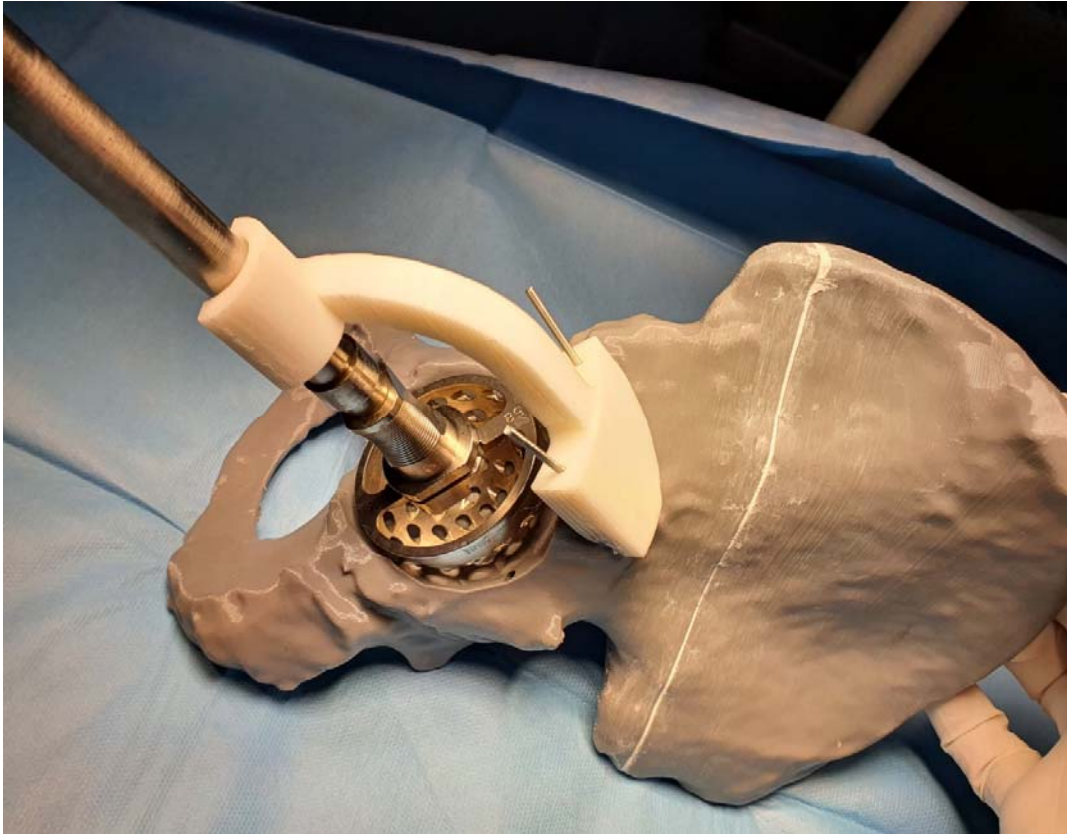
cilindrice în unghi convergent prin care se introduc 2 broșe de diametru dorit pentru fixare acestuia.



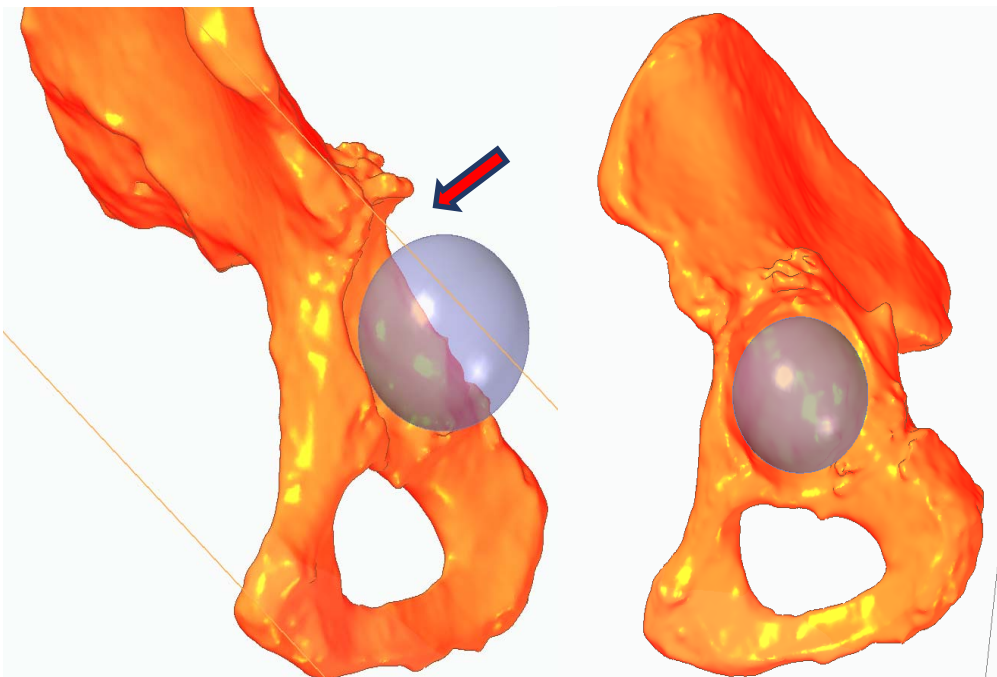
- ❖ Reconstrucția defectelor acetabulare cu augmenți 3D prefabricați și orientarea și simularea reconstrucției acetabulare reprezintă pași importanți în evoluția managementului și realizării intervenției chirurgicale. Realizarea ghidurilor personalizate de frezare a paleocotilului și a neocotilului proiectate tridimensional, precum și a implanturilor personalizate cu ajutorul imprimării 3D, precum și realizarea de ghiduri pentru poziționarea șuruburilor de fixare a cupelor din tantal și a augmenților au reprezentat principalele etape pe care le-am urmărit de-a lungul studiului, iar acestea au fost realizate cu succes și au condus la rezultate semnificative.



