

Școala doctorală în domeniul Științe medicale

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 616.721.7-001.7-089.881(043.2)

BORODIN, Serghei

**ARTRODEZA INTERSOMATICĂ LOMBARĂ MEDIANĂ ÎN
TRATAMENTUL SPONDILOLISTEZISULUI DEGENERATIV.
STUDIU COMPARATIV AL EFICIENȚEI CLINICE**

321.21 NEUROCHIRURGIE

Teză de doctor în științe medicale

Chișinău, 2023

Teza a fost elaborată în cadrul Catedrei de neurochirurgie a Universității de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”

Conducător

Bodiu Aureliu

Dr. hab. șt. med., conf. univ.

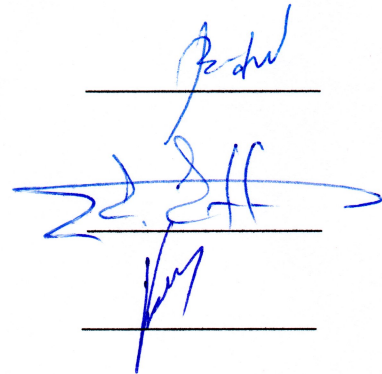
Membrii comisiei de îndrumare:

Eftodiev, Eduard

Dr. șt. med., conf. univ.

Caproș Nicolae

Dr. hab. șt. med., prof. univ.



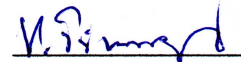
Susținerea va avea loc pe 6.12.2023, la 14:00, în incinta USMF ”Nicolae Testemițanu”, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 165, biroul 205, în ședința Comisiei de susținere publică a tezei de doctorat, aprobată prin decizia Consiliului Științific al Consorțiului din 25.05.2023 (proces verbal nr. 10).

Componenta Comisiei de susținere publică a tezei de doctorat:

Președinte:

Timirgaz Valeriu

Dr. hab. șt. med., conf. univ.



Membrii:

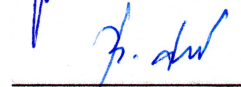
Caproș Nicolae

Dr. hab. șt. med., prof. univ.



Bodiu Aureliu

Dr. hab. șt. med., conf. univ.



Gherman Igor

Dr. șt. med., conf. univ.



Lîsîi Dan

Dr. șt. med., conf. univ.



Ivanov Marcel

MD, PhD, MSc, FRCS, iFAANS, Dip Clin Ed,
Sheffield, Marea Britanie



Autor

Borodin Serghei



CUPRINS

LISTA DE ABREVIERI	4
INTORDUCERE.....	5
1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIU	9
1.1. Problemele actuale în tratamentul durerii de spate.....	9
1.2. Spondilolistezisul degenerativ. Definiție. Particularități.....	10
1.3. Epidemiologia Spondilolistezisului Degenerativ.	11
1.4. Evoluția naturală a spondilolistezisului degenerativ.	11
1.5. Luarea deciziei în tratamentul SPLD.....	12
1.6. Parcursul istoric și evoluția tehnicilor chirurgicale de tratament al afecțiunilor degenerative spinale	13
1.7. Rahisinteza cu șuruburi pediculare transcorticale. Revista literaturii publicate.....	17
2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE	33
2.1. Caracteristica generală a metodologiei de cercetare.....	33
Design-ul studiului	35
2.2. Metode de cercetare.....	36
2.3. Metode de prelucrare și analiză a materialului primar	51
3. TRATAMENTUL CHIRURGICAL. ARTRODEZA MIDLIF.....	52
4. EVALUAREA EFICACITĂȚII TRATAMENTULUI CHIRURGICAL	78
SINTEZA REZULTATELOR STUDIULUI.....	97
CONCLUZII GENERALE	108
RECOMANDĂRI PRACTICE	110
BIBLIOGRAFIE	111
INFORMAȚII PRIVIND VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII	135
ANEXE.....	138
DECLARAȚIE PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	158

LISTA DE ABREVIERI

- ALIF – artrodeza intersomatică lombară anterioară (eng. Anterior Lumbar Interbody Fusion)
- AP – antero-posterior
- CoPd – cortico-pedicular
- CT – tomografie computerizată (eng. Computer Tomography)
- DIV – disc intervertebral
- FR – factori de risc
- HU – unități Hounsfield (eng. Hounsfield units)
- IMC – indicele de masa corporala
- IRM – Imagistica prin Rezonanță Magnetică
- MCS – componenta mintală a scorului SF-12 (eng. Mental Component Summary)
- MIDLIF – artrodeza intersomatică lombară anterioară (eng. Midline Lumbar Interbody Fusion)
- ODI – Oswestry Disability Index
- OLIF - artrodeza intersomatică oblică laterală (eng. Oblique Lateral Interbody Fusion)
- PA - pseudartroză
- PCS – componenta fizică a scorului SF-12 (eng. Physical Component Summary)
- PLF – artrodeza posterolaterală (eng. Posterolateral Fusion)
- PLIF – artrodeza intersomatică lombară posterioară (eng. Posterior Lumbar Interbody Fusion)
- Rx – radiografie (raze X)
- SF-12 – eng. 12-item Short Form Survey
- SPL – spondilolistezis
- SPLD – spondilolistezis lombar degenerativ
- TLIF – artrodeza intersomatică lombară transforaminală (eng. Transforaminal Lumbar Interbody Fusion)
- TPd – transpedicular

INTORDUCERE

Actualitatea și importanța problemei cercetate

Spondilolistezisul lombar degenerativ (SPLD) este una dintre cele mai frecvente leziuni de geneză degenerativă ale coloanei vertebrale, care afectează până la 14 % din populație. Deși nu există un consens în privința tratamentului chirurgical optimal, la momentul actual tehnica standard în tratamentul pacienților cu SPLD include decompresia structurilor nervoase și stabilizarea coloanei vertebrale prin una din metodele tradiționale de artrodeză intersomatică (PLIF, TLIF, PLF). Deși este foarte efektivă în realizarea fuziunii intervertebrale, tehnica clasică are neajunsuri importante, cum ar fi disecția musculară semnificativă care este necesară pentru inserția șuruburilor pediculare. De asemenea, din cauza leziunii iatrogene a țesutului muscular tehnica tradițională este asociată cu o morbiditate chirurgicală sporită. Inciziile cutanate lungi, lezarea ramurii mediale a nervului spinal și retracția îndelungată a plăgii pot cauza denervarea, necroza ischemică și atrofia mușchilor paravertebrali. Pierderea suportului muscular funcțional poate duce ulterior la dereglarea mobilității vertebrale segmentare, creșterea stresului biomecanic și persistența durerilor de spate [124].

Pentru a rezolva unele dintre aceste neajunsuri, relativ recent a fost elaborată tehnica de Artrodeză Intersomatică Lombară Mediană (MIDline Lumbar Interbody Fusion - MIDLIF®), care ar oferi o rată acceptabilă de reușită a fuziunii intervertebrale și în același timp ar face uz de calitățile minimal invazive ale rahisintezei cu șuruburi cortico-pediculare (CoPd).

Traectoria prin osul cortical al *pars interarticularis* a fost propusă de Santoni et al. în anul 2009, ca metodă alternativă de implantare a șuruburilor pediculare la pacienții cu osteoporoză vertebrală. Ea presupune o orientare divergentă a șuruburilor pediculare din medial spre lateral în planul axial, o angulare cranio-caudală în plan sagital și un punct inițial de inserție localizat pe suprafața medială a istmului vertebral. Traiectul CoPd permite ancorarea șurubului în osul cortical al *pars interarticularis*, care are o densitate mult mai mare decât țesutul spongios în care sunt implantate șuruburile pediculare tradiționale. Testele biomecanice desfășurate de Santoni au demonstrat că șuruburile cortico-pediculare posedă o rezistență la smulgere semnificativ mai mare decât șuruburile transpediculare clasice [242].

Datorită punctului de inserție mai medial și a angularii divergente a șuruburilor cu traieci CoPd, au fost presupuse următoarele beneficii teoretice ale tehnicii MIDLIF față de tehnicile tradiționale de artrodeză:

- Disecția și retracția musculară mai limitată ar putea reduce hemoragia, diminua durerea în regiunea plăgii chirurgicale și ar putea accelera reabilitarea funcțională postoperatoriu.
- Evitarea leziunii ramurilor mediane ale nervilor spinali ar putea contribui la reducerea durerilor radiculare postoperatorii.

- Absența contactului șurubului de la nivelul proximal cu apofiza articulară inferioară ar putea să diminueze riscul degenerării segmentului adiacent.
- Traectoria divergentă a șuruburilor CoPd ar putea diminua riscul de leziune iatrogenă a structurilor vasculare magistrale din abdomen.

Prima relatare despre aplicarea tehnicii de artrodeză MIDLIF în condiții clinice datează cu anul 2014 [179]. De atunci au fost publicate multiple studii preclinice (biomecanice, morfometrice, anatomice, radiologice) și studii clinice, care au căutat să demonstreze superioritatea sau non-inferioritatea rahisintezei cu șuruburi cortico-pediculare. Din păcate, majoritatea acestor studii au fost retrospective, nerandomizate, pe loturi mici de pacienți și pe populații non-representative. Până în prezent nu există nici un studiu clinic controlat, prospectiv, randomizat, care ar evalua eficacitatea tehnicii MIDLIF aplicate exclusiv în tratamentul spondilolistezisului lombar degenerativ.

Având la bază aceste argumente, s-a impus necesitatea realizării unei cercetări complexe, cu un nivel înalt de veridicitate a dovezilor științifice, care ar elucida problema fiabilității noii tehnici de rahisinteză cu șuruburi CoPd.

Scopul experimentului științific a fost studierea eficacității clinice și a particularităților tehnice ale Artrodezei Intersomatice Lombare Mediane (MIDLIF) cu șuruburi pediculare transcorticale ghidate de neuronavigație, pentru a optimiza algoritmul de evaluare și tratament chirurgical al pacienților cu spondilolistezis degenerativ.

Obiectivele cercetării au rezultat din scopul propus și au inclus:

1. Evaluarea ratei de reușită a fuziunii intervertebrale asociate tehnicii MIDLIF, în comparație cu metodele tradiționale de artrodeză (PLIF / TLIF).
2. Determinarea eficacității tehnicii MIDLIF în ameliorarea sindromului algic (lombar, radicular), a gradului de dizabilitate funcțională și a calității vieții pacienților cu SPLD.
3. Analiza comparativă a parametrilor asociați morbidității perioperatorii, cu scop de cuantificare a traumatismului chirurgical propriu tehnicilor confruntate în cadrul studiului.
4. Evaluarea particularităților, avantajelor și a dificultăților tehnice specifice utilizării neuronavigației spinale în cadrul artrodezei MIDLIF. Stabilirea unei configurații intraoperatorii optime a sistemului de neuronavigație pentru ghidarea șuruburilor pe traiectul cortico-pedicular.
5. Elaborarea unui algoritm optimizat de evaluare preoperatorie și tratament chirurgical al pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ.

Proiectul cercetării științifice a fost avizat favorabil de Comitetul de Etică a Cercetării al USMF „Nicolae Testemițanu” la ședința din data de 5.12.2016 (proces verbal nr. 44 din 12.12.2016).

Metodologia cercetării.

În perioada anilor 2016 - 2022, în cadrul Clinicii de Neurochirurgie Nr.2 a Catedrei de neurochirurgie a USMF „Nicolae Testemițanu”, din incinta Spitalului Clinic Republican „Timofei Moșneaga”, a fost desfășurat în premieră un studiu științific experimental, după modelul studiilor clinice controlate, prospective, cu selectare aleatorie a subiecților, care a analizat rezultatele clinice și radio-imagistice ale aplicării noii tehnici de artrodeză intersomatică MIDLIF în tratamentul pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ, confruntându-le cu rezultatele tehnicilor tradiționale de artrodeză intersomatică lombară (TLIF / PLIF). Cercetarea a fost realizată pe un eșantion de 112 pacienți, care au fost repartizați aleatoriu în 2 loturi de studiu a câte 56 subiecți fiecare. Lotul de control a inclus pacienți tratați prin metoda tradițională de fuziune intersomatică, iar lotul de cercetare – pacienți la care a fost aplicată tehnica experimentală (MIDLIF).

Studiul realizat, a venit să soluționeze o problemă științifică importantă ce constă în fundamentarea științifică a abilității tehnicii de artrodeză MIDLIF cu șuruburi cortico-pediculare de a asigura o eficacitate mecanică și respectiv un grad de reușită a fuziunii intervertebrale similare metodelor tradiționale de spondilosindeză, oferind totodată avantajele unei morbidități chirurgicale reduse, specifice tehnicilor minimal invazive, fapt ce a confirmat oportunitatea promovării Artrodezei Intersomatice Lombare Mediane (MIDLIF) ca o alternativă chirurgicală sigură și eficientă, în vederea aplicării acesteia în tratamentul spondilolistezisului degenerativ.

Semnificația teoretică și valoarea aplicativă a lucrării. Pe parcursul desfășurării studiului a fost identificată configurația intraoperatorie optimală a neuronavigației spinale pentru artrodeza MIDLIF, prin ajustarea procedurii de fixare a cadrului de referință. Au fost stabilite cauzele apariției complicațiilor specifice artrodezei MIDLIF (fractura de pars sau de pedicul) și au fost aplicate optimizări la tehnica chirurgicală, care au permis minimalizarea riscului producerii acestor complicații. În baza rezultatelor cercetării a fost elaborat și fundamentat științific un algoritm optimizat de evaluare și tratament chirurgical al pacienților cu spondilolistezis degenerativ, care a fost implementat în calitate de Protocol Instituțional în cadrul Spitalului Clinic Republican „Timofei Moșneaga”. Acest algoritm, cât și noua metodă de artrodeză MIDLIF sunt pasibile de aplicare în practica majorității clinicilor specializate în neurochirurgie și ortopedie spinală din țara noastră.

Cercetarea științifică a avut ca rezultat implementarea în practica Clinicii de Neurochirurgie a Spitalului Clinic Republican a următoarelor tehnici și metode:

- Implementarea tehnicii de artrodeză MIDLIF cu șuruburi CoPd în tratamentul instabilității spinale de origine degenerativă.
- Implementarea ghidajului imagistic intraoperator al inserției șuruburilor cu traiect pedicular tradițional și cu traiect cortico-pedicular, cu ajutorul neuronavigației spinale. A fost stabilită o

configurație optimală a sistemului de neuronavigație pentru ghidarea traiectului CoPd, prin ajustarea procedurii de poziționare a cadrului dinamic de referință.

- Implementarea monitoringului neurofiziologic intraoperator în ghidarea inserției șuruburilor pediculare (TPd și CoPd).
- Implementarea tehnicii minimal invazive de laminectomie unilaterală pentru decompresia bilaterală a canalului spinal (eng. „Over the Top”), ca metodă alternativă de tratament al spondilolistezisului degenerativ.
- Implementarea metodelor de evaluare a calității țesutului osos prin intermediul osteodensitometriei DEXA suplimentate cu măsurarea densității osoase în unități Hounsfield cu ajutorul tomografiei computerizate convenționale.
- Implementarea metodei de evaluare a fuziunii intervertebrale cu ajutorul tomografiei computerizate în baza protocolului Williams și a clasificării Brantigan-Steffee-Fraser.
- Implementarea metodei de evaluare a instabilității segmentare prin măsurarea mișcării de translație vertebrală pe radiografia coloanei vertebrale în ortostatism comparativ cu imaginile IRM sau CT realizate în poziție orizontală a pacientului, ca alternativă pentru radiografia funcțională a coloanei vertebrale cu probe dinamice.
- Implementarea în IMSP SCR „Timofei Moșneaga” a Protocolului Clinic Instituțional de diagnostic și tratament al pacienților cu SPLD.

Rezultatele studiului științific au fost reflectate în numeroase publicații în reviste de specialitate, în materialele conferințelor științifice naționale și internaționale și au fost prezentate la variate sesiuni de comunicări științifice din Republica Moldova, Austria, Turcia, România, Spania, Ucraina și Rusia, inclusiv la al XVI Congres Mondial de Neurochirurgie, WFNS 2017 și Congresul Asociației Europene a Societăților de Neurochirurgie, EANS 2023 Barcelona (Anexa 11).

Cuvinte cheie: spondilolistezis lombar degenerativ, artrodeză intersomatică lombară, fuziune intervertebrală, osteosinteză transpediculară, șurub cortico-pedicular, șurub transpedicular, neuronavigație spinală.

1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIU

1.1. Problemele actuale în tratamentul durerii de spate

Durerea de spate a fost supranumită „boala secolului XXI” pentru ca a devenit o adevărată provocare pentru sistemul de sănătate publică și este principala cauză a dizabilității la nivel global.

Fiind unul din simptomele dominante, specifice fenomenului de îmbătrânire a coloanei vertebrale, durerea de spate afectează cel puțin o dată în viață până la 85% din populația adultă. De asemenea, durerea de spate este una din principalele cauze de solicitare a serviciilor medicale și de absență de la serviciu pe motiv de boală în țările înalt industrializate [31, 212].

În studiul „Global Burden of Disease” din 2010 și 2017, din 291 de patologii analizate, durerea lombară s-a situat pe prima poziție drept cel mai mare contribuabil la dizabilitatea globală, fiind cauza principală de invaliditate în 126 din 195 de țări (figura 1) [107, 114].

Prevalența la nivel global a durerii lombare a fost de 9,4% în anul 2010, fiind cea mai mare în Europa de vest (15%) și Africa de Nord / Orientul Mijlociu (14,8%).

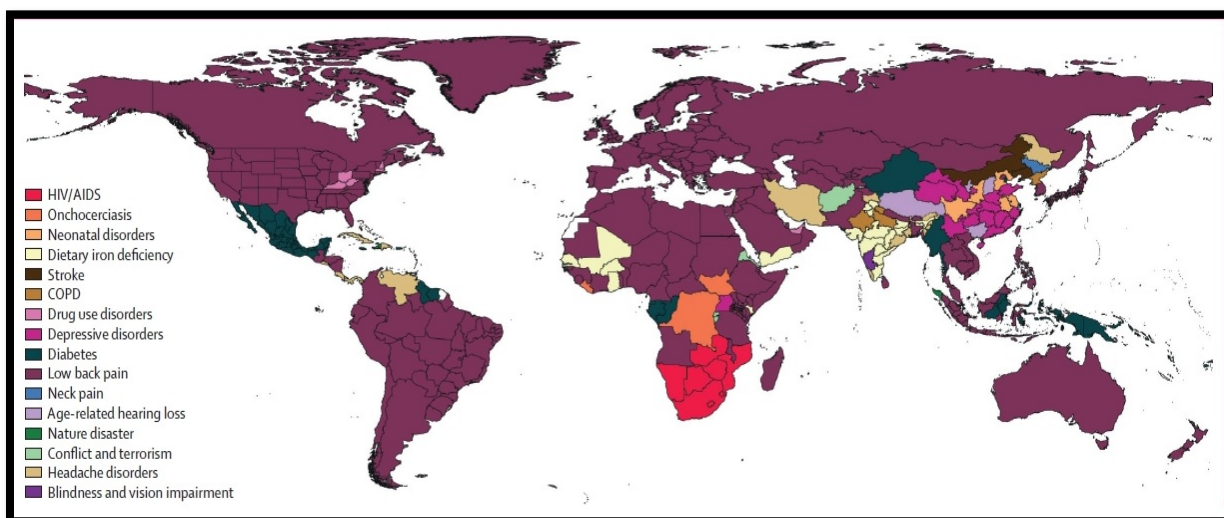


Figura 1. Prevalența globală a durerii lombare [114]

O analiză sistematică a studiului “Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study 2019” realizată cu scop de evaluare a necesității pentru tratamentul de reabilitare, a stabilit că la nivel mondial aproximativ 1,7 miliarde de oameni suferă de patologii musculo-scheletale, durerea lombară fiind principalul contribuabil la povara globală a acestor boli. De fapt, durerea de spate este principalul motiv pentru solicitarea serviciilor de reabilitare în 134 din 204 țări (inclusiv Republica Moldova).

În rândul adulților, durerea de spate rămâne principalul motiv de abandonare prematură a câmpului de muncă. Impactul social al pensionării anticipate din cauza lombalgiei cronice este

enorm, atât în ceea ce privește cheltuielile directe pentru îngrijirile medicale cât și cheltuielile indirecte (absenteismul la locul de muncă, pierderea productivității). Proiecțiile statistice arată că numărul persoanelor cu dureri de spate va continua să crească în viitor și chiar mai rapid în țările cu venituri mici și medii [65].

Din cauza procesului intens de îmbătrânire demografică specific Republicii Moldova, tratamentul durerii de spate devine o problemă de prioritate majoră pentru sistemul nostru medical, care necesită o abordare sistematică pluridisciplinară.

Deși la o mare parte din pacienții cu lombalgie acută durerile regresează în primele 6 săptămâni de tratament, totuși până la 40% din pacienți suportă recidive multiple în următoarele 6 luni, iar la 10% din pacienți durerea de spate devine cronică (persistă mai mult de 12 săptămâni).

Una din principalele cauze ale durerii cronice de spate o constituie modificările degenerative ale coloanei vertebrale, care sunt adesea descrise la general cu termenul de „spondiloză lombară” sau „boală degenerativă a coloanei vertebrale” și include trei entități nosologice de bază: stenoza canalului rahidian, spondilolistezisul degenerativ și boala degenerativă a discului intervertebral [95]. Fiind asociată cu o varietate largă de simptome clinice, care includ durerea lombară cronică, durerea iradiantă în membrul inferior și slăbiciunea musculară, spondiloza degenerativă poate cauza o reducere semnificativă a calității vieții pacientului [95, 218].

1.2. Spondilolistezisul degenerativ. Definiție. Particularități.

Spondilolistezisul degenerativ (SPLD) este definit ca „deplasarea în direcție anterioară în plan sagital a unei vertebre în raport cu vertebra subiacentă, în absența defectelor de pars interarticularis” (ghidul NASS [138, 173]). Spondilolistezisul poate fi cauza durerilor lombare, a durerilor radiculare și a claudicației neurogene.

SPLD este cea mai frecventă formă de spondilolistezis, care afectează până la 14% din populație. A fost pentru prima dată descrisă în anul 1930 de către Junghanns, care a folosit termenul de “pseudospondylolisthesis”, din cauza prezenței arcului neural intact, particularitate prin care se deosebește de restul formelor de spondilolistezis (displazic, istmic, traumatic și patologic) [269, 280].

SPLD este o patologie dobândită, specifică persoanelor cu vârsta de peste 50 de ani, în special femeilor. Prevalența sa în populație sporește odată cu creșterea vârstei pacienților [221].

Segmentul spinal cel mai frecvent afectat de SPLD este L4-L5, spre deosebire de alte forme de spondilolistezis care afectează cu predilecție nivelul L5-S1. Acest fenomen este posibil cauzat de orientarea sagitală a fațetelor articulare la nivel L4-L5. Studiile clinice au demonstrat că orientarea sagitală mai mare de 45° a fațetelor articulare la nivel L4-L5 crește de 25 de ori riscul de apariție a SPLD. [72].

1.3. Epidemiologia Spondilolistezisului Degenerativ.

Studiile epidemiologice recente au constatat că la nivel global circa 266 de milioane de persoane (3,63%) sunt diagnosticate anual cu spondiloză degenerativă a coloanei vertebrale.

Incidența anuală a spondilolistezisului degenerativ la nivel mondial este de 0,53% (39 milioane de persoane). Cea mai mare incidență a fost apreciată în Europa (0,83%). În țările subdezvoltate și în curs de dezvoltare a fost înregistrată o incidență a SPLD de 3,5 ori mai mare decât în țările dezvoltate [224].

Luând în considerație că în Republica Moldova, conform datelor Biroului Național de Statistică, în anul 2022 a fost estimat un număr al populației de 2603813 de persoane [182], raportând la incidența specifică populației Europene (0,83%) putem presupune pentru Republica Moldova o incidența anuală a SPLD de 21612 de cazuri noi.

Un alt studiu epidemiologic (“The Copenhagen Osteoarthritis Study”), a demonstrat o prevalență a spondilolistezisului degenerativ lombar de 2.7% în rândul bărbaților și de 8,4% în rândul femeilor [113]. Raportat la datele Biroului Național de Statistică al Republicii Moldova, la o populație de 1,4 milioane femei și 1,2 milioane bărbați, prevalența SPLD în țara noastră ar fi de 32400 de bărbați și 117600 de femei (în total 150.000 de bolnavi).

Prevalența crescută a SPLD la femei față de bărbați (3:1) poate fi datorată unei expresii crescute a receptorilor pentru estrogen în cartilajul fațetelor articulare și laxității crescute a ligamentelor spinale. Factorii de risc pentru apariția SPLD la femei sunt vârsta, indicele de masă corporală și lordoza lombară sporită (la bărbați doar vârsta este factor de risc) [280].

1.4. Evoluția naturală a spondilolistezisului degenerativ.

Kirkaldy-Willis a descris trei etape ale evoluției SPLD: de disfuncție, de instabilitate și de restabilizare. În prima etapă, de **disfuncție** a segmentului motor, modificările anatomice sunt minimale. În următoarea etapă, cea de **instabilitate**, apare colapsul spațiului discal, deformarea inelului fibros, laxitatea capsulei articulare și deteriorarea cartilajului fațetar, ceea ce duce la o mobilitate patologică crescută a segmentului motor. Etapa finală este cea de **restabilizare**. În această fază, fibroza articulațiilor, formarea osteofitelor marginale și hipertrofia ligamentului galben stabilizează segmentul motor. Prin urmare, în stadiile avansate de degenerare, segmentul vertebral afectat prezintă o mobilitate semnificativ mai joasă decât segmentele adiacente. Hipertrofia și deformarea fațetelor articulare poate duce la stenoza centrală, îngustarea recesurilor laterale și a foramenelor neurale și împreună cu hipertrofia ligamentului galben constituie principalele structuri care contribuie la apariția stenozei de canal rahidian.

Evoluția naturală a spondilolistezisului degenerativ este în general benignă. Majoritatea pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ fără de deficit neurologic pot fi tratați non-chirurgical. Pacienții care prezintă dereglări senzitive, slăbiciune musculară sau sindrom de *cauda equina* sunt predispuși să dezvolte un deficit neurologic permanent dacă nu sunt supuși tratamentului chirurgical. De asemenea, progresia alunecării vertebrale este mai puțin probabilă atunci când DIV a pierdut mai mult de 80% din înălțimea sa inițială și s-au format osteofite intervertebrale.

1.5. Luarea deciziei în tratamentul SPLD

Tratamentul SPLD este inițial unul non-chirurgical și implică o perioadă de repaus, urmată de un curs de medicamente antiinflamatoare și miorelaxante. Dacă simptomele persistă, ar putea fi util un curs de terapie fizică. Injecțiile epidurale de steroizi ar putea oferi beneficii de scurtă durată, însă fără beneficii la distanță. Alte opțiuni de tratament care pot fi utile sunt ortezele lombare, exercițiile sportive de stabilizare a coloanei vertebrale și de reeducare musculo-posturală [214, 219], stimularea electrică nervoasă transcutană și terapia cu ultrasunet [66].

În caz de eșuare a tratamentului non-chirurgical, se va lua în considerare opțiunea de tratament chirurgical. Studiile clinice cum ar fi „Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT)” au demonstrat că pacienții cu SPLD care au fost tratați chirurgical, au avut rezultate clinice (ameliorarea durerii, ameliorarea calității vieții) semnificativ mai bune decât pacienții tratați conservativ [278]. Tratamentul chirurgical al stenozei spinale are o eficacitate de peste 90% și este valabil pentru toate categoriile de vârstă [200, 201].

Scopul principal al tratamentului stenozei spinale cu SPLD este de decomprimare a rădăcinilor nervoase emergente la acest nivel, cât și a rădăcinilor în pasaj. Rolul artrodezei spinale în tratamentul SPLD este controversat. Decizia de a limita tratamentul doar la decomprimare sau de a îl asocia cu artrodeza intersomatică depinde în mare parte de gradul SPLD, de mobilitatea patologică a segmentului spinal pe radiografiile dinamice și de comorbiditățile pacientului.

Din nefericire, evaluarea preoperatorie a stabilității segmentare își pierde valoarea după realizarea unei decomprimări destabilizante. Stabilitatea segmentului motor trebuie menținută în timpul decomprimării prin păstrarea de *pars interarticularis* și a fațetelor articulare. Totuși, foarte frecvent, o mare parte din fațetele articulare urmează a fi rezecționată pentru a obține o decomprimare adecvată a rădăcinii nervoase implicate.

Recent, două studii controlate randomizate au comparat rezultatele tratamentului chirurgical al SPLD prin decomprimare fără artrodeză versus decomprimare plus artrodeză. Acestea sunt studiile SLIP (Spinal Laminectomy versus Instrumented Pedicle Screw trial) [94] și SSS (Swedish Spinal Stenosis study) [89]. Studiul SLIP a concluzionat că adăugarea artrodezei a avut ca rezultat

un beneficiu clinic mic, dar statistic semnificativ și o rată de reoperații mult mai joasă comparativ cu decompresiunea fără artrodeză (34% versus 14%). Concluzia studiului suedez a fost că artrodeza asociată decompresiunii spinale nu a adus careva beneficii ce țin de rezultatele clinice, dar a avut ca rezultat o spitalizare mai îndelungată, hemoragie intraoperatorie mai mare, durata operației mai lungă și cheltuieli crescute comparativ cu decompresia fără fuziune. Aceste studii, analizate împreună, sugerează că nu la toți pacienții spondilolistezisul este instabil și necesită artrodeză. Totuși, există un anumit grup de pacienți care după operațiile decompresive pot dezvolta o instabilitate segmentară tardivă. Cel puțin 30% din pacienții cu SPLD probabil vor beneficia din combinarea decompresiunii spinale cu artrodeza intersomatică[280].

Este rațională favorizarea artrodezei intersomatice în loc de decompresiunea simplă în tratamentul pacienților cu SPLD cu vârsta de până la 65 ani, fără patologii concomitente severe, nefumători, funcțional activi. Acești pacienți au o șansă mai înaltă de reușită a artrodezei și concomitent, un risc mai înalt de progresie a SPL după decompresiune.

1.6. Parcurusul istoric și evoluția tehnicilor chirurgicale de tratament al afecțiunilor degenerative spinale

1.6.1. Evoluția tehnicilor chirurgicale tradiționale de stabilizare a coloanei vertebrale

Primele descrieri ale instabilității spinale au fost găsite în textele antice indiene și egiptene [75]. Ideea corecției și a stabilizării coloanei vertebrale au existat de secole, dar nu și mijloacele de a le realiza. Ca urmare, coloana vertebrală a rămas practic inaccesibilă pentru chirurghi până la sfârșitul secolului al XIX-lea.

Prima intervenție chirurgicală de stabilizare a coloanei vertebrale a fost raportată de Handra, în 1891 [75, 217]. Fractura vertebrelor cervicale fost immobilizată prin cerclajul apofizelor spinoase adiacente cu ajutorul sârmei de argint. Fixarea a eșuat la câteva săptămâni după intervenție.

Implementarea artrodezei pentru boala degenerativă a coloanei vertebrale

În anul 1929 Hibbs a început să efectueze cerclajul posterior cu sârmă în tratamentul bolii degenerative a coloanei vertebrale și a scoliozei [75].

Chirurgul ortoped King, din Stanford University Medical School, la sfârșitul anilor '40, a adoptat tehnica lui Hibbs, pe care a suplimentat-o prin fixarea vertebrelor cu ajutorul șuruburilor fațetare [75, 116, 217]. El a fost primul care a utilizat osteosinteza cu șuruburi pentru a obține o imobilizare spinală rigidă.

Popularitatea chirurgiei de stabilizare a coloanei vertebrale a crescut rapid după descrierea herniei de disc de către Mixter și Barr în anul 1934 [11, 12, 16, 75, 82, 83]. Autorii au presupus că

hernia de disc apare ca rezultat al instabilității spinale [13] și au propus de a trata instabilitatea și a preveni recurența herniei prin artrodeza in situ a coloanei vertebrale.

Fixarea internă a coloanei vertebrale și-a luat avânt odată cu inventarea tijelor Harrington în anul 1962. Inițial ele au fost proiectate pentru corecția scoliozei severe, dar ulterior au început să fie folosite în tratamentul altor patologii, cum ar fi traumatismele vertebrale și spondilolistezisul [75]. Harrington a observat că fixarea coloanei vertebrale cu șuruburi, fără de realizare a artrodezei intersomatice duce adesea la eșecul construcției. *Înțelegerea faptului că fixarea internă a coloanei vertebrale trebuie combinată cu aplicarea de grefe osoase pentru a obține o artrodeză solidă, a fost o adevărată revelație pentru chirurgia spinală.*

Utilizarea tijelor Harrington în asociere cu cârligele sublaminare au devenit în scurt timp tehnica chirurgicală standard în tratamentul scoliozei idiopatice juvenile. Totuși, această tehnică avea unele dezavantaje semnificative, cum ar fi necesitatea imobilizării externe a coloanei vertebrale în orteză ghipsată timp de 6 - 12 luni pentru a evita pierderea corecției diformității. Odată cu implementarea tehnicii propuse de Cotrel și Dubousset aprox. 25 de ani mai târziu, aceste neajunsuri au fost eliminate. Tehnica Cotrel-Dubousset presupune stabilizarea coloanei vertebrale cu ajutorul unui sistem de tije duble și cârlige sublaminare sau șuruburi pediculare. În anul 1995, metoda Cotrel-Dubousset a fost implementată în clinicile IMSP SCTO și Spitalul Clinic Militar Central din țara noastră și de atunci este utilizată cu succes în tratamentul pacienților cu scolioză idiopatică juvenilă [37-42, 46, 47, 49] și cu diformități secundare proceselor paraneoplazice [43-45, 48, 301].

Fixarea internă a coloanei vertebrale cu șuruburi pediculare.

Primul care a descris utilizarea de șuruburi pediculare, poziționate sagital prin pedicule, în combinație cu plăci, a fost Roy-Camille în 1970 [75, 116, 217]. El a raportat o rată de succes a fuziunii lombo-sacrale de aproape de 100%. Această lucrare a pus bazele chirurgiei de protezare a coloanei vertebrale cu șuruburi pediculare.

În 1988, Steffee a propus de a combina rahisinteza transpediculară cu artrodeza intervertebrală [75], ceea ce a permis creșterea stabilității și a ratei de reușită a fuziunii. Tot Steffee a inventat o placă cu fante fenestrate, pentru plasarea variabilă a șuruburilor, care a permis ajustarea poziției șuruburilor în dependență de particularitățile anatomice individuale ale pacientului [217].

Invenția cuștilor intervertebrale.

Prima artrodeză intersomatică a fost realizată în anul 1933 de către Burns. El a folosit o autogrefă osoasă tibială sub formă de știft, care a implantat-o între vertebrele L5-S1 prin

intermediului unui abord anterior trans-peritoneal (ALIF), cu scop de tratament al spondilolistezisului posttraumatic [300].

În 1944, Briggs și Milligan au descris o tehnică nouă pentru a ameliora reușita fuziunii, prin combinarea abordului chirurgical posterior cu tehnica artrodezei intersomatice lombare posterioare (PLIF). Tehnica lor presupunea realizarea discectomiei și umplerea spațiului intervertebral cu fragmente osoase mărunțite, pentru a promova fuziunea intersomatică.

În anul 1953, Cloward a raportat o versiune modificată a tehnicii PLIF existente, în locul știftului osos fiind folosite mai multe autogrefe osoase prelevate din crista iliacă.

În anul 1982, Harms și Rolinger au propus tehnica de artrodeză intersomatică lombară transforaminală (TLIF) ca alternativă mai puțin traumatică pentru artrodeza intersomatică lombară posterioară (PLIF) [15, 17, 75].

Chirurgii spinali au ajuns cu timpul la concluzia că o grefă osoasă ideală trebuie să posede capacități osteogenetice, osteoinductive și osteoconductive. În calitate de standard de aur era considerată autogrefa iliacă tricorticală și diafiza oaselor tubulare. Totuși, utilizarea acestora era asociată cu o serie de neajunsuri, cum ar fi morbiditatea chirurgicală a locului donator, creșterea duratei operației și a hemoragiei intraoperatorii [217]. În efortul de atenua aceste riscuri, a fost implementată pe larg utilizarea substituenților de grefă osoasă. De o popularitate deosebită s-au bucurat substituenții din ceramică, cum ar fi hidroxiapatita, tricalcium fosfatul, sulfatul de calciu, polimetilmetacrilatul etc. Din păcate, substituenții din ceramică posedă doar capacități osteoconductive [197].

În anul 1977, medicii veterinari Grant și Wagner și medicul ortoped Bagby au creat „Bagby Basket” („coșul Bagby”), un cilindru perforat, din oțel inoxidabil, umplut cu grefă osoasă, care era impactat între vertebrele cervicale prin acces anterior, pentru tratamentul instabilității spinale la cai. În 1984, Bagby a prezentat invenția sa la Simpozionul Asociației Spinale Nord-Americane [75]. Chirurgul spinal Kuslich, a elaborat o versiune proprie a „coșului Bagby”, cușca BAK („Bagby and Kuslich”), pentru utilizare la oameni. Prima utilizare experimentală a cuștilor intervertebrale din titan în tratamentul oamenilor datează cu anul 1989.

În 1987, Williams a sugerat potențialul polimerilor de PEEK (polyether ether ketone) în cazul aplicării lor în medicină [75]. Implanturile de PEEK erau considerate suficient de robuste, rezistente la uzură și oboseală, precum și compatibile cu investigațiile imagistice datorită radiotransparenței sale naturale. Primele implanturi de PEEK, armate cu fibre de carbon au fost utilizate în anul 1999 de către Brantigan, numite cuști „Brantigan I/F” [75]. În ultimul deceniu, a fost introdusă o vastă varietate de implanturi de PEEK.

1.6.2. Evoluția abordurilor chirurgicale minimal invazive.

În baza tehnicii de fixare vertebrală externă elaborată de Magerl (1977), în anul 1996 Leu și Hauser au propus o procedură de stabilizare spinală care consta din discectomia endoscopică, artrodeza intersomatică și rahisinteza cu șuruburi pediculare percutanate conectate la un fixator extern [16, 210]. În tentativa de a elimina complicațiile legate de utilizarea dispozitivului de fixare externă, Mathews și Long au folosit plăci subcutanate, care erau conectate la axul șurubului sub vizualizare endoscopică directă [210]. În anul 2001, Foley et al. au introdus în practică utilizarea tijelor subfasciale, care a devenit posibilă datorită extensoarelor amovibile, atașate la șuruburile pediculare [14].

La scurt timp după aceasta, în anul 2003 Foley a efectuat prima artrodeză intersomatică transforaminală prin acces trans-tubular minimal invaziv (MIS-TLIF) [184].

1.6.3. Implementarea neuronavigației computerizate în chirurgia spinală.

Tehnicile de neuronavigație au contribuit crucial la dezvoltarea chirurgiei minimal invazive moderne.

Prima utilizare a navigației stereotaxice fără cadru în chirurgia spinală datează cu anul 1995. Reperle anatomice ale pacientului au fost înregistrate cu ajutorul unei sonde USG, imaginile intraoperatorii fiind co-registrate cu datele tomografiei computerizate realizate preoperatoriu, obținând astfel o navigație computerizată tridimensională [210]. Sistemul ultrasonografic a fost rapid înlocuit cu sistemele care foloseau lumina infraroșie sau undele electromagnetice pentru localizarea spațială a instrumentelor chirurgicale. Neajunsul primelor sisteme de navigație era în necesitatea co-registrării manuale a anatomiei osoase locale cu datele imagistice CT preoperatorii, care adesea era anevoioasă și putea crea potențiale erori de înregistrare, astfel diminuând precizia neuronavigației.

Implementarea sistemelor de tomografie computerizată intraoperatorie (iCT) a revoluționat dezvoltarea sistemelor de neuronavigație, permițând un proces automatizat de înregistrare, oferind date imagistice de calitate înaltă și făcând posibilă navigarea instrumentelor simultan în toate cele 3 planuri. În plus, achiziția imaginilor iCT are loc după poziționarea finală a pacientului pe masa de operație, ameliorând suplimentar precizia navigației. Încă un aspect pozitiv al sistemelor de navigație bazate pe iCT este diminuarea sau chiar eliminarea completă a expoziției la radiația ionizantă a echipei chirurgicale [210].

1.7. Rahisinteza cu șuruburi pediculare transcorticale. Revista literaturii publicate.

Fixarea cu șuruburi pediculare a devenit un procedeu standard în chirurgia spinală, fiind principala tehnică de stabilizare a coloanei vertebrale. Datorită stabilității biomecanice superioare, rahisinteza transpediculară a fost utilizată pe larg în tratamentul diferitor patologii ale coloanei vertebrale, cum ar fi stenoza lombară, spondilolistezisul, diformitățile și instabilitățile vertebrale de origine degenerativă, traumatică, inflamatorie sau tumorală [215, 216, 255, 269, 288].

Calea tradițională de inserție a șurubului pedicular implică un traiect din lateral spre medial, iar punctul de inserție este localizat la nivelul joncțiunii apofizei transverse cu suprafața laterală a fațetei articulare superioare [112]. Totuși, tehnica tradițională este asociată cu unele complicații specifice. Rata malpoziției șuruburilor variază în diferite publicații de la 21% până la 40%, chiar și în cazul utilizării tehnicilor de ghidaj imagistic [22, 207]. O altă complicație importantă, specifică tehnicii date, este pierderea eficienței mecanice a sistemului de fixare. Slăbirea prizei osoase a șuruburilor pediculare a avut o incidență de până la 15% în cazul pacienților fără osteoporoză și până la 60% în cazul pacienților cu osteoporoză vertebrală [84].

Alte neajunsuri ale tehnicii tradiționale sunt disecția musculară excesivă din cauza traiectului latero-medial, necesar pentru implantarea șuruburilor în pedicule [180] și riscul înalt de lezare a structurilor neuro-vasculare în urma inserției incorecte a șuruburilor TPD .

Pentru a diminua dezavantajele metodelor tradiționale de osteosinteză, au fost realizate ajustări la designul și la tehnica de inserție a șuruburilor pediculare, inclusiv a fost propus un traiect alternativ, care presupune ancorarea șurubului în țesutul osos cu densitate sporită.

În anul 1992, *Roy-Camille et al.* au descris o traiectorie verticală de inserție a șurubului, care intersectează axa pediculului și achiziționează într-o proporție mai mare osul cortical decât în tehnicile tradiționale. Alte două studii biomecanice importante publicate de Lehman et al. (2003) și Sterba et al. (2007), au constatat că șuruburile pediculare introduse paralel, fără convergență și înclinate cranial au o rezistență mai mare la smulgere și o performanță mai bună la testele de duranță decât șuruburile pediculare convergente. În plus, aceste studii au evidențiat beneficiile practice ale șuruburilor pediculare cu traiect non-convergent, deoarece nu necesită disecție laterală și retracție excesivă a musculaturii paravertebrale. [130].

În anul 2004, *Mobbs et al.* au propus utilizarea unui traiect medio-latero-superior al șuruburilor pediculare, cu punctul inițial de inserție pe partea medială a *pars interarticularis*, în tratamentul pacienților cu fracturi lombare post-traumatice. Beneficiile percepute ale acestei tehnici au fost natura sa minimal invazivă, deoarece necesită o expunere limitată a câmpului chirurgical, reducând lungimea inciziei, disecția musculară și traumatismului chirurgical [181].

În căutarea soluției pentru problema protezării spinale în caz de osteoporoză, în anul 2009 Santoni et al. au redescoperit traiectul pedicular alternativ descris inițial de Buck și ulterior de Mobbs, care a primit numele de „Cortical Bone Trajectory” (traiect osos transcortical) [242]. Șurubul implantat pe traiect pedicular transcortical are un punct inițial de inserție pe suprafața medială a *pars interarticularis*, urmează o cale din medial spre lateral în planul axial și are o înclinare caudo-cefalică în planul sagital. Această traiectorie este posibilă datorită localizării regiunii laterale a pars-ului în raport cu proiecția pediculului pe arcul vertebral posterior. Studiile anatomice au demonstrat că 23%, 29% și 36% din pedicul este localizat medial de porțiunea laterală a *pars interarticularis*, la nivelul L3, L4 și respectiv L5 [258].

Șurubul pedicular tradițional obține până la 80 % din stabilitatea sa din contul ancorării în țesutul osos cortical al pediculelor, restul stabilității fiind datorată fixării în țesutul spongios al corpului vertebral [123]. În contrast cu tehnica tradițională, șuruburile pediculare transcorticale nu penetrează spațiul trabecular al corpului vertebral [242]. Deși tot mai multe studii anatomice și biomecanice susțin utilizarea traiectului transcortical, există puține dovezi clinice care ar demonstra eficacitatea acestei tehnici în cazul pacienților cu patologie degenerativă a coloanei vertebrale [22, 207].

1.7.1. Evoluția terminologiei asociate cu Traiectul Pedicular Transcortical.

Traiectul pedicular alternativ, realizat prin penetrarea cortexului istmic, a fost descris inițial de Mobbs în caz de traumatisme vertebrale, pentru a limita disecția fațetei articulare superioare și a fost inițial numit „Traiect Medio-Latero-Superior” (eng. Medio-Latero-Superior Trajectory Technique; abbr. MLST) [181]. Totuși noua tehnică a început să capete popularitate după ce a fost descrisă de Santoni et al. în anul 2009 și care a fost numită „Cortical Bone Trajectory” (ro. traiect osos cortical). Majoritatea publicațiilor în limba engleză folosesc denumirea de „Cortical Bone Trajectory Pedicle Screw” (abbr. CBT PS) pentru a defini șuruburile pediculare cu traiect osos cortical, iar pentru tehnica de rahisiteză cu șuruburi pediculare transcorticale utilizează sintagma „Cortical Bone Trajectory Pedicle Screw Fixation Technique”. În anul 2014, la Simpozionul Anual al Societății Japoneze a Chirurgiei Spinale, Mizuno et al. au raportat rezultatele timpurii ale tehnicii de artrodeză vertebrală cu șuruburi pediculare cu traiect transcortical, pe care au denumit-o „Midline Lumbar Fusion” (abbr. MIDLF) [179]. Această denumire abreviată, „MIDLF®”, a fost preluată de majoritatea chirurgilor spinali și de marile companii producătoare de implanturi (ex. Medtronic, NuVasive) [9, 32, 73, 85, 106, 110, 139].

Mai recent, în literatura de specialitate a devenit foarte populară abrevierea „MIDLIF” : Midline Lumbar Interbody Fusion (Artrodeza Intersomatică Lombară Mediană) [71, 80, 210, 227,

253]. Alte denumiri ale artrodezei intersomatice cu șuruburi pediculare transcorticale întâlnite în literatura de specialitate sunt: MAST-PLIF, MIS-PLIF [126], CBT-PLIF [238, 260], CS TLIF [155], MIS Midline Pars-Cortical Screw Technique [210].

În anul 2019, Cofano et al. au folosit pentru prima dată termenul de „Divergent Cortico-Pedicular Screws” (ro. șuruburi cortico-pediculare divergente) pentru a defini șuruburile pediculare cu traiect osos transcortical [69]. Considerăm rațională utilizarea cu predilecție a sintagmelor „traiect cortico-pedicular” și „șurub cortico-pedicular”, deoarece pentru limba română este o varianta mult mai elegantă și mai laconică, dar care exprima perfect esența noului traiect alternativ, decât traducerea directă mot-a-mot din limba engleză de „șuruburi pediculare cu traiect osos transcortical”. În continuare, șuruburile pediculare transcorticale vor fi descrise prioritar cu termenul de șurub cortico-pedicular (abbr. CoPd), iar șuruburile pediculare clasice cu termenul de șurub transpedicular (abbr. TPd). La fel și sintagma „Traiectul Pedicular Transcortical” va fi adesea înlocuită cu termenul de „Traiect Cortico-Pedicular”.