- ❖ Am obținut posibilitatea de a simula, în cadrul softului, intervenția chirurgicală cu sacrificarea minimă a stocului osos restant la nivelul cotilului.
- ❖ Utilizarea computer tomografului fără atenuare de metal și setările specifice din soft este inutilă atâta timp cât nu poate fi apreciat defectul acetabular datorită artefactelor de metal, pentru a corespunde cât mai mult cu realitatea.
- ❖ Unul dintre obiectivele principale a fost obținerea unei orientări optime pentru cupă atunci când anatomia locală este modificată semnificativ. Ceea ce am reușit să realizăm în urma cercetării este executarea unui ghid extern pentru frezarea și poziționarea cupei în poziție ideală, aceasta neputând fi poziționată greșit chiar dacă pacientul este obez, greșit așezat pe masa de operație sau în ciuda anatomiei locale mult modificate și a defectului osos local semnificativ.



- ❖ Unul dintre marile avantaje ale proiectării tridimensionale este reprezentat de posibilitatea de raportare la șoldul sănătos când acesta nu are implant prezent sau nu este displazic pentru a restabili un centru de rotație ideal care să nu afecteze atât lungimea membrilor și implicit musculatura.



- ❖ Metoda pe care am reușit să o descriem poate fi utilizată și de chirurghi mai puțin experimentați în ceea ce privește revizia de proteză de șold. Prin reconstrucția tridimensională poate fi planificată metodic fiecare etapă a intervenției chirurgicale, eventualele complicații care pot apărea în timpul intervenției chirurgicale, în așa fel încât ele vor putea fi evitate sau în situația în care nu pot fi evitate, rezolvarea va fi deja cunoscută.
- ❖ Un planning pre-operator minuțios făcut poate duce la scurtarea semnificativă a duratei intervenției chirurgicale scăzând toate riscurile adiacente (infecție, sângerare, gradul de mortalitate) și totodată obținând un rezultat eficient al intervenției chirurgicale.
- ❖ În urma studiilor efectuate în lucrarea de față, am obținut faptul că, după analiza imaginilor radiografice și CT medicii chirurghi încadrează diferit clasificarea defectului acetabular în cadrul clasificării Paprosky, mărinnd gradul după vizualizarea reconstrucției tridimensionale.
- ❖ Metoda propusă poate fi folosită în cadrul training-ului pentru calificarea tinerilor chirurghi, mai ales prin printarea efectivă a bazinului cuprinzând defectul osos în întregime, ulterior putând fi realizată frezarea și simulați toți pașii operatori.
- ❖ Toate cele de mai sus presupun necesitatea colaborării și instruirii cu un tehnician pentru a putea obține reconstrucția tridimensională și a ghidului extern, iar dezavantajul vine din faptul că aceasta poate însemna costuri suplimentare. Din punctul nostru de vedere, o investiție profitabilă pe viitor pentru chirurghii care își doresc să facă intervenții chirurgicale complexe ce necesită o pregătire specială, este în training-ul acestora în ceea ce privește programul și softurile existente și accesibile, training ce este făcut de un tehnician specializat.

Perspectivile studiului

În viitor vom putea discuta despre posibilitatea standardizării intervenției chirurgicale, fără însă a pierde un cuvânt important care face parte și din titlul acestei lucrări și anume, personalizabil. Vom putea continua cercetarea până la printarea directă a defectului acetabular dintr-un material biocompatibil, care să satisfacă toate condițiile necesare (osteinductiv, rezistența mecanică, stabilitate în timp etc.), care să poată fi fixat direct, fără alte ajustări și într-o singură poziție ce a putut fi decisă în prealabil.