1.7.2. Studiile Biomecanice ale rahisintezii CoPd

În majoritatea cazurilor, proprietățile biomecanice ale șuruburilor CoPd au fost studiate prin intermediul testelor cadaverice și a analizei computerizate. Santoni et al. au fost primii care au publicat descrierea traiectului pedicular transcortical și au demonstrat că rezistența la testele de smulgere și de zdruncinare mecanică a șuruburilor CoPd este echivalentă cu cea a șuruburilor cu traiect TPd, convergent. Același studiu biomecanic cadaveric a demonstrat o creștere cu 30% a rezistenței la forța de smulgere uniaxială a șuruburilor CoPd [242]. În timp ce alte studii au confirmat aceste date [198, 265, 268], Baluch et al. nu au găsit diferențe semnificative în rezistența la smulgere între cele două tehnici, dar a demonstrat o rezistență mai bună la zdruncinare a șuruburilor transcorticale [8]. Alte studii nu au identificat deosebiri în testele biomecanice la folosirea șuruburilor CoPd de dimensiuni mai mici și au ajuns la concluzia că variația regională a densității osoase este factorul principal care contribuie la stabilitatea șuruburilor, iar șuruburile transcorticale penetrează o regiune cu densitate osoasă sporită [68, 170, 222, 282, 293], fapt confirmat și de studiile radiologice [132, 153, 189]. Perez-Orribo et al. au efectuat teste de durabilitate, pentru a compara traiectul TPd cu traiectul CoPd și au obținut rezultate similare, indiferent de prezența sau absența implantului intervertebral și de tipul acestuia [205]. Un studiu asemănător a fost efectuat de Nomoto et al. în anul 2019 [193]. A fost analizată stabilitatea fixării TPd și CoPd în caz de artrodeză posterioară (PLIF), transforaminală (TLIF) și laterală (XLIF). Studiul a demonstrat că atât șuruburile CoPd cât și cele TPd au oferit o stabilitate adecvată construcțiilor intervertebrale. Un impact foarte mare asupra stabilității construcțiilor de fixare internă l-a avut gradul de lezare iatrogenă a fațetelor articulare. În caz de destabilizare iatrogenă

severă (fațetectomie totală uni sau bilaterală), construcțiile CoPd au fost mai puțin rigide decât cele TPd la testele de flexie laterală și rotație axială, dar această diferență a fost nesemnificativă.

O importanță enormă în catalizarea interesului academic pentru explorarea traiectului CoPd l-au avut studiile biomecanice realizate de Matsukawa.

Matsukawa a fost primul care a demonstrat într-un studiu în vivo că șuruburile CoPd au un cuplu de inserție de 2 ori mai mare decât șuruburile TPd [163]. Ulterior, într-un studiu efectuat prin metoda elementului finit, el a raportat, pentru șuruburile transcorticale, o rezistență la smulgere cu 26,4% mai mare decât șuruburile TPd, o rigiditate medie mai mare cu 27,8% la testele de anduranță prin încărcare cefalo-caudală și cu 140% mai mare la încărcarea medio-laterală. Construcțiile cu șuruburi CoPd au demonstrat o rezistență superioară în testele de anduranță la flexie și extensie, dar a avut o rezistență inferioară în cazul flexiunii laterale și a rotației axiale [165]. Rezultatele testelor biomecanice au variat în dependență de particularitățile tehnice de inserție a șurubului, de calitatea osului [164] și mai ales de diametrul și de lungimea șurubului [167]. Importanța acestor factori a fost confirmată ulterior prin intermediul testelor cadaverice [148, 241]. Matsukawa a demonstrat ca ideal pentru șurubul CoPd este diametrul nu mai mic de 5,5 mm [167]. Utilizarea șuruburilor transcorticale mai lungi și cu diametru mai mare, a fost asociată cu proprietăți biomecanice mai bune comparativ cu fixarea TPd convențională [163, 165]. Pentru fixarea lombo-sacrală, Matsukawa a propus folosirea șuruburilor transcorticale cu traiect care penetrează platoul terminal al primei vertebre sacrale [162]. Această tehnică a demonstrat un cuplu de inserție a șuruburilor cu 141% mai înalt decât în tehnica tradițională monocorticală. Grigoryan et al. au evaluat tehnica penetrării platoului S1 propusă de Matsukawa și au apreciat o rezistență la smulgere a șuruburilor CoPd de 2,56 ori mai mare decât pentru șuruburile S1-alare [99]. Unii autori au pus în evidență rata înaltă de slăbire a prizei șuruburilor transcorticale la nivelul S1, în special în construcțiile CoPd poli-segmentare și au recomandat de a utiliza pentru pediculele S1 doar șuruburi CoPd cu filet dublu, care au o putere de fixare mai mare și o rată mai mică de slăbire a prizei osoase comparativ cu șuruburile mono-filament [55, 70].

Există puține studii care evaluează particularitățile biomecanice ale traiectului CoPd în spondilolistezis [68]. Comparând eficacitatea fixării cu șuruburi transcorticale și cu șuruburi TPd în spondilolistezisul de grad mic, unele studii cadaverice nu au reușit să constate deosebiri semnificative în amplitudinea excursiei segmentului vertebral după fixare [58] și în evaluarea radiologică a corecției alinierii vertebrale [190]. În cazul spondilolistezisului istmic, construcțiile cu șuruburi CoPd au demonstrat caracteristici biomecanice net inferioare șuruburilor cu traiect convențional, dar sunt necesare studii suplimentare care ar confirma aceste concluzii. Puterea de fixare mai slabă poate fi explicată prin achiziția insuficientă a osului cortical, care este absent la

nivelul spondilolizei [168]. Un studiu in-vivo efectuat de Ninomiya et al. (2016) [191] a demonstrat un cuplu de inserție a șuruburilor transcorticale aproape de 2 ori mai mic în cazul prezenței spondilolizei istmice.

Având în vedere noutatea traiectului CoPd, majoritatea chirurgilor consideră că șuruburile TPd sunt o opțiune adecvată pentru salvarea construcției de fixare vertebrală internă cu șuruburi CoPd, în caz de eșec mecanic și viceversa [261]. Calvert et al. (2015) au ajuns la concluzia că atât șuruburile CoPd cât și cele TPd pot fi utilizate ca opțiuni de salvare a construcțiilor de osteosinteză transpediculară [36]. Aceeași concluzie a fost enunțată de un studiu mai recent, publicat de Zhang et al. în anul 2019, care au analizat posibilitatea înlocuirii șuruburilor care și-au pierdut stabilitatea în caz de osteoporoză vertebrală [294]. Salvarea construcției transpediculare este posibilă fără de a înlătura șuruburile, deoarece într-o mare majoritate a cazurilor un pedicul lombar poate acomoda simultan două șuruburi, dacă unul are traiect pedicular clasic și altul are traiect CoPd (traietorie dublă sau încrucișată) [273].

Un punct cheie în stabilitatea fixatoarelor transpediculare este calitatea osului. Studiul biomecanic in-vivo, publicat de Matsukawa et al. în 2018, a constatat că densitatea osului pe traiectul de inserție a șurubului, măsurată în unități Hounsfield, a avut o corelație puternică cu cuplul de inserție și poate fi un factor de pronostic sigur al riscului de instabilitate a șuruburilor pediculare [171]. Doar un singur studiu a constatat o performanță superioară în timpul testelor de durabilitate a șuruburilor TPd comparativ cu șuruburile CoPd implantate în vertebre cu o calitate proastă a țesutului osos [3], majoritatea studiilor raportând caracteristici biomecanice mai bune în cazul șuruburilor CoPd [154]. Totuși, șuruburile TPd augmentate cu ciment acrilic au prezentat caracteristici biomecanice net superioare șuruburilor CoPd, atunci când sunt implantate în vertebrele osteoporotice [115]. Augmentarea cu ciment acrilic poate fi utilă și pentru stabilizarea construcțiilor CoPd în vertebrele osteoporotice. Injectarea unui mililitru de ciment în jurul șurubului CoPd poate crește reziliența acestuia la smulgere cu peste 70% [275, 276], dar poate fi asociată cu un risc înalt de extravazare a cimentului.

Un număr impunător de studii biomecanice recente au inclus analize computerizate pe baza modelului cu elemente finite. Ele au constatat că șuruburile CoPd oferă o construcție mai stabilă, cu predilecție în segmentele osteoporotice, datorită contactului mai vast al șurubului cu țesutul osos cortical [64, 154, 291]. De asemenea, analizele computerizate au demonstrat proprietăți biomecanice superioare ale construcțiilor hibrid (CoPd + TPd) față de construcțiile tradiționale [117, 118]. Pe lângă caracteristicile biomecanice avantajoase ale osteosintezii CoPd, analizele computerizate după modelul elementelor finite au demonstrat un stres mecanic mai mic al fațetelor articulare și al platourilor vertebrale terminale la nivelul fixării CoPd, dar un stres mai mare al

fațetelor articulare la nivelul adiacent și un risc mai mare de fractură vertebrală, comparativ cu fixarea TPd [183, 274, 291].

Din punct de vedere biomecanic, osteosinteza CoPd s-a dovedit semnificativ inferioară fixării transpediculare tradiționale în cazul utilizării în spondilita anchilozantă [266], în combinație cu artrodeza lombară oblică laterală (OLIF) [151, 296] și în rahisinteza lombară dinamică [152].

Concluzia generală a studiilor publicate până în prezent, care a fost confirmată de articolele de sinteză și de meta-analiză, este că traiectul osos transcortical al șuruburilor pediculare oferă proprietăți biomecanice cel puțin egale cu cele ale șuruburilor cu traiect TPd convențional [22, 68, 76, 87, 109, 123, 124, 208, 226, 271]. Aceste rezultate pot fi justificate prin ancorarea șurubului într-un țesut osos mult mai dens, chiar dacă șuruburile transcorticale au dimensiuni mai mici.

1.7.3. Studiile anatomice morfometrice.

Matsukawa et al. a desfășurat un studiu radiologic morfometric pe 100 de pacienți, care a avut ca scop identificarea punctului de intrare ideal pentru traiectul CoPd. Autorii au descris un punct de inserție localizat la intersecția liniei verticale trasate prin centrul apofizei articulare superioare și a liniei orizontale trasate 1 mm inferior de marginea inferioară a apofizei transverse [161]. Ce ține de orientarea medio-laterală și caudo-cefalică, traiectoria a variat în dependență de nivelul lombar, dar în medie a fost înregistrat un unghi cefalic de 25° și o angulare laterală de 10°, aceste date fiind în conformitate cu alte studii din perioada respectivă [92, 234, 267].

Pentru a crește stabilitatea fixării CoPd, unele studii au sugerat că traiectul șurubului trebuie să urmeze direcția fluxului trabeculelor de țesut osos cortical din *pars interarticularis*, care trece începând de la platourile vertebrale, prin pedicule, spre structurile spinale posterioare cum ar fi lamina, apofiza spinoasă și fațetele articulare. Gallois și Japiot au fost primii care au descris trabeculele corticale vertebrale aranjate în trei direcții, corespunzător liniilor de forță. Direcția uneia din aceste linii de forță începe de la marginea inferioară a apofizei spinoase, traversează istmul și pediculele, spre platoul vertebral superior. Această linie de forță a trabeculelor corticale trebuie să coincidă cu angularea cranio-caudală a șurubului CoPd în plan sagital pentru a crea un efect de contrafort, care îi va oferi o stabilitate suplimentară [5, 230].

Ce ține de dimensiunile șuruburilor CoPd, în studiile lui Matsukawa et al., lungimea medie a șurubului cortical a variat de la 36,8 mm (L1) până la 39,8 mm la L4, iar diametrul a crescut progresiv de la 6,2 mm la L1 până la 8,4 mm la L5 [161]. Studiul radiologic desfășurat de Zhang et al. a identificat diametrul maximal teoretic al șuruburilor CoPd de 4,8 mm la L1, 5,1 mm la L2, 6,1 mm la L3, 6,8 mm la L4, 7,8 mm la L5 și 6,1 mm la S1, confirmând astfel rezultatele publicate de Matsukawa [289].

Cel mai recent studiu anatomic realizat de Zhao et al. (2021) recomandă utilizarea unor șuruburi CoPd de 4.0 mm x 35 mm la nivelul vertebrei L1, 4,5 mm x 30 mm la L2 și de 5,5 mm x 30 mm la L3-L5 [299].

1.7.4. Traiectoriile modificate și aplicarea alternativă a tehnicii CoPd.

Publicațiile timpurii și studiile care le-au urmat au descris o varietate largă de traiectorii CoPd modificate: unghiuri laterale și cefalice mai mult sau mai puțin pronunțate, construcții transpediculare hibride, cât și rapoarte sporadice ale utilizării șuruburilor pediculare cu traiect transcortical în afecțiuni ale coloanei vertebrale altele decât cele de origine degenerativă [5, 19, 101, 103, 121, 166, 228].

Takata et al. (2014) au raportat pentru prima dată tehnica „hibrid” de osteosinteză spinală, care presupunea fixarea cu șuruburi CoPd a vertebrei superioare, pe când în vertebra inferioară șuruburile erau inserate conform tehnicii Roy-Camille, cu o direcție mai verticală decât în tehnica lui Weinstein [259].

Inițial, tehnica CoPd presupunea ca punctul de inserție al șurubului să fie localizat la intersecția liniei verticale trasate prin centrul apofizei articulare superioare și a liniei orizontale trasate 1 mm inferior de marginea inferioară a apofizei transverse [97, 161, 242, 268]. Rexiti et al. au demonstrat că utilizarea intraoperatorie a acestor repere nu este fiabilă, din cauza că marginea inferioară a apofizei transverse nu este orizontală, dar este orientată adesea în direcție oblică cranială, iar apofizele articulare la pacienții vârstnici sunt predispuse diformității degenerative, făcând imposibilă identificarea corectă a centrului apofizei. Autorii au propus un punct de inserție alternativ, localizat 2-3 mm mai medial decât punctul de inserție în tehnica CoPd „tradițională”, la intersecția liniei verticale trasate tangențial peretelui medial al pediculului și a liniei orizontale trasate la 1 mm inferior de apofiza accesorie, care pare a fi un reper anatomic fiabil, indiferent de variabilitatea morfologică a apofizei transverse. Această tehnică modificată („MCBT”) ar putea permite o angulație externă mai mare a șuruburilor CoPd și o ancorare mai robustă în cortexul istmic, ameliorând stabilitatea biomecanică a șurubului [154, 228, 229]. Angularea medio-laterală recomandată pentru traiectul CoPd a fost de 10° pentru nivele lombare superioare (L1, L2), de 10 - 15° la L3 și de 15-20° la nivel L4 și L5 [230, 231].

O altă modificare propusă pentru traiectul cortico-pedicular implică un punct inițial de inserție localizat mai lateral și mai cranial, favorizând o direcție mai verticală a șuruburilor în plan axial [206, 210]. Această tehnică necesită o angulație laterală minimală și permite inserția unui șurub de dimensiuni semnificativ mai mari (diametru 5,5 – 6,5 mm, lungime 35 – 45 mm), care captează toți cei 3 piloni de stabilitate a coloanei vertebrale. Inserția mai adâncă a șurubului CoPd

până la 1/3 anterioară a platoului vertebral cât și plasarea cage-ului în partea anterioară a spațiului discal pare să fie asociată cu o rată mai înaltă de reușită a artrodezei [286].

Traectoria transpediculară dublă, ce presupune fixarea vertebrelor simultan cu 2 șuruburi pediculare, unul cu traiect TPd și altul cu traiect CoPd, a fost propusă ca alternativă în cazul pacienților cu osteoporoză severă, la pacienții cu degenerarea segmentului adiacent nivelului fuzionat (pentru extinderea montajului) sau în chirurgia diformităților coloanei vertebrale [6, 54, 174, 187, 234, 267, 273, 294].

Primele articole de sinteză au încurajat aplicarea fixării cu șuruburi CoPd în tratamentul traumatismelor vertebrale și în chirurgia diformităților spinale [93, 123, 207]. Goldstein et al. au descris utilizarea șuruburilor CoPd pentru a trata o spondiloliză posttraumatică la un singur nivel [98]. Miyakoshi et al. au raportat tratamentul cu succes al unei fracturi instabile a corpului vertebral L2 [178]. Studiul retrospectiv publicat de Wochna et al. a constatat rezultate clinice și radiologice non-inferioare ale tratamentului fracturilor toracolombare instabile prin rahisinteză CoPd comparativ cu fixarea TPd [281].

Mai recent, osteosinteza CoPd, în variate modificații, a fost aplicată într-o gamă vastă de patologii ale coloanei vertebrale pe lângă cele degenerative, cum ar fi: în tratamentul spondilodiscitei [62, 270], în caz de fracturi vertebrale osteoporotice în combinație cu alte tehnici chirurgicale cum ar fi vertebroplastia [108] și kyphoplastia [199], în spondilosindeza anterioară asistată endoscopic [136], în combinație cu șuruburile transpediculare cervicale pentru stabilizarea joncțiunii cervico-toracice [194]. Rezultate bune pentru osteosinteza CoPd au fost obținute în tratamentul instabilității coloanei vertebrale cauzate de tuberculoză [292]. Shi et al. au investigat eficacitatea fixării CoPd în tratamentul pacienților vârstnici bolnavi cu TBC vertebrală, obținând rezultate comparabile cu șuruburile TPd [251]. Chang et al. (2020) au raportat utilizarea cu succes a traiectului CoPd în cazul osteosintezei dinamice cu șuruburi Dynesys (Zimmer Biomed), la pacienți cu stenoză de canal lombar [51]. Rezultate tehnice promițătoare au fost raportate și în cazurile de osteosinteză cu șuruburi CoPd a vertebrelor regiunii toracice, atât la adulți cât și la copii [121, 169, 175, 246, 284, 285]. Orita et al. (2016) au descris tehnica de osteosinteză vertebrală cu șuruburi CoPd percutanate, aplicată la 20 de pacienți și a raportat rezultate clinice comparabile cu tehnica tradițională de fixare cu șuruburi TPd percutanate [196].

Din cauza particularităților accesului chirurgical, cum ar fi vizualizarea redusă și tehnica neobișnuită de inserție a șuruburilor cortico-pediculare, pentru a evita lezarea accidentală a structurilor nervoase a fost propusă utilizarea monitorizării neurofiziologice [7, 69]. Din aceleași considerente, au fost elaborate șuruburile pediculare cu cap atașabil („modular”). Studiile au

demonstrat o rată semnificativ mai mică de apariție a fracturilor de pars sau de pedicul în cazul utilizării șuruburilor CoPd cu cap atașabil în comparație cu șuruburile cu cap pre-asamblat [60].

1.7.5. Perfecționarea tehnicii chirurgicale CoPd.

Numeroasele studii anatomice și tentativele de identificare a unui punct optimal de inserție a șurubului, au dus treptat la schimbarea concepției traiectului cortico-pedicular. A devenit evidentă importanța ajustării traiectului la particularitățile anatomice individuale pacientului, pentru a beneficia maximal de avantajele biomecanice ale șuruburilor CoPd.

Având în vedere că majoritatea fixărilor cu șuruburi pediculare transcorticale sunt efectuate în caz de boli degenerative ale coloanei vertebrale, s-a observat că procesul degenerativ poate complica identificarea istmului, iar variațiile individuale ale anatomiei vertebrelor face dificilă standardizarea traiectului CoPd [68]. Matsukawa a fost primul care a subliniat necesitatea ajustării traiectului șuruburilor transcorticale la anatomia locală a pacientului și în special la densitatea minerală osoasă regională [164, 171]. Din acest motiv, toți parametrii traiectului CoPd măsuțați în cadrul studiilor morfometrice, ar putea fi utilizați în practica clinică doar în calitate de ghid [92, 299]. Studiul radiologic publicat de Senoglu et al. (2017) a oferit o analiză exhaustivă a variațiilor anatomice și a sugerat examinarea detaliată a anatomiei joncțiunii dintre pedicul și *pars interarticularis* pe imaginile CT înainte de intervenția chirurgicală, pentru a determina metoda ideală de fixare. Pornind de la afirmația că o joncțiune dintre pedicul și pars cu lungimea mai mică de 7 mm este prea îngustă pentru a acomoda un șurub cu diametru de 5 mm, autorii au apreciat că aproximativ 35% din pediculele lombare nu sunt potrivite pentru inserția șuruburilor CoPd mai groase de 5 mm [247]. Mai mult ca atât, testând experimental ipoteza că identificarea virtuală a reperelor anatomice pe modelele 3D ale vertebrelor lombare va permite o siguranță intraoperatorie înaltă de inserție a șuruburilor CoPd, Tan et al. (2019) au înregistrat o incidență de 22% a malpoziției șuruburilor transcorticale. Concluzia studiului a fost că inserția șuruburilor CoPd bazată pe reперele anatomice nu este fiabilă [262]. Pentru a face față acestor provocări, s-a recurs la utilizarea tehnologiilor moderne de ghidaj imagistic intraoperator. Conform studiilor recente, tehnicile de inserție a șuruburilor CoPd ghidată de neuronavigație sau asistată robotic sunt considerate mai precise și mai sigure decât tehnica de inserție ghidată prin fluoroscopie, micșorând necesitatea expoziției la radiația ionizantă și incidența complicațiilor [2, 35, 77, 78, 139-141, 149, 159, 232, 290].

Inițial concepute pentru chirurgia diformităților coloanei vertebrale, mulajele de ghidare a burghiului tipărite la imprimanta 3D (ghiduri 3D-printate) au fost utilizate cu succes în inserția șuruburilor transcorticale, studiile cadaverice demonstrând o precizie adecvată a acestei tehnici [120, 125, 129, 172, 252, 272, 298]. Marengo et al. (2019) au fost primii care au raportat rezultate

clinice promițătoare asociate utilizării ghidurilor 3D-printate [158]. He et al. (2021) au raportat aplicarea cu succes a mulajelor de ghidare pentru inserția șuruburilor CoPd în vertebrele lombare în care erau deja implantate anterior șuruburi TPd, cu scop de extindere cranială a montajului în caz de boală degenerativă a segmentului adiacent [105]. Studiile clinice recente demonstrează o siguranță înaltă a utilizării intraoperatorii a mulajelor de ghidare pentru inserția șuruburilor CoPd [160, 206].

Luând în considerare costurile crescute ale sistemelor de neuronavigație, disponibilitatea joasă a acestora în centrele de chirurgie spinală și expunerea pacienților la radiațiile ionizante, mulajele de ghidare ar putea fi o alternativă viabilă în cazurile de deformități anatomice severe de origine degenerativă. Cu toate că sunt mult mai ieftine comparativ cu neuronavigația, utilizarea ghidurilor 3D-printate necesită timp îndelungat pentru planificare și o curbă de învățare prelungită. [204].

1.7.6. Studiile Clinice și Radiologice.

Primele publicații ale rezultatelor clinice și radiologice ale fixării cu șuruburi CoPd au analizat serii mici de cazuri clinice și au avut concluzii contradictorii. Unele studii au remarcat siguranța tehnicii și au obținut rezultate satisfăcătoare [122, 179, 185, 195, 234], demonstrând o hemoragie mai mică, o durată mai scurtă a intervenției chirurgicale și o rată similară de reușită a fuziunii intervertebrale comparativ cu fixările TPd convenționale [122].

Prima comparație a eficacității clinice a artrodezei cu fixare CoPd și a celei cu fixare TPd a fost publicată de Lee et al. în anul 2015, într-un studiu controlat, randomizat, prospectiv, de non-inferioritate [144]. Șaptezeci și noua de pacienți au fost repartizați în mod aleatoriu în unul din cele 2 grupuri de studiu : CoPd sau TPd. Obiectivul principal al studiului a fost de a măsura rata de reușită a artrodezei. Parametrii secundari de apreciere a reușitei clinice au inclus intensitatea durerii lombare și a durerilor radiculare măsurate cu ajutorul scalei analog vizuale, gradul de handicap folosind chestionarul ODI, morbiditatea chirurgicală, cât și parametri adiționali cum ar fi frecvența fracturii de pedicul / istm și eșecul mecanic al fixării. La 6 luni și 1 an postoperatoriu, a fost înregistrată o rată similară de artrodeză pentru ambele grupuri. Ce ține de rezultatele clinice, artrodeza cu șuruburi CoPd a oferit o ameliorare a durerii și a gradului de dizabilitate comparabilă cu cea a metodei tradiționale. În plus, artrodeza cu șuruburi transcorticale a fost caracterizată printr-o incizie cutanată semnificativ mai scurtă, o durată mai mică a intervenției chirurgicale și o hemoragie mai mică comparativ cu tehnica tradițională. Prin urmare fuziunea intervertebrală lombară posterioară (PLIF) cu șuruburi CoPd a furnizat rezultate clinice și radiologice similare în comparație cu cea cu șuruburi TPd.

În anul 2018, Lee et al. au raportat rezultatele la distanță ale studiului clinic randomizat prospectiv, publicat de ei în 2015 [144]. Rezultatele clinice, radiologice și complicațiile asociate tehnicii nu s-au deosebit semnificativ între ambele grupuri la 2 ani postoperatoriu [145].

Marengo et al. a prezentat în anul 2018 un studiu vast pe artrodeza circumferențială asociată cu fixare cortico-pediculară [157]. Autorii au desfășurat un studiu retrospectiv de cohortă, în care au analizat un lot de 101 de pacienți cu patologie degenerativă lombo-sacrală care au fost supuși artrodezei vertebrale cu șuruburi CoPd. Când perioada de supraveghere a fost mai mare de 12 luni (la 53% din pacienți), o fuziune reușită a fost obținută în 94% din cazuri. Scorurile ODI și VAS au avut o ameliorare statistic semnificativă. Rezultatele au evidențiat siguranța și eficacitatea acestei tehnici chirurgicale.

Același grup de autori au demonstrat o diferență semnificativă în atrofia postoperatorie a mușchilor *multifidus* din cauza lezării lor în timpul procedurii chirurgicale. Procentajul modificărilor atrofice ale *m. multifidus* la IRM a fost mai mare în grupul cu rahisinteza transpediculară comparativ cu rahisinteza cortico-pediculară (24,59% versus 16,76%). Hipersemnalul imagistic în regiunea mușchilor *multifidus* pe secvențele T2 ale IRM a fost înregistrată în ambele grupuri, dar raportul intensităților *m. multifidus* / *m. psoas* a fost semnificativ mai mare în grupul chirurgical tradițional. Cu toate acestea, nu a fost observată o diferență semnificativă în rezultatele clinice și radiologice între cele două grupuri experimentale [156]. Ulterior, multiple alte studii au demonstrat că accesul chirurgical pentru osteosinteza CoPd are un impact mult mai redus asupra musculaturii paravertebrale (*mm. multifidus, erector spinae*) comparativ cu tehnicile transpediculare tradiționale [111, 150]

Ding et al. (2022) au raportat datele unui studiu clinic randomizat prospectiv care a comparat rezultatele clinice ale osteosintezei CoPd și TPd la pacienții cu spondiloză degenerativă și osteoporoză. Rata de reușită a fuziunii intersomatice a fost mai mare în grupul CoPd, dar diferența nu a fost semnificativă statistic (90.16% vs. 86.67%). La 3 luni post-op pacienții din grupul CoPd au avut un scor ODI și JOA semnificativ mai bun decât în grupul chirurgical tradițional, din cauza unei incizii mai mici și a unei diseccții mai puțin agresive ale mușchilor paravertebrai. La un an postoperatoriu nu a putut fi identificată vreo diferență în scorurile funcționale (ODI, JOA) sau ale durerii (VAS) între grupuri. De asemenea, osteosinteza CoPd a fost asociată cu o morbiditate chirurgicală mai joasă, exprimată printr-o hemoragie intraoperatorie mai mică, timp chirurgical mai scurt, o lungime mai mică a inciziei și o durată mai mică de drenaj al plăgii postoperatoriu [79].

Diverse studii comparative au demonstrat rezultate similare între artrodeza lombară cu fixare CoPd și alte tehnici chirurgicale mini-invazive clasice (MIS), cum ar fi laminotomia

microendoscopică [104], artrodeza posterolaterală (MIS-PLF), spondilosindeza transforaminală prin abord Wiltse sau percutanat (MIS-TLIF) [85, 135, 283]. Studiul publicat de Elmekaty et al. [85] a demonstrat un timp chirurgical semnificativ mai scurt (111 min), hemoragie mai mică (112,4 ml) și valori scăzute ale PCR și CK în cazul artrodezei transforaminale cu fixare CoPd (CoPd-TLIF), comparativ cu alte două tehnici mini-invazive. Rata de fuziune a fost de 100% în grupurile CoPd-TLIF și MIS-TLIF și de 90% în grupul MIS-PLF. Destabilizarea șuruburilor a avut loc în 10% din cazurile de MIS-PLF, 7,14% din cazurile de MIS-TLIF și 4,76% din cazurile de CoPd-TLIF.

Subiectul degenerării segmentului adiacent fixării este adesea prezentat ca dezavantaj al tehnicii TPd tradiționale, fațeta cranială și capsula articulară fiind expuse unui risc sporit de lezare iatrogenă. Susținătorii tehnicii CoPd pun în evidență avantajul disecției laterale minimale necesare inserției șuruburilor transcorticale și astfel, păstrarea integrității complexului fațetar proximal [186, 295]. O serie de alte studii au confirmat rata semnificativ mai joasă a bolii segmentului adiacent în cazul rahisintezei CoPd comparativ cu fixarea TPd [102]. De asemenea, Le et al. au demonstrat că utilizarea neuronavigației sau a asistenței robotice pentru inserția șuruburilor CoPd poate micșora incidența lezării fațetelor articulare de la nivelul proximal și respectiv a degenerării nivelului adiacent [142, 143].

Cele mai recente studii clinice continuă să evidențieze rezultatele superioare ale osteosintezei CoPd, specifice unei tehnici minimal invazive (hemoragie mai mică, durere postoperatorie mai mică, recuperare funcțională mai rapidă, cost-eficacitate crescută etc.) și în același timp, o rată de fuziune similară tehnicilor transpediculare clasice [10, 21, 23-26, 30, 32, 33, 80, 157, 160, 176, 192, 233, 239].

1.7.7. Studiile clinice cu valoare înaltă a dovezilor științifice (sinteză, meta-analiză)

Studiile recente continuă să confirme rezultate clinice, tehnice și radiologice satisfăcătoare ale artrodezei cu fixare CoPd [56, 71, 74, 106, 134, 238, 253]. În anul 2019, Wang et al. au publicat un articol de sinteză sistematică și meta-analiză care a comparat eficacitatea clinică și siguranța tehnicilor CoPd și TPd [271]. Meta-analiza a inclus 2 studii clinice randomizate și 12 studii de cohortă (din 421 identificate inițial), publicate în perioada 2015 - 2018. Autorii au constatat rate similare de fuziune (92,6% în grupul CoPd versus 92,7% în grupul TPd) și de reoperații în ambele tehnici. Fixarea CoPd a avut rezultate semnificativ superioare fixării TPd, cu o incidență mai mică a complicațiilor, timp de operație mai scurt, hemoragie mai mică, lungimea inciziei mai mică, perioada de spitalizare mai scurtă și o recuperare funcțională mai bună (scorurile ODI, SF-12, JOA). Satisfacția pacienților a fost semnificativ mai mare în grupul CoPd la 1 și 3 luni postoperator, dar diferența a devenit ne semnificativă la 6 luni, 1 și 2 ani postoperator. Rata

complicațiilor a fost semnificativ mai mare în grupul TPd decât în grupul CoPd, atât în cazul complicațiilor intraoperatorii cât și a celor postoperatorii. Două studii [144, 156] au raportat o rată mai înaltă de lezare a fațetelor articulare proximale în grupul TPd (11,76%) decât în grupul CoPd (0,85%). Alte studii [145, 235, 237] a raportat o incidență mai înaltă a degenerării simptomatice a segmentului adiacent (DSA) în grupul TPd comparativ cu grupul CoPd. Nu au fost identificate diferențe semnificative în rata de infecție a plăgii, de lezare a durei mater, de malpoziție a șuruburilor sau a incidenței hematomului în loja operatorie.

Un alt articol științific de sinteză sistematică și meta-analiză, publicat de Hu et al. [109] în anul 2019 a analizat 12 studii (din 345 identificate inițial) din perioada 2015 – 2018 [57, 61, 111, 122, 145, 146, 190, 196, 202, 235, 251, 260]. În grupul CoPd a fost apreciată o hemoragie intraoperatorie mai mică, o durată mai scurtă a spitalizării și o lungime mai mică a inciziei cutanate, comparativ cu grupul TPd. Nu au fost determinate diferențe semnificative între grupuri în alți parametri și rezultate clinice, cum ar fi raportul scorurilor VAS, ODI, JOA, rata de fuziune, durata operației și rata de complicații.

Rezultate similare cu publicația lui Wang (2019) l-a avut studiul de sinteză și meta-analiză semnat de Kim et al. (2021) [128]. Utilizarea șuruburilor CoPd a demonstrat rezultate mai bune ce ține de rata degenerării segmentului adiacent, rata de lezare a fațetelor articulare proximale, durata operației, hemoragia intra-op, lungimea inciziei, durata de spitalizare și rata de re-operație. Totuși, nu au fost identificate diferențe semnificative în rata de fuziune, infecția plăgii sau complicații mecanice ale sistemului de fixare.

Prima meta-analiză care a comparat eficacitatea rahisintezei cu șuruburi CoPd și TPd în exclusivitate la pacienții cu SPLD a fost publicată de Chang et al. în anul 2021. Studiul a sugerat că utilizarea șuruburilor CoPd este asociată cu o hemoragie mai mică și o durată mai scurtă a operației, dar ambele tehnici au avut rezultate similare privitor la rata de artrodeză la 1 an post-op, durata de spitalizare și rata de complicații [52].

Un alt studiu de sinteză și meta-analiză, publicat de Qiu et al. (2022), care a inclus 25 de studii (dintre care doar 2 studii clinice erau randomizate) și un total de 1735 de pacienți, a comparat eficacitatea clinică a două tipuri de osteosinteză, cu șuruburi TPd și CoPd [220]. Studiul a concluzionat că eficacitatea clinică a rahisintezei CoPd este semnificativ mai înaltă decât cea cu șuruburi pediculare clasice. Fixarea cu șuruburi CoPd a redus rata complicațiilor, durata operației, hemoragia intraoperatorie și scorurile ODI și JOA post-op, pe când rata de reușită a fuziunii a fost similară pentru ambele tehnici.

Deși curba de învățare și limitările stricte ale osteosintezei CoPd urmează încă să fie elucidate, există multe avantaje clare asociate acestei tehnici, cum ar fi o fixare mai bună a

șurubului în vertebrele osteoporotice, hemoragie scăzută, morbiditate peri-operatorie joasă, traumatism muscular redus, spitalizare scurtă și rezultate clinice mai bune în perioada postoperatorie timpurie. În plus, rezultatele funcționale și radiografice pe termen mediu și lung par să fie similare cu cele ale tehnicilor tradiționale, fără o creștere semnificativă a ratei complicațiilor. Având în vedere aceste numeroase avantaje, chirurgii ar trebui să ia în considerare utilizarea tehnicii CoPd când efectuează fixarea posterioară a coloanei vertebrale [133].

1.7.8. Ambiguitățile și dezavantajele osteosintezei cortico-pediculare

Rahisinteza cu șuruburi TPd rămâne până în prezent standardul de aur în chirurgia de stabilizare a coloanei vertebrale. Pe parcursul ultimei decade, un număr mare de studii au analizat dacă șuruburile CoPd ar putea fi o alternativă viabilă tehnicii tradiționale. Literatura existentă demonstrează o lipsă de consens chiar și cu privire la principiile fundamentale ale rahisintezei CoPd. Deși cu siguranță utilizarea șuruburilor transcorticale prezintă beneficii teoretice, o analiză sistematică minuțioasă a publicațiilor dezvăluie carența în cunoștințele noastre despre biomecanica, rezultatele clinice și curba de învățare a tehnicii CoPd.

Perez-Oribbo et al. (2013) au constatat că șuruburile CoPd sunt semnificativ mai puțin rigide decât șuruburile TPd la flexia laterală, ce poate duce la apariția micro-mișcărilor și la slăbirea prizei șuruburilor [205]. Mai mulți autori au citat această logică ca fiind cea mai plauzibilă explicație pentru rezultatele clinice timpurii slabe și rata de fuziune mai joasă care au observat-o la pacienții cu osteosinteză CoPd [97, 235].

În baza multiplelor studii biomecanice, se consideră că șuruburile CoPd au o stabilitate echivalentă celor TPd doar dacă sunt combinate cu un dispozitiv intervertebral [123]. În plus, Ninomiya et al. au analizat impactul integrității *pars interarticularis* asupra caracteristicilor biomecanice ale șurubului CoPd. Ei au demonstrat un cuplu mediu de inserție semnificativ mai mic în vertebrele cu spondiloliză comparativ cu cele fără spondiloliză. De asemenea, cuplul de inserție a șuruburilor CoPd a fost semnificativ mai mic în cazul femeilor cu vârsta de peste 75 de ani. Autorii au recomandat abținerea de la utilizarea de rutină a șuruburilor CoPd în caz de spondiloliză sau vârstă mai mare de 75 de ani [191].

Un studiu biomecanic recent, a sugerat că osteosinteza CoPd oferă o forță de compresie insuficientă la nivelul coloanei vertebrale anterioare, ceea ce poate cauza o mobilitate excesivă a cage-ului intervertebral și poate duce la diminuarea ratei de reușită a artrodezei [91]

Multiple studii au demonstrat că utilizarea osteosintezei CoPd este asociată cu o hemoragie scăzută, durată de spitalizare mai mică și incizii mai scurte comparativ cu tehnica clasică. Totuși, nici unul dintre aceste studii nu a demonstrat o corelație statistică a acestor factori cu ameliorarea

rezultatelor clinice sau cu diminuarea ratei complicațiilor. În schimb, majoritatea studiilor au demonstrat că nu există o diferență semnificativă în rata de fuziune, rata complicațiilor, dispoziția la externare sau în rezultatele raportate de pacient prin intermediul chestionarelor de auto-evaluare, cum ar fi scorurile VAS, ODI, JOA, SF-6D și EQ-5D. Unele studii au sugerat o eficacitate mai joasă a osteosintezei CoPd în ameliorarea durerilor de spate [188] și o durere mai mare de spate la 1 an post-op comparativ cu tehnicile tradiționale [57]. O analiză recentă a literaturii a descoperit diferențe contradictorii ce țin de durerea postoperatorie, durata operației și rata de complicații. Unicul beneficiu statistic semnificativ al fixării CoPd a fost hemoragia mai mică [209]. Deși fixarea CoPd pare să prezinte o alternativă viabilă fixării Tpd tradiționale, până în prezent lipsesc studiile cu valoare înaltă a dovezilor științifice, cum ar fi studiile clinice prospective randomizate, cu o perioadă lungă de supraveghere a pacienților. Literatura actuală este plină de lacune și dovezi contradictorii, ceea ce face dificilă pentru chirurg alegerea între tehnica CoPd și cea Tpd tradițională [133].

Deși mai multe studii au descris tehnica și au analizat eficacitatea fixării CoPd la nivel toracic, nici unul nu a stabilit avantaje clinice sau radiologice semnificative în comparație cu osteosinteza Tpd clasică [121, 246, 285]. În regiunea toracică a coloanei vertebrale punctul de inserție pentru șurubul transcortical este foarte aproape de punctul de inserție pentru șurubul pedicular tradițional, ceea ce probabil diminuează sau anulează potențialele avantaje ale traiectului CoPd. Din același motiv, studiile clinice care raportează o incidență mai mică a complicațiilor perioperatorii și o durată de spitalizare postoperatorie mai scurtă, analizează de obicei fixările la unul sau două nivele [145, 156, 157, 237]. Nu există date suficiente care ar demonstra o eficiență superioară a fixării CoPd la mai mult de 2 nivele.

Curba de învățare pentru a face față noului traiect CoPd nu a fost încă cuantificată, deoarece majoritatea chirurgilor au avut până acum tendința de a exclude pacienții cu diverse deformități degenerative severe ale anatomiei coloanei vertebrale. Rahisinteza CoPd constituie o provocare din punct de vedere tehnic din cauza traiectului neobișnuit și a preciziei necesare pentru a angaja cât mai mult țesut osos cortical. O complicație frecventă asociată artrodezei MIDLIF în perioada inițială a curbei de învățare este fractura de *pars interarticularis* și de pedicul în timpul inserției șurubului. Posibila cauză a acestui fenomen ar putea fi rezecția osoasă excesivă în regiunea istmică în timpul decompresiei recesului lateral [77, 121]. Un studiu cadaveric a sugerat că impactul capului șurubului CoPd cu baza apofizei spinoase și lamina, poate fi cauza fracturilor istmice [59].

Multe studii au raportat o curbă abruptă de învățare a tehnicii CoPd chiar și cu utilizarea neuronavigației [78]. Cu toate acestea, creșterea progresivă a popularității tehnicii CoPd și

utilizarea tehnologiilor avansate precum asistența robotică, neuronavigația și ghidurile 3D-printate contribuie la depășirea acestor probleme [18, 20, 92, 120, 141, 156-158, 204, 247, 271].

Șuruburile CoPd sacrale prezintă în continuare un subiect deschis. Deși primele studii cu durată medie de supraveghere a pacienților au demonstrat rezultate clinice și radiologice optimiste [85], există studii care sugerează că osteosinteza CoPd oferă o putere de fixare insuficientă la nivelul segmentului lombo-sacral L5-S1, cu o rată inacceptabilă (46.2%) de instabilitate a șuruburilor transcorticale sacrale [236]. Chen et al. (2020) au raportat o rată crescută de instabilitate a șuruburilor CoPd sacrale în construcțiile lungi de osteosinteză poli-segmentară care includ S1 și au recomandat utilizarea șuruburilor cu filet dublu pentru acest tip de fixare [53]. O contraindicație relativă pentru tehnica CoPd pare să fie spondilolistezisul istmic [168, 191]. Totuși, unele studii au raportat o rată de fuziune și rezultate clinice similare între artrodeza cu șuruburi TPd și tehnica CoPd hibrid în stabilizarea SPL istmic L5-S1 [264].

În concluzie, osteosinteza CoPd pare a fi o opțiune sigură de stabilizare a coloanei vertebrale. Având în vedere densitatea mai mare a osului în care este ancorat șurubul, studiile au demonstrat că din punct de vedere biomecanic rahisinteza CoPd este identică, iar în unele aspecte poate fi chiar superioară fixării TPd. Artrodeza intersomatică lombară MIDLIF cu șuruburi CoPd a manifestat o eficacitate clinică și radiologică similară cu tehnicile convenționale, dar în continuare rămâne necesară desfășurarea de studii cu nivel înalt de veridicitate a dovezilor științifice pentru a confirma aceste rezultate. Înainte ca rahisinteza CoPd să poată fi prezentată ca fiind superioară sau echivalentă cu metodele TPd clasice, urmează a fi cercetate exhaustiv proprietățile sale biomecanice in-vivo, indicațiile și contraindicațiile chirurgicale, cât și rezultatele clinice pe termen lung.

2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

2.1. Caracteristica generală a metodologiei de cercetare

Pentru a realiza obiectivele trasate a fost realizat un studiu analitic experimental după modelul studiilor clinice randomizate, care a comparat 2 loturi:

Lotul de cercetare L₁ a inclus pacienți tratați chirurgical prin tehnica experimentală de Artrodeză Intersomatică Lombară Mediană (MIDLIF).

Lotul de control L₀ a fost prezentat de pacienții tratați chirurgical prin metoda tradițională de Artrodeză Intersomatică Lombară Posterioară (PLIF) sau Transforaminală (TLIF).

Mărimea lotului de cercetare este apreciat prin aplicarea formulei respective:

$$n = \frac{1}{(1-f)} \times \frac{2(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 P(1-P)}{(P_0 - P_1)^2}$$

unde:

P₀ = Proporția pacienților la care s-a reușit fuziunea intervertebrală prin metoda tradițională. Reușita obținerii unei fuziuni demonstrate imagistic la pacienții cu spondilolistezis prin intermediul tehnicii tradiționale, conform datelor bibliografice [63, 250] constituie în mediu 75,0% (P₀=0,75).

P₁ = Proporția pacienților cu fuziune intervertebrală reușită, în lotul de cercetare. Presupunem, că reușita tratamentului după aplicarea noii tehnici chirurgicale modificate va crește până 95,0% (P₁ = 0,95)

$$P = (P_0 + P_1)/2 = 0,85$$

Z_α – valoarea tabelară. Când „α” – pragul de semnificație este de 5%, atunci coeficientul Z_α = 1.96

Z_β – valoarea tabelară. Când „β” – puterea statistică a comparației este de 80,0%, atunci coeficientul Z_β = 0,84

f = Proporția subiecților care se așteaptă să abandoneze studiului din motive diferite, q = 1/(1-f), f=10,0% (0,1)

Raportul dintre loturile de cercetare de 1:1.

Introducând datele în formula am obținut

$$n = \frac{1}{(1-0.1)} \times \frac{2(1.96 + 0.84)^2 \times 0.85 \times 0.15}{(0.75 - 0.95)^2} = 56$$

Așadar, pentru cercetare au fost create două loturi: lotul de cercetare L₁ care a inclus nu mai puțin de 56 de pacienți cu spondilolistezis degenerativ la care a fost aplicată tehnica chirurgicală

experimentală și lotul de control L₀ care a inclus nu mai puțin de 56 de pacienți cu spondilolistezis degenerativ la care a fost aplicată tehnica chirurgicală tradițională.

Randomizare pacienților a fost realizată prin metoda „plicurilor sigilate”, care erau deschise cu o zi înaintea intervenției chirurgicale.

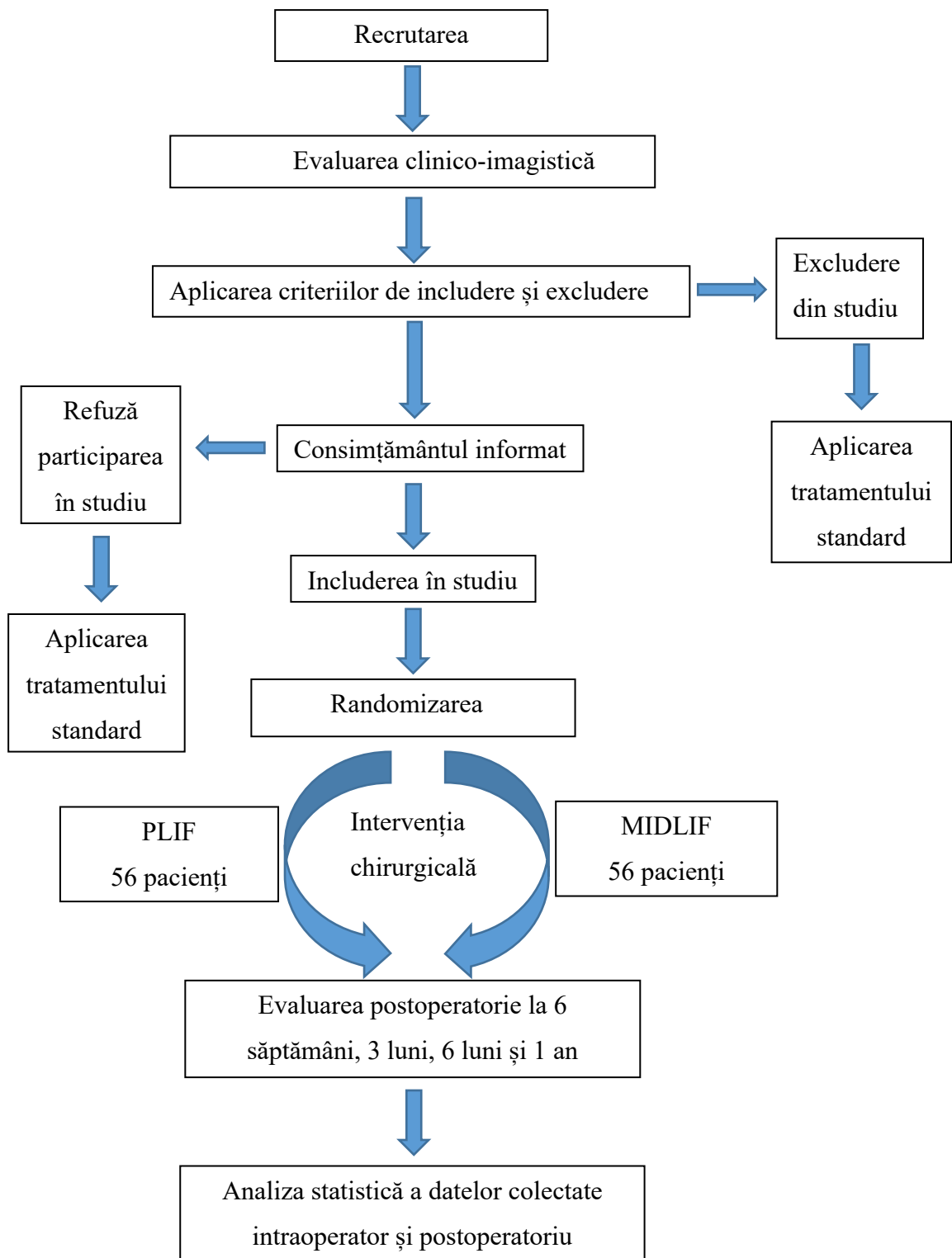
Criteriul principal de apreciere a eficacității tratamentului, comparat între loturi, a fost reușita realizării fuziunii intervertebrale la 1 an postoperatoriu.