Imprimarea 3D este o tehnologie care permite crearea de dispozitive medicale noi, ceea ce presupune faptul că viitorul este deschis pentru noi modele sau invenții pentru îmbunătățirea permanentă a tehnicii chirurgicale.

Lista cu lucrările științifice publicate

Articole publicate în reviste de specialitate:

- *Titlul revistei:* Romanian Journal of Military Medicine, vol. CXXV, nr. 1/2022, pp. 152-157, 2021. Titlul lucrării: “3D Reconstruction protocol in complex acetabular defects”
Autorii: **Dinache G.**, Avram G., Hantascu A., Paraschiv R. și Tillieci L.

www.revistamedicinamilitara.ro

<http://www.revistamedicinamilitara.ro/wp-content/uploads/2022/02/3D-reconstruction-protocol-in-complex-acetabular-defects.pdf>

- *Titlul revistei:* Revista de Chimie Bucuresti - Romania, Vol. 1 din 269; ISSN 0034-7752, nr. 12, pp. 3664-3668, 2018. ISI cotate, Factor de impact pe anul 2017: 1.412 Titlul lucrării: “Theoretical aspects, modern treatment options and practical case presentations in hip and knee tumoral and revision bone defect reconstruction surgery”
Autorii : **Dinache G.**, Drignei M., Ganatsios S., Jovenet E. și Costea R.,

www.revistadechimie.ro

https://www.academia.edu/55662652/Theoretical_Aspects_Modern_Treatment_Options_and_Practical_Case_Presentations_in_Hip_and_Knee_Tumoral_and_Revision_Bone_Defect_Reconstruction_Surgery

- *Titlul revistei:* Revista de Chimie Bucuresti - Romania, Vol. 69 Issue12, 3669-3674, pp. 3669-3674, 2018. ISI cotate, Factor de impact pe anul 2019: 1.755; Titlul lucrării: “The Role of Osteosynthesys Materials in the Etiopathology of Bone Malignant Tumors and Reconstruction Possibilities” Case report

Autorii : Cezar Ionut Calin, Marinel Drignei, Stergios Ganatsios, Eric Jovenet, **George Dinache**, Florin Savulescu, Dumitru Ferechide

<https://revistadechimie.ro/Articles.asp?ID=6816>

Cooautor: “Note de curs” **Prof. A.Barbilian**; Cod produs: 302659; Editura: Anamarol; anul:2015; Nr. Pagini: 255 pagini; ISBN: 9786066401326

BIBLIOGRAFIE

- [1] Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Koblighk H and et. al , "3D printing based in imaging data: review of medical applications," no. 5:335-341, 2010.
- [2] Kim GB, Lee S and Kim H, et al., "Three-dimensional printing: basic principles and applications in medicine and radiology," no. 17(2):182-197, 2016.
- [3] Damian T., Elemente constructive de mecanica fina, Bucuresti: Editura Didactica si Pedagogica, 1980.
- [4] F. W. Liou, "Rapid Prototyping Processes". Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development, CRC Press, 2007.
- [5] G. Glover and N. Pelc, "An algorithm for the reduction of metal clip artifacts in CT reconstructions," vol. 4, 1981.
- [6] R. Brooks and G. Chiro, "Correction for beam hardening in computed tomography," vol. 21, 1976.
- [7] Naveen Subhas, Joshua M. Polster, Nancy A. Obuchowski, Andrew N. Primak, Frank F. Doug and Brian R. Herts, "Imaging of Arthroplasties: Improved Image Quality and Lesion Detection With Iterative Metal Artifact Reduction, a New CT Metal Artifact Reduction Technique," vol. 207 no2, 2016.
- [8] Zaiyang Long, David R. DeLone, Amy L. Kotsenas and Vance T. Lehman, "Clinical Assessment of Metal Artifact Reduction Methods in Dual-Energy CT Examinations of Instrumented Spines," vol. 212 no 2, no. 395-401, 2019.
- [9] Robinson E, Henckel J, Sabah S, Satchithananda K, Skinner J and Hart A, "Cross-sectional imaging of metal-on-metal hip arthroplasties. Can we substitute MARS MRI with CT?," vol. 85(6), 2014.
- [10] Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J-C., Pujol S., Bauer C., Jennings D., Fennessy F.M., Sonka M., Buatti J., Aylward S.R., Miller J.V., Pieper S. and Kikinis R., "3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network.," *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 30(9);, no. PMID: 22770690. PMCID: PMC3466397, pp. 1323-41, 2012 Nov;.
- [11] Dinache G., Avram G., Hantascu A., Paraschiv R. and Tillieci L., "3D Reconstruction protocol in complex acetabular defects," *Romanian Journal of Military Medicine*, vol. CXXV, no. 1/2022, pp. 152-157, 2021.
- [12] Dinache G., Drignei M., Ganatsios S., Jovenet E. and Costea R., "Theoretical aspects, modern treatment options and practical case presentations in hip and knee tumoral and revision

bone defect reconstruction surgery," *Revista de Chimie Bucuresti - Romania*, Vols. 69; ISSN 0034-7752, no. 12, pp. 3664-3668, 2018.