Criteriile de includere în studiu au fost:

- Prezența indicațiilor pentru tratamentul chirurgical prin artrodeză mono-segmentală, în caz de spondilolistezis lombar degenerativ, asociat cu stenoză foraminală, degenerarea discului intervertebral și instabilitate vertebrală de origine degenerativă.
- Grad mic de spondilolistezis (grad I-II)
- Vârsta: 18 ani și mai mult
- Pacientul este competent să acorde un consimțământ informat
- Acceptarea participării la cercetare.

Criteriile de excludere din studiu au fost:

- Spondilolistezis cu grad mare de alunecare a vertebrelor (Meyerding gr. III-V)
- Necesitatea realizării artrodezei intersomatice la 3 sau mai multe nivele vertebrale
- Stenoza a canalului vertebral de origine non-degenerativă: tumorală, traumatică
- Intervenții chirurgicale precedente de artrodeză intervertebrală lombară
- Infecție activă sistemică sau locală
- Deficit neurologic permanent, nerelatat la patologia coloanei vertebrale lombare
- Antecedente de abuz cronic de alcool sau droguri
- Osteoporoză vertebrală severă
- Prezența contraindicațiilor pentru tratamentul chirurgical: comorbidități medicale severe, administrarea tratamentului de imunosupresie
- Lipsa unei adrese permanente de reședință în Republica Moldova, emigranți
- Gravidele sau graviditate planificată pentru următorii 1-2 ani
- Pacient incapabil să completeze chestionarul: ex. demență, retard intelectual
- Pacient incapabil să acorde un consimțământ voluntar
- Refuzul pacientului de a participa la cercetare.



Design-ul studiului

2.2. Metode de cercetare

2.2.1. Metode clinice.

Evaluarea clinică preoperatorie.

În perioada preoperatorie, toți pacienții au fost supuși unui examen clinic complex. S-a atras o atenție deosebită identificării factorilor de risc (FR) care ar putea crește rata de apariție a pseudartrozei (PA) [223]. Evaluarea clinică preoperatorie a pacientului a inclus:

- a. Colectarea amplă a anamnezei bolii:
 - Evoluția acută sau cronică a maladiei
 - Tratamentul de care a beneficiat, durata și eficacitatea acestuia
 - Consumul cronic de glucocorticoizi și AINS (FR pentru PA)
 - Prezența diabetului zaharat, tipul diabetului (FR pentru PA)
 - Intervențiile chirurgicale suportate anterior (FR pentru PA)
- b. Colectarea datelor demografice de bază:
 - Vârsta și sexul pacientului (FR pentru PA)
 - Indicele masei corporale
 - Deprinderile vicioase: fumatul (principalul FR pentru PA), abuzul de alcool sau de droguri (criteriu de excludere din studiu)
 - Practicarea unui lucru fizic greu sau a lucrului sedentar, hipodinamic.
 - Practicarea de sporturi traumatizante
- c. Examenul neurologic desfășurat al pacientului. Au fost înregistrate datele despre:
 - Tipul sindromului radicular (algic, paralic, mixt). Prezența claudicației neurogene
 - Intensitatea sindromului algic lombar și radicular (scorul VAS)
 - Prezența dereglărilor de sensibilitate (dermatoamele afectate) și a deficitului motor (forța musculară evaluată pe miotomuri) în membrele inferioare
 - Prezența semnelor de elongație (manevrele Lasègue, Wassermann, Mackiewicz)
 - Prezența dereglărilor sfincteriene de origine neurogenă.
- d. Evaluarea clinică preoperatorie a gradului de dizabilitate prin aplicarea chestionarului de autoevaluare Oswestry Disability Index
- e. Evaluarea calității vieții asociate stării de sănătate a pacientului prin aplicarea chestionarului 12-Item Short Form Survey (SF-12v2).

Evaluarea rezultatelor clinice ale tratamentului chirurgical aplicat

Pentru evaluarea gradului de dizabilitate și a calității vieții asociate stării de sănătate a pacienților cu patologie degenerativă a coloanei vertebrale, ghidurile internaționale recomandă să

fie utilizate instrumente fiabile, valide și sensibile, cum ar fi scorul Oswestry Disability Index (ODI), scorul 36-Item Short Form Health Survey (SF-36) sau varianta sa prescurtată 12-Item Short Form Health Survey (SF-12) [81].

Pentru a analiza evoluția sindromului algic, a dizabilității și a calității vieții pacienților după tratamentul chirurgical aplicat, în cercetarea noastră au fost utilizate următoarele chestionare de autoevaluare:

- Scala Analog Vizuală a Durerii (VAS)
- Oswestry Disability Index (ODI)
- 12-Item Short Form Health Survey (SF-12)

Scala Analog Vizuală a Durerii (VAS)

Din cauza subiectivității simptomelor, evaluarea intensității durerii trebuie efectuată utilizând scalele standardizate [263].

Pentru a crește sensibilitatea măsurării și a ajuta pacientul în luarea deciziei, în cadrul studiului nostru sindromul algic a fost evaluat cu ajutorul unei combinații între scala analog vizuală numerică și scala fețelor (Anexa 2).

Scala numerica, în care pacientul este rugat să marcheze un punct pe o linie orizontală gradată de la zero până la zece, care reprezintă absența durerii la un capăt (0p.) și durere maximal posibilă la alt capăt (10p.) [14].

Scala fețelor, în care pacientul identifică expresia feței care corespunde cel mai bine percepției sale a durerii suportate.

Pentru a evalua eficacitatea tratamentului aplicat, scorul VAS pentru lombalgie și pentru durerea radiculară au fost înregistrate preoperatoriu și la 7 zile postoperator în cadrul primei spitalizări, apoi la vizitele obligatorii de la 6 săptămâni, 3 luni, 6 luni și 1 an postoperatoriu, pentru a fi comparate la finalul studiului.

Chestionarul Oswestry Disability Index (ODI)

Chestionarul ODI (Anexa 3) este un instrument validat de cuantificare a dizabilității asociate durerii de spate, bazate pe autoevaluarea pacientului. În prezent a devenit cea mai frecvent recomandată metodă de apreciere a rezultatelor tratamentului patologiilor coloanei vertebrale. Indicele Oswestry a fost creat în 1976 de John O'Brien și a fost publicat în anul 1980. Inițial pacienții erau intervievați de un chirurg ortoped și un terapeut ocupațional [86].

Chestionarul este format din 10 întrebări cu șase răspunsuri posibile, a căror valori variază între 0 și 5, în dependență de numărul de ordine. Apoi punctajul se sumează și se înmulțește cu 2.

Punctajul maxim poate fi de 50 de puncte, iar procentajul maxim este de 100%. Scorul total calculat este prezentat pe o scală de la zero la 100:

- 0-20% indică dizabilitate minimală
- 21-40% indică dizabilitate moderată
- 41-60% indică dizabilitate severă
- 61-80% indică durere invalidantă de spate
- 81-100% indică faptul că pacientul este imobilizat la pat sau își exagerează simptomele.

Scala ODI evaluează zece sub-scale ale dizabilității, incluzând durerea, autoîngrijirea (îmbrăcarea, spălarea), ridicarea de greutate, mersul, șederea, ortostatismul, viața sexuală și cea socială, capacitatea de a călători. De obicei chestionarul poate fi completat în decurs de 5 min [263].

Pentru patologia coloanei vertebrale lombare, ODI este raportat în majoritatea studiilor științifice mari și este considerat ca metodă preferabilă de măsurare a rezultatelor tratamentului specifice patologiei [131].

Diferența minimală semnificativă clinic este o valoare metrică comună, folosită pentru evaluarea eficacității tratamentului și este definită ca cea mai mică diferență în rezultatele tratamentului la care ar urma să fie supus un pacient. Pentru ODI diferența minimală semnificativă clinic este de 10 – 12 puncte din scorul total.

Pentru pacienții cu fuziune intervertebrală, Beneficiul Clinic Semnificativ al tratamentului pentru ODI a fost definit ca o ameliorare de 18,8 puncte sau de 36,8 % [96].

În cadrul cercetării noastre, scorul ODI a fost înregistrat preoperatoriu, apoi la vizitele obligatorii de la 6 săptămâni, 3 luni, 6 luni și 1 an postoperatoriu, pentru analiza comparativă a eficacității tratamentului la finalul studiului.

Chestionarul 12-Item Short Form Health Survey (SF-12v2)

Cel mai frecvent utilizat instrument pentru evaluarea calității vieții asociate stării de sănătate este chestionarul 36-Item Short Form 36 Health Survey (SF-36) și variantele sale mai scurte SF-12 și SF-6 [277]. Chestionarele respective au fost validate pentru evaluarea pacienților cu patologii ale coloanei vertebrale. Scorul SF-12 (Anexa 4) este compus din opt subdomenii și două componente: fizică și mintală. Componenta fizică evaluează domeniile de capacitate funcțională, aspectele fizice, percepția durerii și starea generală de sănătate. Componenta mintală evaluează vitalitatea, viața socială, aspectele emoționale și sănătatea mintală. Rezultatele sunt transformate într-o scală de la zero la 100, cu 50 de puncte ca medie măsurată în populația generală, o deviație standard de 10 puncte și o diferență minimală semnificativă clinic de 4,9 puncte între scoruri [277].

În cadrul studiului nostru pacienții au fost evaluați prin intermediul chestionarului SF-12 cu 1-2 zile înainte de intervenția chirurgicală, ulterior la 6 săptămâni, 3 luni, 6 luni și 1 an postoperatoriu, datele colectate fiind analizate la finalul studiului pentru compararea eficacității tratamentului chirurgical aplicat.

Calcularea componentelor fizice și mintale ale scorului SF-12 a fost realizată cu ajutorul programului computerizat „Health Outcomes Scoring Software 5.0”. Licența pentru utilizarea programului de calcul și a chestionarelor SF-12v2 adaptate în limba română și rusă, a fost obținută de la compania americană „OptumInsight Inc”, care deține drepturile intelectuale asupra acestora (Anexa 6).

2.2.2. Metode instrumentare

Protocolul de examinare imagistică preoperatorie a pacienților înrolați în studiul nostru a inclus următoarele investigații:

- Radiografia simplă a coloanei vertebrale în 2 proiecții
- Radiografia coloanei vertebrale cu probe dinamice
- Tomografia computerizată a coloanei vertebrale
- Imagistica prin Rezonanță Magnetică a coloanei vertebrale
- Osteodensitometria DEXA.

Protocolul de investigare imagistică postoperatorie a reușitei artrodezei intersomatice a inclus:

- Tomografia computerizată a coloanei vertebrale cu secțiuni fine (pas de 1 mm) și reconstrucții multiplanare în regim de fereastră osoasă, la 6 luni și 1 an postoperator.
- Radiografie simplă, în ortostatism, 2 proiecții, la 1 și 3 luni postoperator.
- Radiografia coloanei vertebrale cu probe funcționale, la 6 luni și 1 an postoperator.

Radiografia laterală simplă și cu probe dinamice, a coloanei vertebrale lombare

Radiografia laterală este recomandată de ghidurile internaționale ca fiind metoda cea mai potrivită și non-invazivă de diagnosticare a spondilolistezisului lombar degenerativ (Nivel B). De asemenea autorii recomandă efectuarea radiografiei laterale în poziție ortostatică [173].

Radiografia laterală permite aprecierea gradului de alunecare vertebrală, prezența spondilolizei istmice și a defectelor congenitale ale structurilor osoase (spina bifida).

Măsurarea spondilolistezisului pe radiografia laterală este bazată pe metoda propusă de Meyerding, în dependență de alunecarea vertebrei craniene față de vertebra caudală, care este împărțită în patru părți. Se deosebesc 5 grade de spondilolistezis. Gradul I înseamnă o alunecare a

vertebrei supraiacente de până la 25%, Grad II – până la 50%, Grad III – până la 75% , Grad IV – până la 100% și Grad V – spondiloptoză.

Nu există un standard universal acceptat pentru a diferenția spondilolistezisul fix față de cel instabil. Pentru a aprecia instabilitatea segmentară se folosesc radiografiile laterale cu probe dinamice, de flexie și extensie, în poziție verticală a pacientului [173]. Unele studii [50] consideră că spondilolistezisul instabil poate fi diagnosticat la o alunecare vertebrală mai mare de 4 mm sau >15% din lățimea corpului vertebral, pe radiografiile efectuate în flexie.

O alternativă pentru radiografiile dinamice constă în evaluarea excursiei vertebrale prin măsurarea diferenței distanțelor dintre platourile posterioare ale vertebrelor pe radiografia laterală în ortostatism și pe imaginile CT sau IRM în poziție orizontală (Anexa 12).

Echilibrul sagital al coloanei vertebrale poate fi evaluat prin intermediul radiografiei EOS, care reprezintă o investigație radio-imagistică a întregului schelet, ce permite evaluarea biomecanicii spinale statice și dinamice, în asociere cu o expunere mult mai joasă a pacientului la radiațiile ionizante [90].

IRM a regiunii lombo-sacrale a coloanei vertebrale.

Imagistica prin Rezonanță Magnetică (IRM) este recomandată de ghidurile internaționale pentru vizualizarea stenozei care însoțește spondilolistezisul lombar degenerativ [213]. În baza Ghidului Clinic pentru Diagnoza și Tratamentul Stenozei Spinale Lombare Degenerative al NASS [173], IRM este propusă ca cea mai adecvată și non-invazivă metodă pentru confirmarea prezenței îngustării anatomice a canalului vertebral sau a compresiei rădăcinii nervoase la pacienții cu anamneză și investigații clinice sugestive pentru spondilolistezis degenerativ (recomandare de gradul B).

De asemenea, efuziunea (acumularea de lichid) în spațiul articular inter-fașetar > 1,5 mm la IRM, poate fi sugestivă pentru spondilolistezis lombar degenerativ instabil (recomandare de gradul B).

IRM lombo-sacrală de 1,5 sau 3 Tesla este o investigație obligatorie pentru pacienții incluși în studiul nostru. Scopul realizării acestei investigații a fost de a determina:

- Gradul stenozei centrale și a stenozei foramenelor neurale
- Prezența compresiei radiculare cauzate de hernia de disc lombar
- Tipul Modic al schimbărilor intensității semnalului IRM în platourile vertebrale terminale și osul subcondral.

Modificările degenerative de tip Modic reprezintă un fenomen frecvent în imagistica prin rezonanță magnetică a bolii degenerative a coloanei vertebrale și este strâns corelată cu durerea

lombară. Modic a descris trei tipuri de schimbări degenerative ale platourilor terminale, însoțite de leziuni ale măduvei osoase ale vertebrelor. Tipul 1 corespunde edemului vertebral și a hipervascularizării măduvei osoase subcondrale, caracteristice pentru degenerarea timpurie a discului intervertebral. Semnalul IRM este hipointens în regim T1 și hiperintens în T2. Tipul Modic 2, cu hipersemnal în T1W și izo- sau hipersemnal în T2W, reflectă conversia grăsoasă a măduvei osoase roșii în măduva galbenă, ca rezultat al ischemiei. Tipul Modic 3, cu semnal hipointens atât în T1W cât și în T2W, corespunde sclerozei osoase subcondrale [67].

Modificările de tip Modic 1 au probabil o origine inflamatorie și par să fie puternic asociate cu instabilitatea segmentară și durerea lombară. În consecința, aceste modificări par să prezică un rezultat excelent pentru artrodeza lombară [240, 297].

La pacienții cu spondilolistezis degenerativ cărora le este contraindicată IRM, cea mai potrivită investigație pentru a confirma prezența îngustării anatomice a canalului vertebral sau a compresiei rădăcinilor nervoase este mielografia prin tomografie computerizată [173].

Tomografia computerizată (CT) a regiunii lombo-sacrale a coloanei vertebrale

Este o investigație obligatorie pentru pacienții incluși în studiu, din 3 motive:

1. CT este o investigație complementară IRM, ce ne oferă date suplimentare despre dimensiunile structurilor osoase (pedicul, *pars interarticularis*, foramen neural) și a înălțimii spațiului discal, ceea ce permite selectarea implanturilor de dimensiuni adecvate pentru fiecare caz particular. De asemenea, tomografia computerizată permite identificarea spondilolizei și a defectelor congenitale ale structurilor osoase, care face imposibilă inserția șuruburilor CoPd (pedicule înguste, pars îngust, liza istmică).
2. CT permite evaluarea densității osoase a vertebrelor, în baza unităților Hounsfield (HU).

Recent, au fost stabilite corelațiile dintre HU și densitatea minerală osoasă. Ultimele cercetări au explorat utilitatea valorii HU în evaluarea riscului de fractură, stabilitatea implantului și reușita spondilolizei. Informațiile furnizate printr-o simplă măsurare a HU pot avertiza chirurgul despre scăderea calității osoase și pot modifica radical tactica de tratament.

Mai multe metode au fost utilizate pentru corelarea diagnosticului de osteopenie și osteoporoză în baza HU. Un prag important este valoarea de 120 HU, care indică o posibilă insuficiență osoasă. Studiul publicat de Schreiber et al. [243] determina următoarele valori medii:

- *Norma* 133 ± 37.6 HU
- *Osteopenie* 100.8 ± 24.5 HU
- *Osteoporoza* 78.5 ± 32.4 HU.

Pickhard și colab. [211] au comparat rezultatele obținute de HU și au constatat că un prag de 160 HU sau mai puțin la L1 a avut o sensibilitate de 90% pentru a distinge osteoporoza de osteopenie, în timp ce o valoare de 110 HU a avut o specificitate de 90%.

Valoarea UH poate fi un factor de pronostic al reușitei artrodezei intervertebrale [244].

În mod tradițional, densitatea minerală a oaselor este evaluată utilizând osteodensitometria DEXA. Un neajuns important al densitometriei DEXA este creșterea artificială a scorului T din cauza modificărilor degenerative ale articulațiilor zigapofizare, a scoliozei lombare sau a calcificării aortei abdominale. Din această cauză în ultimii ani a crescut frecvența utilizării tomografiei computerizate cantitative, cu sau fără fantom [1].

Avantajele tomografiei computerizate față de DEXA sunt:

- Posibilitatea de a analiza separat țesutul osos spongios și cel cortical
- Eliminarea erorilor cauzate de modificările degenerative și calcificările aortice.

În studiul nostru a fost folosită o valoare prag de 110 HU pentru a defini osteoporoza și de 135 HU pentru osteopenie, servind astfel în calitate de criteriu de excludere a pacientului din cercetare, chiar și în prezența unor valori normale ale osteodensitometriei DEXA.

3. CT este necesară pentru utilizarea intraoperatorie a neuronavigației spinale.

În acest scop poate fi utilizată atât tomografia efectuată preoperatoriu, cât și investigația fluoro-CT (eng. fluoro-CT / cone beam CT / C-arm CT) efectuată în sala de operație, spre exemplu cu ajutorul instalației angiografice (Siemens ArtisZee). Unul din avantajele neuronavigației în baza fluoro-CT este reducerea maximală a erorii cauzate de modificarea curburii coloanei vertebrale în timpul poziționării pacientului pe masa de operație. Astfel decade necesitatea înregistrării repetate a reperelor anatomice a fiecărei vertebre instrumentate, pentru inserția ghidată a șuruburilor fiind suficientă doar înregistrarea inițială.

Osteodensitometria DEXA (coloana lombară + col femural)

Osteodensitometria DEXA (Dual-energy X-ray absorptiometry / DXA) este o investigație paraclinică de măsurare a densității minerale osoase, cu ajutorul razelor X. Este cea mai frecvent utilizată și cea mai bine studiată metodă de evaluare a densității osoase, care tipic este folosită pentru diagnosticarea osteoporozei. Clinicienii favorizează utilizarea DEXA deoarece scanerul este destul de disponibil și relativ ieftin, doza de radiație este neglijabilă iar scorul T, definit de OMS în mod special pentru DEXA, oferă o clasificare standardizată.

Organizația Mondială a Sănătății a definit osteoporoza severă, în baza densității osoase la femeile de rasă europeană, la un T-scor mai mic de 2,5 deviații standard sub valorile de referință a densității osoase la femeile adulte tinere (T-scor < -2,5). Osteopenia este suspectată la un T-scor

între -1,0 și -2,5. Un T-scor mai mare de -1,0 ne vorbește despre o densitate minerală osoasă normală.

Cu toate acestea, DEXA nu este suficient de precisă în aprecierea riscului fracturilor osoase. Mai mult de 60% din femeile care au suportat o fractura tasată non-traumatică, nu ar fi fost clasificate ca osteoporotice conform criteriilor OMS [257]. Suplimentar la erorile cauzate de reproductibilitatea datelor, rezultatele DEXA sunt dependente de dimensiunile pacientului (este o investigație volumetrică), iar calcificarea aortei și dereglările degenerative pot duce la supraestimarea densității osoase a vertebrelor.

Pentru studiul nostru, osteoporoza vertebrală constituie un criteriu de excludere a subiectului din cercetare. În același timp, osteoporoza severă reprezintă o contraindicație relativă pentru artrodeza intervertebrală, din cauza ratei mici de reușită a fuziunii și a complicațiilor frecvente legate de instabilitatea sistemului de fixare a coloanei vertebrale (slăbirea ancorajului șuruburilor, surparea cage-urilor intervertebrale). Atât osteodensitometria DEXA cât și CT au avut scopul de a identifica timpuriu pacienții cu osteoporoză severă sau osteopenie, pentru a ajusta tactica de tratament (ranforsarea cu ciment a șuruburilor pediculare, alungirea montajului construcției metalice de rahisinteză) și în același timp au permis aplicarea criteriilor de excludere, pentru omogenizarea adecvată a grupurilor de studiu.

Evaluarea imagistică a rezultatelor tratamentului chirurgical aplicat

În studiul nostru, principalul criteriu de evaluare a eficacității tratamentului este rata de reușită a artrodezei intervertebrale.

Evaluarea fuziunii intervertebrale.

Imagistica CT cu secțiuni axiale fine și reconstrucții multiplanare este cea mai eficientă metodă non-invazivă de determinare a gradului de fuziune după intervențiile de artrodeză. Tomografia computerizată poate detecta pseudartroza acolo unde radiografia simplă a apreciat prezența unei fuziuni reușite [119]. Ghidurile internaționale recomandă imagistica CT cu secțiuni cu pas mic și reconstrucții multiplanare, ca metodă de elecție de evaluare a fuziunii intervertebrale după artrodeza intersomatică lombară anterioară (ALIF) [119].

Totuși, nici o metodă imagistică nu oferă de una singură o exactitate de 100% în evaluarea prezenței fuziunii intervertebrale. Radiografiile simple permit vizualizarea pierderii corecției alinierii vertebrelor. Radiografiile dinamice pot diagnostica instabilitatea vertebrală segmentară. Tomografia computerizată poate identifica osteogeneza și remodelarea osoasă în interiorul și în jurul implanturilor. Combinând toate trei tehnologii imagistice se poate determina în mod fiabil gradul artrodezei intervertebrale [34, 249].

Evaluarea fuziunii în prezența unui dispozitiv de artrodeză intervertebrală trebuie să includă investigarea radiografică a 4 elemente cheie:

1. Alinierea coloanei vertebrale;
2. Mobilitatea patologică pe investigațiile dinamice;
3. Suprafața de contact între dispozitivul de fuziune și vertebră;
4. Osteogeneza și remodelarea osoasă [34].

Alinierea vertebrelor trebuie să fie menținută în timp. Din păcate, corecția alinierii vertebrale în plan frontal și sagital, obținută imediat postoperatoriu, nu poate fi păstrată în toate cazurile. Subsidența implanturilor, care are loc postoperatoriu pe parcursul mai multor ani, duce adesea la instabilitate vertebrală segmentară, diminuarea lordozei lombare, progresia diformității angulare în plan frontal și a spondilolistezisului în plan sagital. Subsidența este o dovadă a fuziunii întârziate sau a pseudartrozei. Capacitatea implantului de a rezista subsidenței este parțial legată de design-ul acestuia, cât și de poziția implantului în interiorul spațiului discal.

Fuziunea intervertebrală poate fi considerată completă dacă nu există nici o schimbare în alinierea vertebrelor la nivelul segmentului fuzionat, cel puțin 6 luni postoperatoriu. Radiografia în proiecție antero-posterioară și laterală nu trebuie să determine schimbări semnificative în lordoza segmentară, translația sagitală sau angularea în plan coronal pe radiografiile dobândite consecutiv la cel puțin 6 luni distanță între investigații. Se acceptă modificarea angulării între radiografiile obținute imediat postoperatoriu și la 6 luni după operație, dar nu trebuie să existe vreo schimbare între radiografiile de la 6 luni și 1 an postoperatoriu.

Investigațiile dinamice (funcționale). Pe radiografiile dinamice în proiecție laterală pot fi identificate schimbări subtile ale lordozei segmentare și ale mișcării de translație în plan sagital. Fuziunea intervertebrală este considerată reușită în prezența unei mișcări de angulare a vertebrelor nu mai mari de 5° sau a unei mișcări de translație de până la 5 mm. Aceste diferențe sunt acceptabile din cauza erorilor de măsurare. Încă nu a fost stabilită o metodă standard pentru obținerea, măsurarea sau interpretarea rezultatelor radiografiilor dinamice.

Suprafața de contact implant - vertebră. Reacția țesutului osos gazdă la un dispozitiv de artrodeză intervertebrală poate ajuta la evaluarea fuziunii. Radiografiile simple, radiografiile dinamice și tomografia computerizată cu secțiuni fine sunt utile pentru evaluarea suprafeței de contact. Prezența sclerozei osoase sau a fibrozei în jurul implantului și subsidența implantului în țesutul osos sunt semne de instabilitate, fuziune întârziată sau pseudartroză. Deși aceste modificări pot fi vizualizate pe radiografiile simple, investigația de elecție pentru acest scop este tomografia computerizată cu secțiuni fine. Radiografiile simple pot identifica formarea chisturilor în țesutul osos subcondral, scleroza plăcilor terminale și fibroza radiotransparentă în jurul implantului. În plus,

ele pot vizualiza migrarea și subsidența implanturilor în interiorul spațiului discal. Formarea chisturilor în țesutul osos subcondral adiacent implanturilor este un indicator al micro-instabilității segmentare și a mișcării patologice care a apărut la acest nivel. Scleroza plăcilor terminale, care se extinde prin osul subcondral și modifică structura trabeculară a vertebrei este de asemenea un semn al pseudartrozei. Radiolucenta din jurul implanturilor este cauzată de formarea țesutului fibros la suprafața de contact între implant și țesutul osos. Migrarea implanturilor și colapsul progresiv al spațiului discal sunt semne radiografice majore de instabilitate segmentară.

Radiografiile dinamice ajută la identificarea mobilității patologice și a radiolucentei la interfața de contact. În caz de pseudartroză, spațiul gol între implant și vertebră poate să crească la hiper-extensia coloanei vertebrale. Acest defect este vizualizat pe radiografiile laterale ca o sporire a radiolucentei în jurul implantului sau ca o fisură în interiorul masei de fuziune.

Tomografia computerizată cu secțiuni fine este cea mai exactă în vizualizarea schimbărilor chistice în interiorul plăcilor terminale, a sclerozei și a radiolucentei la suprafața de contact între implant și țesutul osos.

Osteogeneza și remodelarea osoasă.

Unul din principalele criterii de reușită a artrozei intersomatice pe reconstrucțiile coronare și sagitale ale CT, este formarea unor punți solide de țesut osos trabecular în interiorul și / sau exteriorul cuștii intervertebrale, care ar conecta platourile terminale ale vertebrelor adiacente, fără semne radiologice de întrerupere a continuității osoase sau de radiotransparență la oricare din extremitățile acestora [248].

Prezența punților osoase este confirmată dacă este înregistrată pe minimum 2 secțiuni consecutive în cel puțin 2 din cele 3 planuri (axial, sagital și coronal) [4].

Statutul fuziunii poate fi apreciat ca fuziune completă, fuziune parțială sau absența fuziunii. Fuziunea completă este definită ca formarea de țesut osos continuu în planul vertical al spațiului discal, de la un platoul terminal inferior al vertebrei superioare până la platoul superior al vertebrei inferioare. Fuziunea parțială este considerată în cazurile de incorporare trabeculară incompletă la nivelul unuia din platourile vertebrale, în interiorul grefelor intervertebrale sau dacă doar una din fațetele articulare este fuzionată [4].

Pentru descrierea reușitei spondilosindezei intersomatice, în studiul nostru a fost utilizată clasificarea **Brantigan-Steffee-Fraser**, care a fost elaborată pentru evaluarea fuziunii intervertebrale prin cuștile din fibră de carbon [245].

Conform clasificării Brantigan-Steffee-Fraser distingem 3 grade de succes al fuziunii.

BSF-1: Pseudartroză radiografică, indicată prin:

- Colaps al construcției metalice de rahisinteză

- Pierderea înălțimii discului intervertebral
- Alunecarea vertebrelor (pierderea corecției alinierii vertebrale)
- Fractura șuruburilor
- Dislocarea cuștii
- Resorbția semnificativă a grefei osoase
- Radiolucență vizibilă la periferia grefei osoase sau a cuștii intersomatice.

BSF-2: Pseudartroză „blocată” sau „încuiată” (eng. locked pseudarthrosis), indicată de radio-transparența vizibilă în mijlocul grefei osoase din cuștile intersomatice, cu concreștere osoasă viguroasă la nivelul ambelor platouri vertebrale.

BSF-3: Fuziune radiografică: prezența punților osoase neîntrerupte în cel puțin jumătate din suprafața destinată fuziunii, cu o densitate cel puțin egală cu cea obținută inițial în timpul intervenției chirurgicale. Fuziunea radiografică printr-o cușcă (jumătate din aria de fuziune) este considerată mecanic stabilă chiar în caz de prezență a radiotransparenței prin cușca intersomatică de partea opusă.

Pseudartroza „blocată” (BSF-2) poate reprezenta o construcție mecanic stabilă, deși nu este cunoscută relevanța sa în caz de prezență a simptomelor clinice de pseudartroză [245].

În caz de artrodeză vertebrală posterolaterală, pentru evaluarea reușitei a fost folosită clasificarea propusă de Lenke et al. [88] (tabelul 1):

Tabelul 1. Criteriile de evaluare a reușitei artrodezei postero-laterale

Tip	Masa de fuziune	Descriere
A	Cu siguranță solidă	Mase solide de țesut trabecular de fuziune bilateral
B	Posibil solidă	Masă de fuziune voluminoasă unilateral, cu o masă de fuziune mică controlateral
C	Probabil nu e solidă	Mase de fuziune mici, fine bilateral
D	Sigur nu e solidă	Resorbția bilaterală a grefei sau masă de fuziune cu pseudartroză bilaterală evidentă

Integritatea fuziunii intervertebrale și prezența mobilității patologice poate fi apreciată și pe radiografiile cu probe funcționale (flexie și extensie). Criteriile radiologice de apreciere a unei fuziuni intervertebrale solide cu ajutorul radiografiei dinamice sunt următoarele:

1. Absența mișcării sau o mișcare angulară $<5^\circ$ și o mișcare de translație < 5 mm la nivelul segmentului fuzionat, pe radiografiile laterale cu probe de flexie și extensie
2. Absența zonei de radiolucență în jurul implantului

3. Pierdere minimă a înălțimii discului intervertebral
4. Absența fracturilor de implant (șuruburi, cușcă, tije), de grefă osoasă sau de vertebră
5. Absența modificărilor sclerotice ale grefei sau ale vertebrelor adiacente
6. Osteogeneză vizibilă în interiorul sau în jurul cuștii [225].

În studiul nostru, gradul de fuziune intervertebrală și prezența pseudartrozei a fost evaluată utilizând reconstrucțiile CT multiplanare cu secțiuni fine, submilimetrice, la 1 an postoperatoriu. Dacă fuziunea este absentă, investigația a fost repetată la 2 ani postoperatoriu. Pacienții au fost investigați prin radiografii simple în două proiecții la 1, 3 și 6 luni postoperatoriu, cu scop de a detecta eșecul fixării, infecție sau alte cauze de nereușită a fuziunii. De asemenea, pacienții au fost investigați prin radiografii cu probe dinamice la 1 an postoperatoriu, pentru a suplimenta informația furnizată de CT referitor la reușita fuziunii intervertebrale.

Pentru monitorizarea progresului artrodezei intervertebrale, a fost adoptat și implementat în practică protocolul propus de Williams et al. (2005) [279].

Protocolul evaluării gradului de artrodeză prin CT lombo-sacrală a coloanei vertebrale:

Pacienții sunt investigați obligator prin CT la 12 luni postoperatoriu. Opțional, pacienții pot fi scanați suplimentar la 6 luni pentru evaluarea în dinamică a fuziunii osoase, la 3 luni postoperatoriu în caz de persistență sau recurență a simptomelor și la 24 de luni după operație în caz de absență a fuziunii radiografice la 12 luni postoperatoriu.

Pentru fiecare perioadă de evaluare sunt caracteristice următoarele aspecte imagistice tipice:

Trei luni postoperatoriu. La 3 luni apare regenerarea osoasă timpurie. Se înregistrează prezența halourilor în jurul șuruburilor, care ar putea indica pierderea fixării. De asemenea trebuie notată surparea implantului în corpul vertebral supra sau subiacent. Subsidența poate avea impact direct asupra ligamento-taxisului și prin urmare reflectă o pierdere parțială a stabilității structurale. Tomografia computerizată la acest termen timpuriu joacă un rol important în luarea deciziei privitor la reîntoarcerea la muncă sau pentru intervenție chirurgicală repetată.

Șase luni postoperatoriu. Artrodeza osoasă se apropie de finalizare, cu apariția punților de țesut osos trabecular (spongios). Punțile osoase sunt de obicei văzute lateral de implant și pot fi vizualizate de asemenea în interiorul implantului. Osteogeneza inițială tinde să apară între partea laterala a protezei și inelul fibros. Nu ar trebui să existe defecte chistice adiacente implantului sau defecte lineare în punțile osoase. Prezența acestora este sugestivă pentru fuziunea întârziată, care are impact direct asupra reîntoarcerii pacientului la locul de muncă și asupra pronosticului reușitei artrodezei.

Douăsprezece luni postoperatoriu. Aspectul imagistic la 12 luni este similar cu cel de la 6 luni postoperatoriu. Țesutul osos nou-format trebuie să fie mai matur, cu punți evidente de conexiune osoasă între corpurile vertebrale.

Douăzeci și patru de luni. CT este efectuată doar dacă artrodeza robustă nu a fost confirmată la 1 an postoperatoriu. Spațiul discal continuă să se consolideze prin umplerea cu os trabecular a spațiului din jurul implanturilor. Radiotransparența sau modificările chistice la marginile implantului cât și fisurile prin masa de fuziune sunt un indicator de nereușită a artrodezei.

Interpretarea imaginilor CT.

La interpretarea tomografiei computerizate a unui pacient care a suportat o fuziune intervertebrală, urmează a fi evaluate următoarele puncte cheie:

1. **Alinierea vertebrelor.** Este vizibilă anterolistezisul, retrolistezisul sau scolioza?
2. **Păstrarea spațiului discal.** Este vizibilă afectarea degenerativă a discurilor intervertebrale, la alte nivele decât cel fuzionat? A fost restabilită înălțimea normală a spațiului discal la nivelul fuzionat?
3. **Abord anterior sau posterior.** Implantul intervertebral este localizat în spațiul discal anterior sau posterior?
4. **Numărul de dispozitive de fuziune** la fiecare nivel fuzionat.
5. **Tipul dispozitivului de fuziune utilizat.** Au fost utilizate cuști din metal sau din polimer, știft osos, inel femural etc.
6. **Schimbarea poziției implantului.** Există vreo dovadă de mișcare a dispozitivului de fuziune față de investigația CT precedentă?
7. **Subsidența.** Subsidența, definită ca surparea dispozitivului de fuziune în unul sau ambele corpuri vertebrale adiacente, este importantă, deoarece o chirurgie reușită de fuziune intervertebrală are ca rezultat o construcție robustă din punct de vedere biomecanic. Subsidența este asociată cu o incidență crescută de eșuare a artrodezei, deoarece pierderea suportului mecanic permite dislocarea dispozitivului de fuziune sau a grefei osoase.
8. **Radiotransparența la marginile dispozitivului de fuziune sau a șurubului pedicular.** Radiolucenta sugerează apariția mobilității patologice și slăbirea ancorării osoase a șurubului sau a dispozitivului de fuziune. De obicei, radiotransparența poate fi asociată cu fuziune întârziată sau nereușită.
9. **Modificările chistice în plăcile terminale.** Modificările chistice sunt văzute pe secțiunile axiale adiacente implanturilor și sunt markeri ai fuziunii nereușite. Aceste modificări vor dispărea în caz că artrodeza va avea loc.

10. **Osteogeneza în interiorul sau în apropierea dispozitivului de fuziune.** În cazul unei fuziuni reușite este necesară formarea de punți osoase neîntrerupte în interiorul spațiului discal, care concresec cu plăcile terminale ale ambelor vertebre adiacente. Osteogeneza în interiorul sau exteriorul cuștii intersomatice poate fi vizualizată de obicei la 6 luni după intervenția chirurgicală și progresează timp de 18-24 de luni. Este cel mai bine evaluată pe imaginile coronale și sagitale.
11. **Anomalii la alt nivel decât cel fuzionat.** Este important de evaluat imagistic nivelurile localizate proximal și distal de segmentul fuzionat, pentru a identifica boala nivelului adiacent, stenoza foraminală sau de reces lateral și artropatia fațetară ca potențiale cauze ale simptomelor recurente sau reziduale după o fuziune lombară.
12. **Amplasarea și integritatea implanturilor.** Fractura șurubului sau a tijei posterioare poate fi mai ușor apreciată pe reconstrucțiile sagitale și coronare decât pe imaginile axiale; totuși un șurub care penetrează cortexul medial al pediculului în vecinătatea rădăcinii nervoase adiacente este mai bine vizualizat pe imaginile axiale.

Caracteristicile CT ale fuziunii întârziate sau nereușite.

- Radiolucența la marginile dispozitivului de fuziune sau ale șurubului pedicular. Această zonă de radiotransparență reprezintă osteoliza cu resorbție osoasă, secundară mișcării implantului.
- Schimbările chistice în interiorul plăcilor terminale adiacente implantului.
- Defecte liniare în interiorul sau adiacent dispozitivului de fuziune, paralel plăcilor terminale.
- Dislocarea sau subsidența dispozitivului de fuziune.

2.2.3. Metode biochimice

Dozarea creatinkinazei serice (CK) pentru evaluarea gradului de leziune musculară iatrogenă

Abordurile chirurgicale tradiționale pentru decompresia și fuziunea regiunii toraco-lombare a coloanei vertebrale traumatizează mușchii paravertebrali prin mai multe mecanisme: disecție, retracție, leziune termică, denervare. Distrugerea celulelor musculare duce la eliberarea în circulația sistemică și respectiv la creșterea concentrației serice a creatinkinazei (CK), în special a izoenzimei MM. Creșteri semnificative au fost observate la prima și a treia zi postoperatoriu și revine la normă la o săptămână după operație [127].

Pentru a cuantifica agresivitatea chirurgicală a tehnicilor de artrodeză intersomatică, în studiul nostru a fost analizată creatinkinaza serică (CK) a pacienților preoperatoriu și la a III zi postoperatoriu.

2.2.4. Colectarea prospectivă a informației cu referință la morbiditatea chirurgicală

Parametrii secundari, asociați morbidității chirurgicale au fost înregistrați intra și postoperatoriu pentru a fi comparați în eventualitatea constatării unei diferențe semnificative între grupurile de studiu (Anexa 1).

Intraoperator au fost înregistrați următorii parametri:

1. Lungimea inciziei cutanate (cm).
2. Durata operației (min).
3. Volumul hemoragiei intraoperatorii (ml).
4. Necesitatea de transfuzii sangvine intraoperator sau postoperatoriu, din cauza hemoragiei
5. Doza de iradiere a pacientului, înregistrată ca produsul dozei și a suprafeței de expoziție la radiația ionizantă (DAP = dose area product) măsurată în cGy·cm² și prin timpul de fluoroscopie (FT), exprimat în secunde.
6. Numărul de cazuri de malpoziție a șuruburilor pediculare, detectată prin stimularea electrică a șurubului cu un curent de 7mA și înregistrare a răspunsurilor EMG la nivelul membrelor inferioare.
7. Complicații intraoperatorii:
 - Fractura de pedicul
 - Fractura de pars interarticularis
 - Leziunea structurilor nervoase
 - Durotomie accidentală
 - Perforarea pereților pediculului
 - Malpoziția șuruburilor pediculare.

Postoperatoriu au fost înregistrate datele referitor la:

1. Durata de spitalizare.
2. Complicații observate în perioada postoperatorie:
 - Infecția plăgii
 - Licvorie prin plagă
 - Tromboză venoasă profundă
 - Degenerarea segmentului adiacent artrodezei
 - Deficit neurologic iatrogen

- Dureri radiculare neuropatice
- Pseudartroză simptomatică
- Complicații mecanice ale sistemului de osteosinteză: fractura șuruburilor, slăbirea eficienței mecanice a șuruburilor cu apariția radiolucenței, subsidența cuștilor intersomatice etc.
- Intervenții chirurgicale repetate.

2.3. Metode de prelucrare și analiză a materialului primar

Datele demografice, gradul de reușită a artrodezei intersomatice, rezultatele clinice ale tratamentului extrase din chestionarele de autoevaluare (VAS, ODI, SF-12) și parametrii secundari asociați morbidității chirurgicale au fost transferate în baza electronică de date creată cu ajutorul programului software Microsoft Excel 2019. Baza de date a fost supusă analizei statistice calitative și cantitative prin intermediul programului software IBM SPSS versiunea 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA), cu aplicarea metodelor de statistică descriptivă (Media, Mediana, Devierea Standard, Intervalul Interquantilic), a testului Student (Two-samples independent t-test) pentru analiza variabilelor continue și a testelelor Fisher exact și Pearson Chi-Square (χ^2) pentru variabilele proporționale. Semnificația statistică a rezultatelor a fost apreciată pentru intervalul de încredere de 95.0% ($p < 0.05$). Rezultatele analizei statistice au fost reprezentate sub formă de tabele, grafice și diagrame.

3. TRATAMENTUL CHIRURGICAL. ARTRODEZA MIDLIF. ASPECTE TEHNICE.

Pasul 1: Poziționarea pacientului. După inducerea anesteziei generale, a intubării endotraheale și a administrării intravenoase a antibioticelor, pacientul este poziționat în decubit ventral pe masa de operație. Sub pieptul și pelvisul pacientului sunt plasate perne din silicon pentru a permite excursia abdomenului și a diminua presiunea venoasă.

Pentru operațiile de artrodeză MIDLIF, camera infraroșie a sistemului de neuronavigație este poziționată la extremitatea craniană a pacientului (figura 2).



Figura 2. Poziționarea pacientului în operațiile de artrodeză MIDLIF

După aseptizarea locală a pielii, se introduc ac – electrozi bipolari în mușchii inervați de rădăcinile nervoase care vor fi monitorizate neurofiziologic în timpul intervenției chirurgicale (figura 3).

În dependență de segmentul vertebral fuzionat și de rădăcinile nervoase care riscă să fie lezate intraoperator, se inseră electrozi în următoarele grupuri musculare:

Rădăcina nervoasă	Grupul muscular monitorizat EMG
L3 - L4	Rectus femori (quadriiceps)
L4 - L5	Tibialis anterior
S1 - S2	Gastrocnemius (medial)
S3 – S5	Sfincter anal extern

Electrozii sunt conectați la boxa EMG de 16 canale ale sistemului de monitoring neurofiziologic multimodal (ISIS, Inomed).

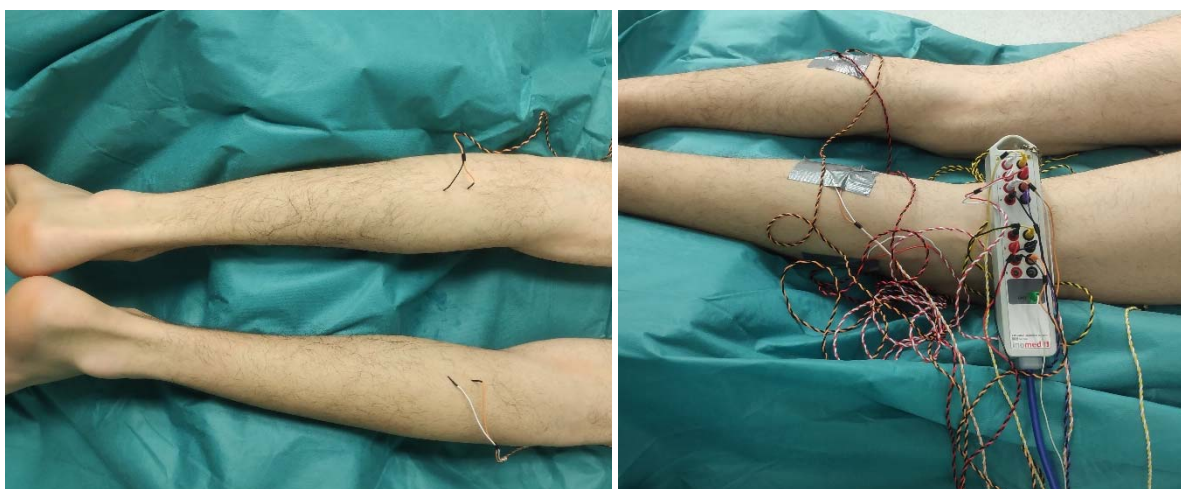


Figura 3. **Insertia ac-electrozilor pentru monitorizarea neurofiziologică a rădăcinilor nervoase**

Pasul 2: Localizarea nivelului vertebral și planificarea inciziei. Nivelul vertebral dorit, este identificat cu ajutorul fluoroscopiei. În cazurile abordurilor chirurgicale minimal invazive, cum este MIDLIF, se efectuează reperajul profund cu ajutorul unei canule spinale de 25G. Acul este introdus vertical prin piele, în direcția coloanei vertebrale. Pentru a evita puncția accidentală a sacului dural, acul este inserat în țesuturile moi lateral de linia medie și este orientat spre fațeta articulară ipsilaterală. După aceasta, nivelul coloanei vertebrale și traiectul acului este confirmat cu ajutorul fluoroscopului în proiecție laterală (figura 4).

Planificarea inciziei se efectuează în poziție AP a fluoroscopului. Se marchează pe piele proiecția mijlocului discului intervertebral care urmează a fi protezat. Din cauza înclinării cranio-caudale a șuruburilor CoPd, incizia pielii nu este centrată pe spațiul discal, dar este deplasată în direcție caudală, 1/3 de incizie fiind localizată superior de centrul DIV și 2/3 din incizie inferior de centrul DIV. De obicei este planificată o incizie de 4-5 cm pentru segmentele lombare (L3-L4 și L4-L5) și de 6-8 cm pentru nivelul L5-S1. O altă modalitate de planificare a inciziei este de a marca pe

pele o linie tangentă la polul inferior al pediculelor craniale și de la această linie de măsurat în direcție caudală lungimea planificată a inciziei.

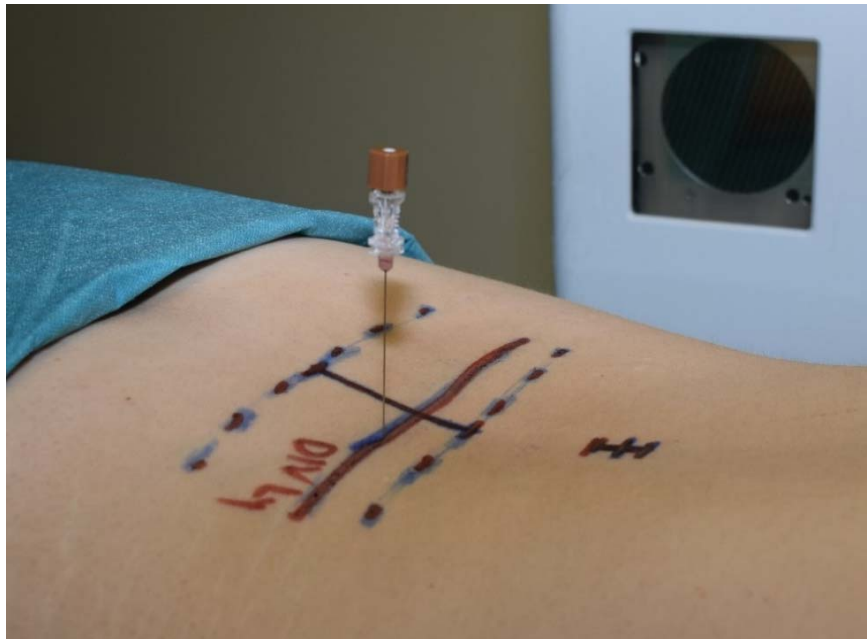


Figura 4. **Reperaj profund al nivelului spinal operat**

Suplimentar, poate fi marcată pe piele proiecția punctelor de inserție a șuruburilor Schanz în *crista iliaca*, pentru fixarea cadrului de referință a neuronavigației spinale. În cazul fixării cadrului de referință pe apofiza spinoasă a vertebrei localizate cu un nivel mai sus de segmentul fuzionat (apofiza spinoasă L3 pentru artrodeza L4-L5), se planifica o mică incizie adițională (de 1 – 1,5 cm) în proiecția apofizei spinoase respective sau puțin mai proximal, pentru a permite înclinarea cadrului în direcția cranială (figura 5).