- [13] Kurtz S, Ong K, Lau E, Mowat F and Halpern M, "Projection of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030," no. 89:780-785, 2007.
- [14] Zeng C, Lane NE and Englund M et al., "In-hospital mortality after hip arthroplasty in China: analysis of a large national database," no. 101:1209-1217, 2019.
- [15] van Haaren EH, Heyligers IC, Alexander FG and Wuisman PI, "High rate of failure of impaction grafting in large acetabular defects," no. 89:296-300, 2007.
- [16] D'Antonio JA, Antonio JA and Capello WN et al., "Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty," no. 243:126-137, 1989.
- [17] Yu R, Hofstaetter JG, Sullivan T, Costi K, Howie DW and Solomon LB, "Validity and reliability of the Paproski acetabular defect classification," no. 471:2259-2265, 2013.
- [18] Campbell DG, Garbuz DS, Masri BA and Duncan CP, "Reliability of acetabular bone defect classification systems in revision total hip arthroplasty," no. 16:83-86, 2001.
- [19] Telleria JJ and Gee AO, "Classifications in brief: Paproski classification of acetabular bone loss," no. 471:3725-3730, 2013.
- [20] Gozzard C, Blom A, Taylor A, Smith E and Learmonth I, "A comparison of the reliability and validity of bone stock loss classification systems used for revision hip surgery," no. 18:638-642, 2003.
- [21] Barmeir E, Dubowitz B and Roffman M, "Computed tomography in the assessment and planning of complicated total hip replacement," no. 52:597-604, 1982.
- [22] Cahir JG, Toms AP, Marshall TJ, Wimhurst J and Nolan J, "CT and MRI of hip arthroplasty," no. 62:1163-1173, 2007.
- [23] Won SH, Lee YK, Ha YC, Suh YS and Koo KH, "Improving pre-operative planning for complex total hip replacement with a rapid prototype model enabling surgical simulation," no. 95:1458-1463, 2013.
- [24] Liu Q, Leu MC and Schmitt SM, "Rapid prototyping in dentistry: technology and application," no. 29:317-335, 2005.
- [25] Sanchez-Perez C, Rodriguez-Lozano G, Rojo-Manaute J, Vaquero-Martin J and Chana-Rodriguez F, "3D surgical printing for preoperative planning of trabecular augments in acetabular fracture sequel," no. 49:36-43, 2018.

- [26] Tong Y, Kaplan DJ, Spivak JM and Bendo JA, "Three-dimensional printing in spine surgery: a review of current applications," no. 20:833-846, 2020.
- [27] Zerr J, Chatzinoff Y, Chopra R, Estrera K and Chhabra A, "Three-dimensional printing for preoperative planning of total hip arthroplasty revision: case report," no. 45:1431-1435, 2016.
- [28] Mancusa F, Beltrame A, Colombo E, Miani E and Bassini F, "Management of metaphyseal bone loss in revision knee arthroplasty," no. 88(2s):98, 2017.
- [29] Salem KH, Lindner N, Tingart M and Elmoghazy AD, "Severe metallosis-related osteolysis as a cause of failure after total knee replacement," no. 11(1):165, 2020.
- [30] Bauer G, Zaharia B, Galliot F, Parot J, Houfani F and Mayer J et. al, "Management and results in periprosthetic tibial fracture after total knee arthroplasty: two-center 15-case retrospective series at 2 years' follow-up," no. 106(3):449, 2020.
- [31] Casp AJ, Montgomery Jr SR, Cancienne JM, Brockmeier SF and Werner BC, "Osteoporosis and implant-related complications after anatomic and reverse total shoulder arthroplasty," no. 28(3):121, 2020.
- [32] Chen AF and Hozack WJ, "Component selection in revision total hip arthroplasty," no. 45(3):275, 2014.
- [33] D'Antonio JA, "Periprosthetic bone loss of the acetabulum. Classification and management," no. 23(2):279, 1992.
- [34] Sims L, Kulyk P and Woo A, "Intraoperative culture positive allograft bone and subsequent postoperative infections: a retrospective review," no. 60(2):94, 2017.
- [35] Haglin JM, Eltorai AE, Gil JA and Marcaccio SE, "Patient-specific orthopaedic implants," no. 8(4):417, 2016.
- [36] Barlow BT, Oi KK, Lee YY, Carli AV, Choi DS and Bostrom DF, "Outcomes of custom flange acetabular components in revision total hip arthroplasty and predictors of failure," no. 31(5):1057, 2016.