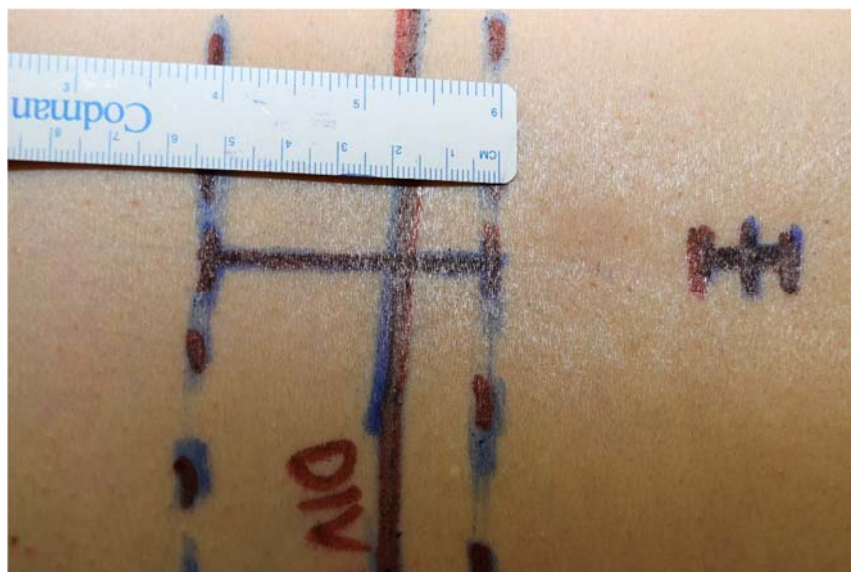


Figura 5. **Planificarea inciziei cutanate**

Pasul 3: Incizia pielii și accesul chirurgical. După incizia pielii și a fasciei dorso-lombare pe linia medie, se efectuează disecția subperiostală a mușchilor paravertebrali. Disecția musculară este suficientă dacă este expusă marginea laterală a *pars interarticularis* la ambele niveluri vertebrale ale segmentului fuzionat, fără de scheletizarea apofizelor transverse și a șanțurilor postero-laterale. Este necesară doar o expoziție minimală a articulației proximale. După aplicarea dilatatorului muscular, pentru magnificarea și iluminarea câmpului operator poate fi utilizat microscopul operator.

Pasul 4: Fixarea cadrului de referință pentru neuronavigația intraoperatorie.

Precizia neuronavigației depinde de fixarea stabilă a cadrului de referință și prin urmare nu trebuie perturbată pe tot parcursul operației. Poziția cadrului dinamic de referință se planifică în așa mod ca toate cele 3 sfere reflectorii să se afle direct în câmpul de vedere a camerei cu infraroșu a neuronavigației (figura 6). Sistemul de neuronavigație recunoaște un cadru de referință în baza aranjării geometrice spațiale a sferelor diode. Unghiul ideal pentru detectarea cadrului de referință este perpendicular pe planul care unește centrele sferelor reflectorii de pe cadru. În cazul fixării

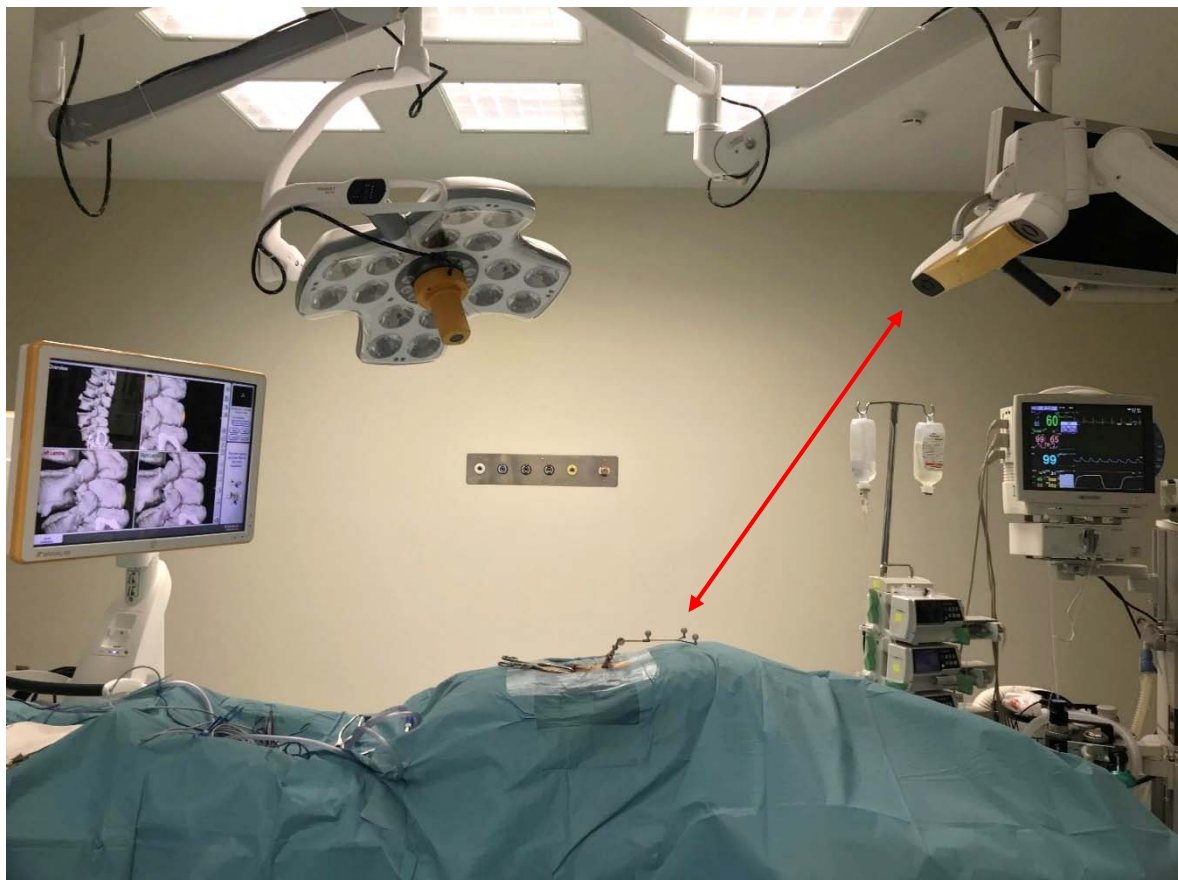


Figura 6. Amplasarea camerei infraroșii la capul pacientului, pentru vizualizarea optimă a cadrului de referință

CoPd, cadrul de referință este orientat în direcție cranială, perpendicular pe linia de vedere a camerei cu infraroșu, care este amplasată la capul pacientului.

Există două opțiuni de fixare a cadrului dinamic de referință:

1. Fixarea cadrului dinamic de referință cu ajutorul a 2 șuruburi Schanz de 3 mm, ancorate în *crista iliaca*, de obicei pe partea dreaptă, aproximativ la 2 cm lateral de *spina iliaca posterior superior* (figura. 7).

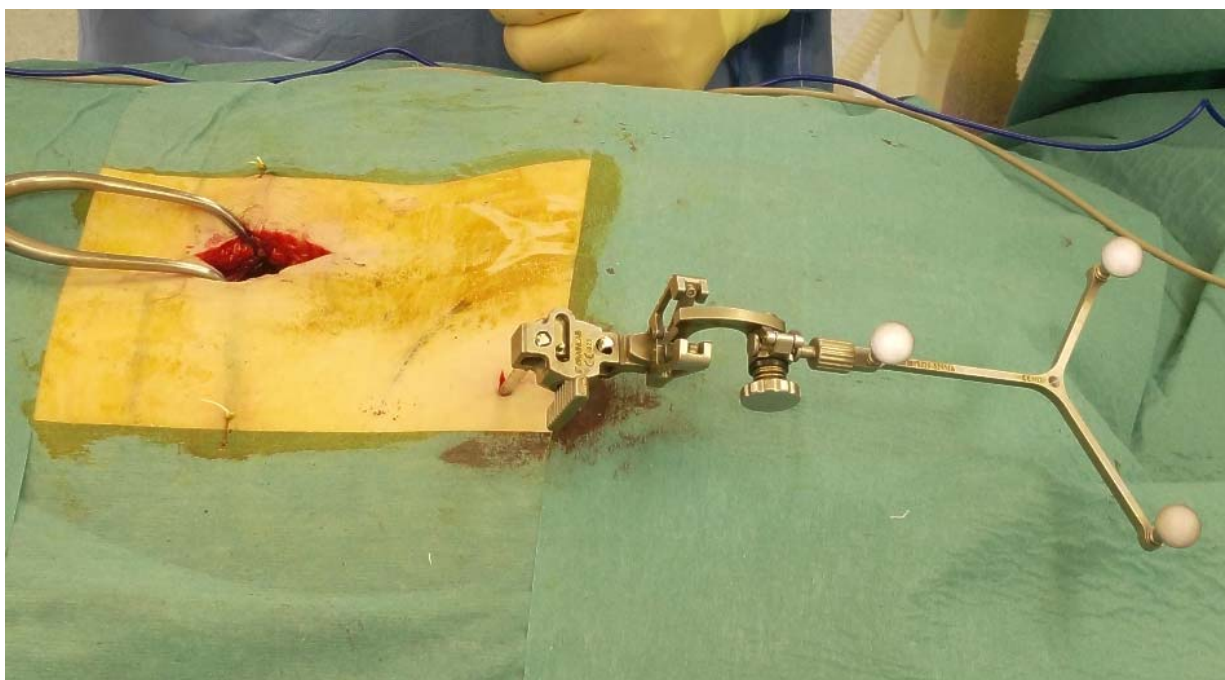


Figura 7. Fixarea cadrului de referință pe crista iliacă, în regiunea PSIS

2. Fixarea de apofiza spinoasă a vertebrei localizate la nivelul adiacent proximal segmentului fuzionat (ex: spinoasa L3 pentru artrodeza L4-L5). Nu este recomandată fixarea cadrului de referință de apofiza spinoasă a vertebrelor din segmentul fuzionat, deoarece canularea pediculelor pe traiect CoPd necesită în majoritatea cazurilor rezecția apofizei spinoase de la acest nivel, pentru a permite o angulare medio-laterală adecvată a instrumentelor.

3. În urma multiplelor tentative de a identifica o poziție optimă pentru cadrul de referință în cazul artrodezei MIDLIF, a fost elaborat un procedeu de fixare a cadrului dinamic pe apofiza spinoasă supraiacentă nivelului fuzionat, prin intermediul unei incizii adiționale de aprox. 1.5 cm lungime, localizate aprox. 2-3 cm superior de această apofiză (figura 8). De exemplu, pentru artrodeza nivelului vertebral L4-L5, incizia pielii este plasată în proiecția apofizei spinoase L2, de aici clema cadrului de referință este tunelizată prin stratul de țesut celulo-adipos subcutanat și este fixată de apofiza spinoasă L3. Beneficiul principal al acestei tehnici rezidă în înclinarea semnificativă a clemei de fixare a cadrului în direcție cranială, ce permite poziționarea cadrului de

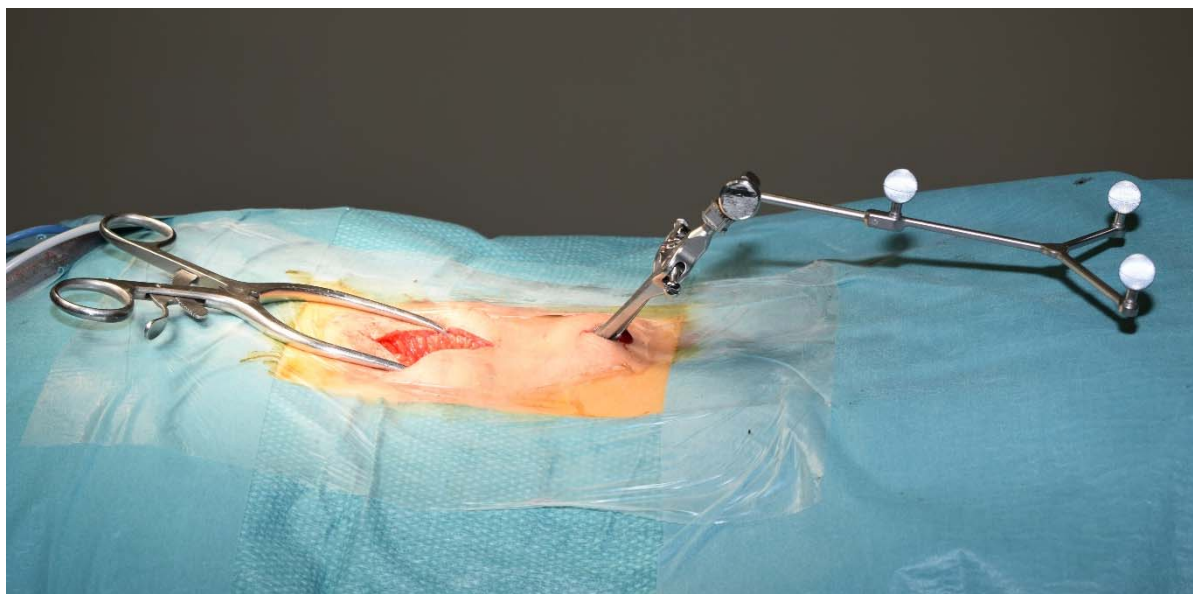


Figura 8. **Fixarea cadrului de referință pe apofiza spinoasă a vertebrei localizate proximal de nivelul operat, prin intermediul unei contra-incizii**

referință cât mai orizontal și mai aproape de câmpul operator. Aceasta la rândul său limitează interferența cadrului dinamic cu instrumentele ghidate de neuronavigație, care ar putea duce la erori de localizare și la malpoziția implanturilor. Nu este recomandată fixarea cadrului de referință la o distanță mai mare de 2 niveluri vertebrale de la segmentul fuzionat [100].

Pasul 5: Înregistrarea reperelor anatomice ale coloanei vertebrale în sistemul de neuronavigație intraoperatorie și co-înregistrarea cu investigația imagistică.

Procesul de achiziție a punctelor de reper de pe suprafața structurilor osoase este definit ca „înregistrare”. Procesul de sincronizare a reconstrucției CT tridimensionale virtuale și a structurilor anatomice reale se numește „co-înregistrare”. Există câteva metode de înregistrare:

A) Înregistrarea punctelor pereche, presupune suprapunerea manuală a reperelor anatomice reale, ușor identificabile intraoperator cu imaginile virtuale ale acestor structuri. Algoritmul de înregistrare constă în selectarea unui punct pe reconstrucția tridimensională a coloanei vertebrale create în baza CT preoperatorii și atingerea acestui punct cu sonda de neuronavigație pe anatomia reală a pacientului în timpul intervenției chirurgicale. Pentru a obține o precizie satisfăcătoare a neuronavigației, este necesară achiziția a cel puțin 4-5 puncte.

B) Înregistrare prin concordarea suprafețelor. Vârful sondei de neuronavigație este plasat pe un punct de pe suprafața osului, iar un algoritm de autocorecție identifică punctul corespunzător pe reconstrucțiile CT preoperatorii.

C) Înregistrarea automată. Nu necesită atingerea structurilor anatomice cu sonda de neuronavigație. Algoritmul presupune fixarea unui cadru de referință de apofiza spinoasă sau

crista iliaca și fixarea altui cadru de referință de instalația CT sau 3D-fluoro intraoperatorie. Odată achiziționate, datele imagistice sunt transferate pe stația de lucru a sistemului de neuronavigație, care efectuează o co-înregistrare automată, eliminând necesitatea înregistrării manuale. Acest tip de înregistrare este ideal pentru tehnicile minimal invazive care nu presupun expoziția structurilor osoase posterioare pe linia medie, cum ar fi spondiloliteza transforaminală minimal invazivă (MIS-TLIF), dar necesită echipamente de achiziție intraoperatorie a tomografiei sau a fluoroscopiei-3D, integrate cu instalația de neuronavigație.

În studiul nostru, având în vedere abordul chirurgical medial și accesul la structurile osoase posterioare, a fost folosită înregistrarea prin metoda **de concordare a suprafețelor**. În timpul înregistrării, chirurgul conturează structurile vertebrale posterioare prin colectarea unui nor de puncte de pe suprafața osoasă cu ajutorul sondei de neuronavigație. Ulterior algoritmul suprapune automat punctele achiziționate intraoperator cu imaginile CT preoperatorii pentru a stabili un sistem tridimensional de coordonate pentru navigație.

- Pentru concordarea suprafețelor, toate punctele trebuie achiziționate de pe aceeași structură osoasă. Punctele achiziționate trebuie să fie localizate la același nivel vertebral, atât pe ecranul neuronavigației cât și pe anatomia reală a pacientului.
- Este obligatorie achiziția punctelor prin contact direct al sondei cu suprafața osoasă. Din această cauză este foarte importantă scheletizarea adecvată a structurilor osoase posterioare (apofiza spinoasă, lamina, fațetele articulare). Punctele care nu au fost achiziționate direct de pe suprafața osului pot duce la o înregistrare inexactă.

Înregistrarea prin metoda de concordare a suprafețelor constă din 5 etape:

1. Accesarea aplicației de „Înregistrare prin Concordare a Suprafețelor”, incorporate în modulul software spinal an neuronavigației.

Aplicația de „Înregistrare prin Concordarea Suprafețelor” se accesează din meniul general. Mai întâi are loc selecția pacientului din baza de date sau de pe purtătorul de informație (CD, DVD, USB Flash), urmată de selecția investigației relevante pentru chirurgie (secvențele CT cu secțiuni fine). După aceasta se selectează modulul spinal și se apasă butonul virtual „Registration”. Din opțiunile apărute se alege meniul „Surface Matching Registration”.

2. Ajustarea pragului densității osoase.

Pragul densității osoase este o valoare folosită de modulul software pentru a identifica structurile formate din țesut osos. Când pragul osos este setat corect, nici un țesut altul decât cel osos nu este vizibil, iar suprafața osului pe reconstrucția 3D apare netedă și solidă, în special în zonele în care trebuie obținute punctele de înregistrare. Dacă pragul este prea mic sau prea mare,

va exista o discrepanță în sistemul de coordonate între structurile osoase reale și cele virtuale, ceea ce va duce la inexactitatea înregistrării pacientului.

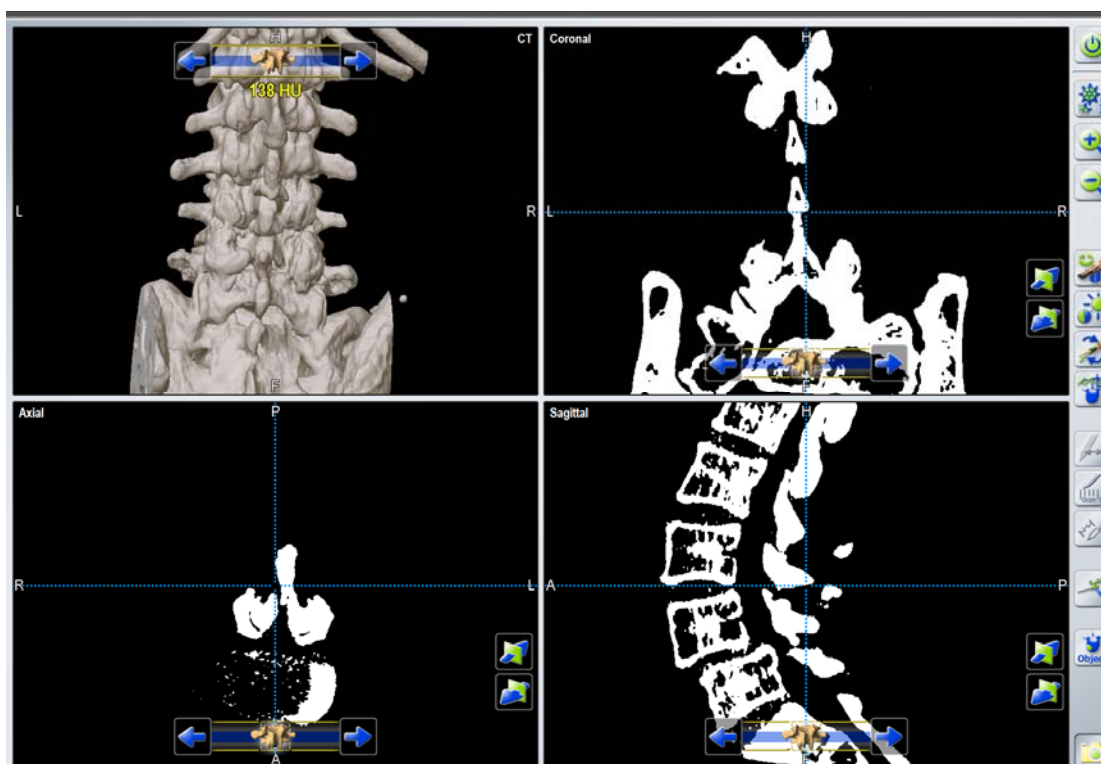


Figura 9. Ajustarea pragului densității osoase

Pentru a micșora sau a mări pragul osos se folosește bara glisantă localizată în partea superioară a reconstrucției tridimensionale a coloanei vertebrale. Se ajustează pragul astfel ca să fie cât mai vizibil țesutul osos și cât mai puțin vizibile alte țesuturi din vecinătate (ligamente, mușchi). Înregistrarea este posibilă doar dacă suprafața osoasă este clar vizibilă (figura 9).

3. Definirea nivelului vertebral.

Definirea vertebrei relevante se efectuează prin identificarea a trei puncte de reper pe suprafața lamei osoase. Pe reconstrucția tridimensională a coloanei vertebrale se planifică un punct pe vârful apofizei spinoase, urmat de un punct pe hemilamina stângă și în final un punct pe hemilamina dreaptă (figura 10).

Considerăm zona adiacentă marginii laterale a *pars interarticularis* ca cea mai reușită pentru planificarea punctului reper de pe lamina vertebrală, deoarece este ușor de identificat vizual și este structura cea mai puțin afectată de procesul degenerativ.

După planificarea celor 3 puncte de reper, se apasă butonul virtual „Acquire” (Achiziție).

Primele 3 etape pot fi efectuate atât în timpul intervenției chirurgicale, cât și până la incizia pielii.

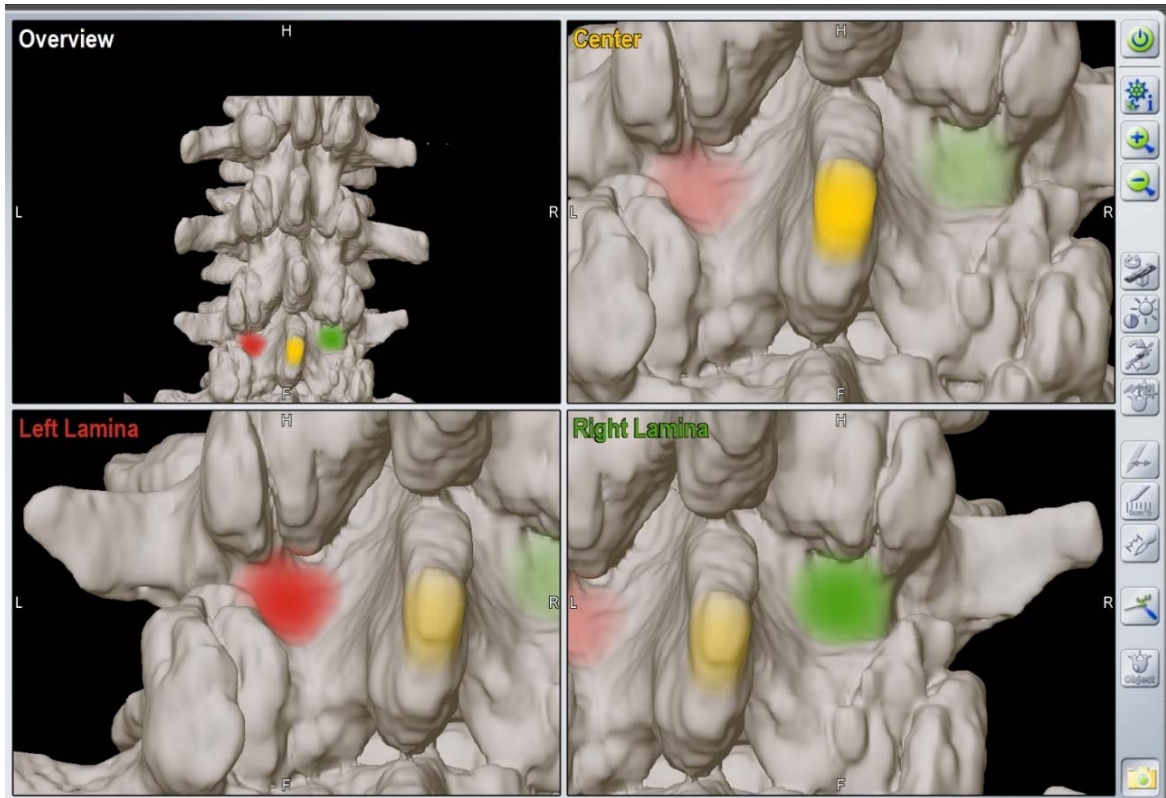


Figura 10. Definirea nivelului vertebral prin înregistrarea primelor 3 puncte de referință

4. Achiziția a 20 de puncte de pe vertebră.

Folosind sonda de neuronavigație se realizează achiziția fiecăruia din cele 3 puncte de reper, în ordinea în care au fost planificate. Ulterior se colectează 17 puncte suplimentare de pe structurile posterioare ale vertebrei de interes (figura 11). Este importantă achiziția punctelor în mai multe planuri, la adâncimi diferite și pe o suprafață osoasă cât mai vastă. La necesitate, pentru a ameliora precizia de înregistrare este posibilă achiziția suplimentară a încă 10 puncte de reper.

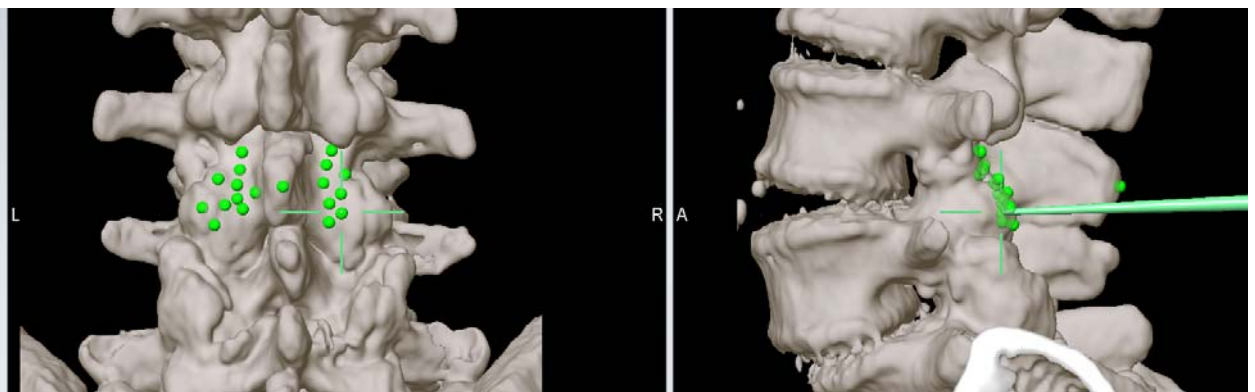


Figura 11. Achiziția a 20 de puncte de referință de pe suprafața laminei

După înregistrarea norului de puncte de pe suprafața structurilor osoase vertebrale, sistemul de neuronavigație efectuează automat co-înregistrarea prin concordarea cu datele tomografiei computerizate pre-operatorii iar algoritmul de autocorecție identifică structurile corespunzătoare pe reconstrucțiile CT tridimensionale. Dacă precizia înregistrării a fost insuficientă sau dacă colectarea punctelor de reper a avut loc la un nivel greșit, sistemul de neuronavigație va afișa o alertă de eroare. În acest caz este recomandată repetarea procedurii de înregistrare începând cu ajustarea repetată a pragului osos și a celor 3 puncte inițiale de reper. Dacă după afișarea mesajului despre eroarea de înregistrare se insistă pe ameliorarea preciziei prin colectarea a 10 puncte adiționale, există posibilitatea ca eroarea afișată să dispară, iar intervenția chirurgicală să fie efectuată la un nivel vertebral greșit sau cu o precizie insuficientă a neuronavigației. Pentru a evita aceste erori, se efectuează obligator verificarea preciziei înregistrării.

5. Verificarea preciziei înregistrării.

După co-înregistrare, dacă sonda de neuronavigație și cadrul de referință se află în câmpul de vedere a camerei infraroșii, se deschide automat meniul „Accuracy Verification”. Exactitatea înregistrării este testată prin atingerea cu vârful sondei de neuronavigație a cel puțin 3 reperi anatomice osoase și verificarea simultană a poziției sondei virtuale afișate de sistemul de neuronavigație pe reconstrucțiile CT în toate cele 3 planuri (figura 12).



Figura 12. Verificarea preciziei înregistrării

Dacă înregistrarea a fost imprecisă, sistemul afișează un mesaj de avertizare „*Check accuracy with pointer*”. În acest caz se verifică dacă nivelul vertebral înregistrat este cel corect, atât pe anatomia reală a pacientului cât și pe reconstrucția virtuală a coloanei vertebrale și se repetă procedeul de înregistrare a punctelor de referință și de co-registrare cu datele CT. Dacă eroarea persistă, se recomandă confirmarea nivelului vertebral înregistrat cu ajutorul fluoroscopiei intraoperatorii.

Pasul 6: Calibrarea ghidului tubular al burghiului pre-înregistrat în sistemul de neuronavigație. Există o serie de instrumente chirurgicale pre-registrate în sistemul de

neuronavigație, cum ar fi ghidul tubular al burghiului, acul Jamshidi, diverși tarozi, cât și instrumentul port-șurub. Fiind pre-înregistrate, aceste instrumente sunt recunoscute automat de sistemul de neuronavigație.

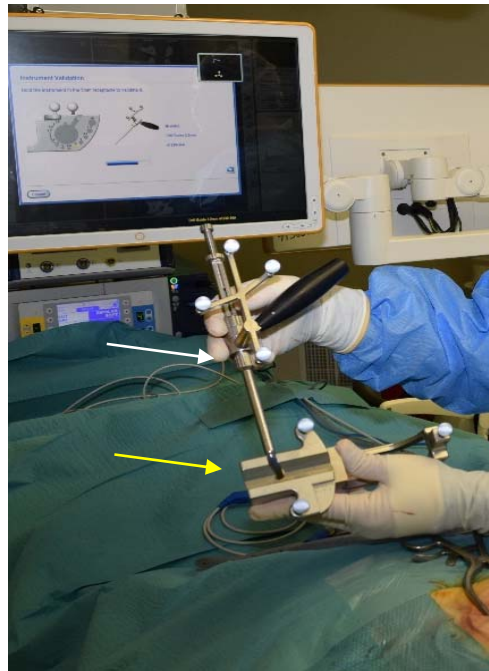


Figura 13. Calibrarea ghidului tubular al burghiului (săgeata albă) cu ajutorul matricei de calibrare a instrumentelor (săgeata galbenă)

Pentru a putea fi folosit intraoperator, ghidul burghiului urmează a fi calibrat de sistemul de neuronavigație. Acest obiectiv este realizat cu ajutorul matricei de calibrare a instrumentelor.

Dacă matricea de calibrare este adusă în câmpul de vedere a camerei video simultan cu ghidul tubular, se deschide automat meniul de calibrare a instrumentului (figura 13). Utilizatorul este solicitat să stabilească diametrul burghiului utilizat (2,6 mm sau 3,2 mm), după care instrumentul este calibrat de sistemul de neuronavigație. Precizia de calibrare a instrumentului este testată prin aplicarea vârfului ghidului pe câteva puncte pivot speciale, situate pe matrice.

Pasul 7: Identificarea punctului de inserție a șurubului CoPd

Această etapă începe cu identificarea punctului inițial de inserție a șurubului CoPd pe suprafața istmului vertebral. Punctul de start pentru traiectul CoPd este localizat pe suprafața medială a *pars interarticularis*, în proiecția țesutului osos cortical cu cea mai mare densitate osoasă regională (figura 14).

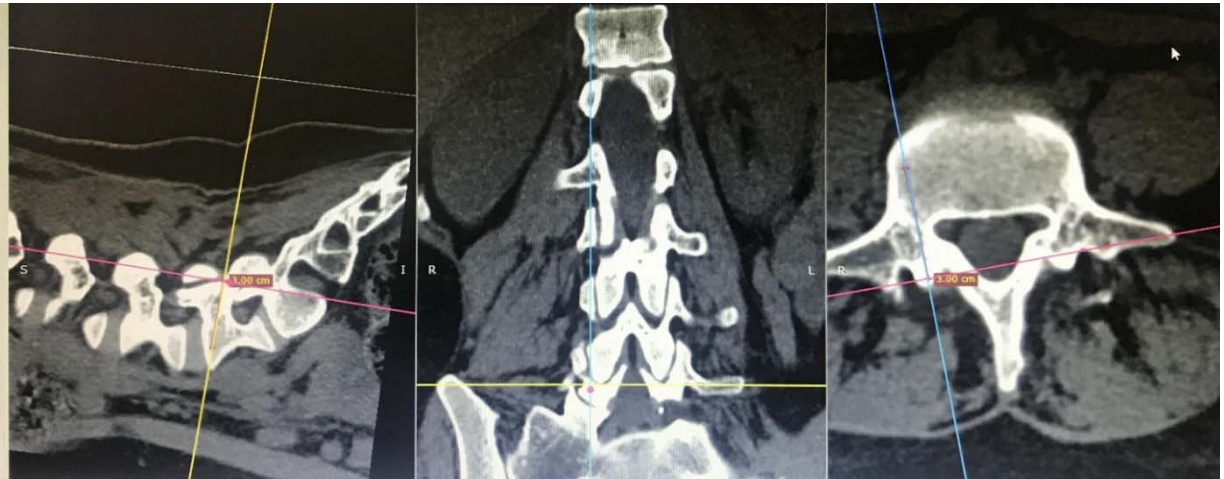


Figura 14. **Identificarea punctului ideal de inserție al șurubului CoPd pe reconstrucțiile CT tridimensionale**

Algoritmul elaborat de echipa noastră pentru identificarea punctului inițial de inserție este bazat pe utilizarea neuronavigației (figura 15):

1. Cu ajutorul sondei de neuronavigație se identifică un punct localizat la intersecția apofizei articulare superioare cu *pars interarticularis*, punct care corespunde marginii superioare a neuroforamenului pe reconstrucțiile CT în plan sagital.
2. Din punctul localizat pe marginea laterală a *pars*-ului, vârful sondei de neuronavigație este deplasat în direcție medială la o distanță de aproximativ 3-5 mm.



Figura 15. **Identificarea punctului inițial de inserție cu ajutorul neuronavigației**

3. Sonda de neuronavigație este înclinată în direcție medio-laterală în plan axial și cranio-caudală în plan sagital, pentru a identifica traiectul CoPd ideal, care ar permite acomodarea adecvată a unui șurub poliaxial cu un diametru de 5,5 mm și o lungime de 30 – 35 mm. De obicei un traiect CoPd ideal are o angulare cranio-caudală de 25 – 30° și o angulare medio-laterală de aprox. 10°- 15°. Această traiectorie este memorizată în sistemul de neuronavigație și este vizualizată sub forma unui șurub virtual de culoare albastră suprapusă pe imaginile CT (figura 16).

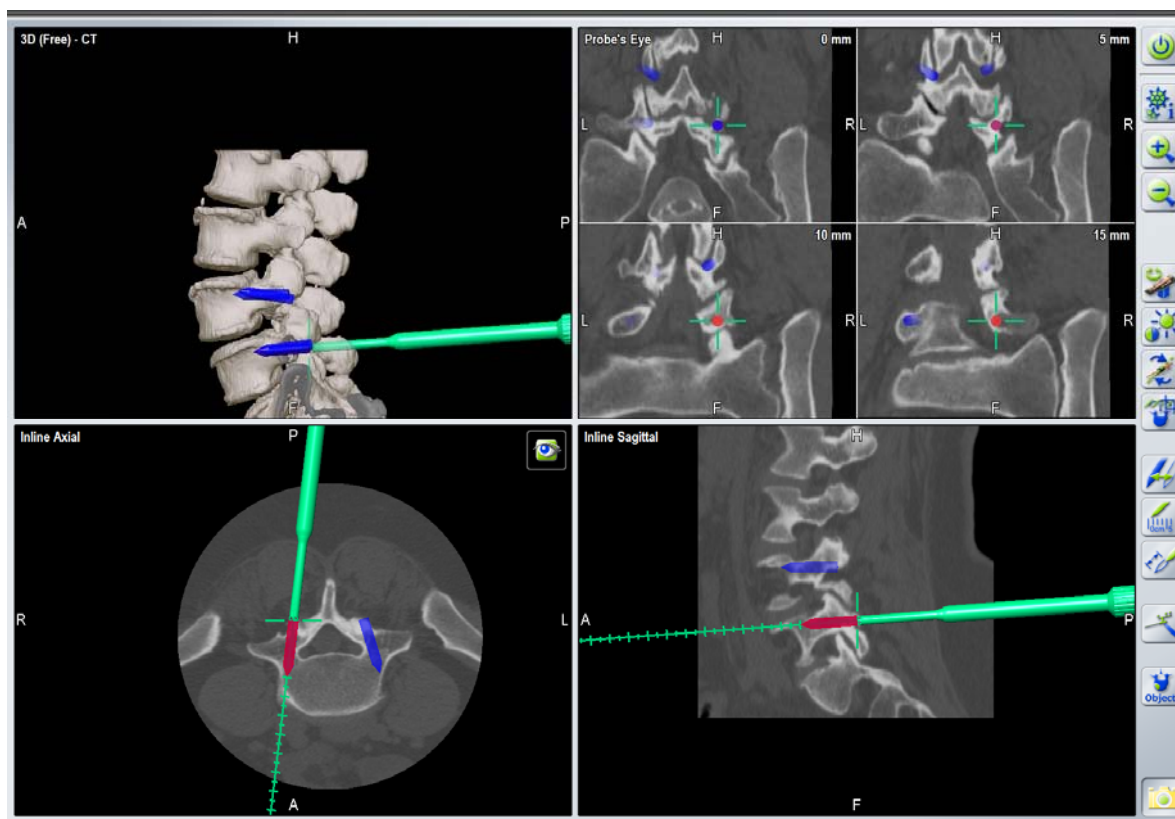


Figura 16. Planificarea punctului de inserție și a traiectului CoPd ideal cu ajutorul ghidului tubular al burghiului

4. Pentru șuruburile proximale se recomanda un punct de inserție mai inferior, la distanță de fațeta articulară. În acest caz, localizarea punctului de inserție poate corespunde intersecției marginii mediale a apofizei articulare superioare și a marginii inferioare a apofizei transverse, la aproximativ 3-5 mm distanță de marginea laterală a *pars interarticularis*.

După localizarea imagistică, țesutul osos în punctul inițial de inserție poate fi perforat cu ajutorul unei freze diamantate sferice cu un diametru de 2 – 3 mm. Dimensiunile orificiului creat trebuie sa fie suficiente ca să acomodeze vârful burghiului de 3,2 mm.

Pasul 8: Canularea pediculelor pe traiect CoPd

După perforarea corticalei osoase în regiunea punctului de inserție, se continuă prepararea găurilor pilot prin canularea pediculului cu ajutorul unui burghiu cu diametrul de 3,2 mm și a

ghidului tubular al burghiului, pre-înregistrat în sistemul de neuronavigație (figura 3.16). Avansarea burghiului strict până la adâncimea planificată este asigurată de către un mecanism de stopare, cu care este dotat ghidul. În cazul traiectului CoPd, profunzimea de penetrare a osului este de obicei setată la 30 - 35 mm. La această etapă este necesară rezecția parțială a apofizei spinoase pentru a permite o angulare laterală suficientă a ghidului tubular.

Canularea pediculelor este realizată de obicei anterior de decompresia osoasă. Manoperele de decompresie osoasă pot duce la modificarea rapoartelor între structurile osoase și la strămutarea cadrului de referință, ce poate rezulta în alterarea preciziei neuronavigației. Deoarece tehnica de osteosinteză elaborată de echipa noastră presupune ghidarea imagistică intraoperatorie a instrumentelor exclusiv doar prin neuronavigație și necesitatea păstrării structurilor osoase posterioare în caz de o eventuală necesitate de înregistrare repetată, este preferabilă efectuarea canulării pediculelor până la decompresia osoasă, cu inserția șuruburilor CoPd după finisarea decompresiei și a artrodezei intersomatice.

Balansarea coloanei vertebrale apărută în timpul canulării manuale a pediculelor poate duce la apariția erorilor de localizare spațială a instrumentului chirurgical de către sistemul de neuronavigație rezultate din mișcarea indezirabilă a vertebrelor în raport cu sistemul de referință, micșorând astfel precizia procedurii de ghidare. Această complicație poate fi evitată prin utilizarea drill-urilor electrice sau a bormașinii, ce exclude necesitatea aplicării presiunii de-a lungul instrumentului în timpul preparării pediculelor (figura 17).

Din cauza penetrării țesutului osos cortical foarte dens din regiunea pars interarticularis, canularea pediculelor pe traiect CoPd prin impactarea cu ciocanul a sondei Lenke (precum în cazul tehnicilor Tpd tradiționale) nu este recomandată deoarece poate duce la fracturarea istmului și la alterarea preciziei neuronavigației în urma dislocării cadrului dinamic de referință.

La această etapă este rezonabilă amânarea inserției șuruburilor CoPd. Din cauza traiectului medio-lateral, capul de șurub se va afla aproape de linia medie și poate incomoda în timpul decompresiei osoase, a disectomiei și în special în timpul inserției cuștii intersomatice. În plus, impactul capului șurubului cu baza apofizei spinoase poate duce la dislocarea șurubului în timpul inserției și la fracturarea istmului sau a pediculului. Din aceasta cauză, este rațională realizarea decompresiei osoase până la inserția șuruburilor sau utilizarea șuruburilor cu cap atașabil.

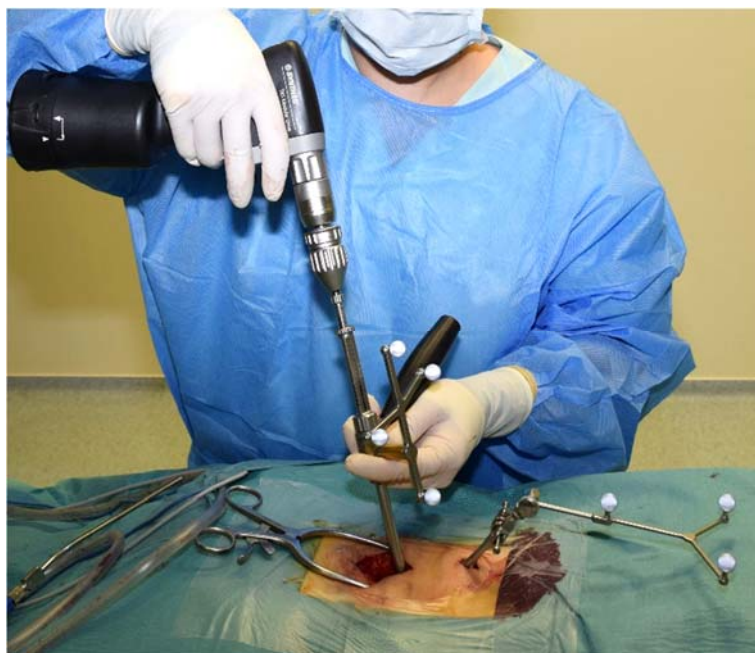


Figura 17. Canularea pediculelor cu ajutorul burghiului electric ghidat de neuronavigație

După evaluarea repetată a integrității pereților, în canalul cortico-pedicular creat este plasat un marker metallic, care va permite identificarea sa rapidă la etapele ulterioare (decompresia osoasă, implantarea șuruburilor). Din cauza traiectului medio-lateral, markerii metalici utilizați în operațiile tradiționale de artrodeză pot surplomba în câmpul de lucru și pot incomoda acțiunile chirurgului. Pentru a depăși aceste neajunsuri, au fost perfecționați markerii, dându-le forma de crosă de hochei. Acest design al markerilor pediculari permite evitarea interferenței cu instrumentele chirurgicale (figura 18).

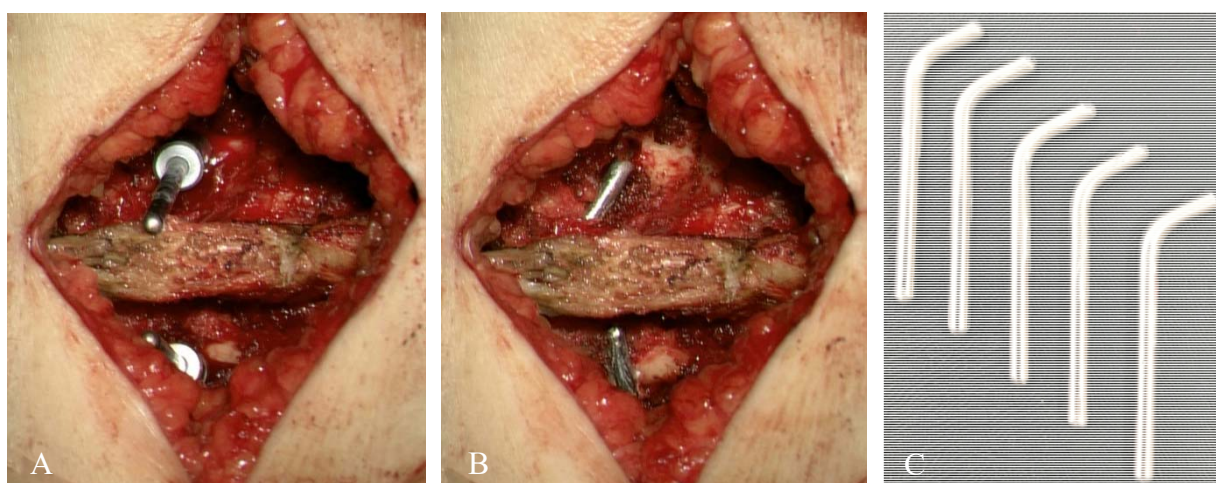


Figura 18. Markerii tradiționali se suprapun cu linia medie și incomodează acțiunile chirurgului (A). Markerii în forma de crosă (C) ocupă o poziție optima, fără să interfereze cu instrumentele chirurgicale (B).

În caz de utilizare a tehnicii bazate pe ghidajul fluoroscopic, identificarea punctului inițial de inserție se efectuează pe imaginile în proiecție antero-posterioară (AP). Brațul fluoroscopului este poziționat astfel ca să fie obținută o proiecție AP „veritabilă”, când platourile vertebrei nu se dublează, dar confluează într-o singură linie, iar apofiza spinoasă este centrată pe mijlocul vertebrei. Dacă ne imaginăm ca ovalul proiecției pediculului este cadranul unui ceasornic, punctul optimal de inserție este localizat la ora 5:00 pentru pediculul stâng și ora 7:00 pentru pediculul drept. Canularea se efectuează cu ajutorul unui drill electric cu diametrul de 2 mm, în direcția unui punct care corespunde orei 11:00 pentru pediculul stâng și orei 1:00 pentru pediculul drept. În afară de incidența AP, este obligatorie ajustarea unghiului cranio-caudal a traiectului burghiului în proiecție laterală a fluoroscopiei, pentru a evita penetrarea în foramenul neural (figura 19). Pe parcursul canulării, se fac pauze frecvente pentru a confirma poziția burghiului în țesutul osos cortical prin tapotarea planșeului canalului cu vârful instrumentului. Se avansează lent până la o profunzime de 25 - 30 mm. După examinarea integrității pereților osoși ai canalului CoPd format, se introduce un marker pilot sau se efectuează tarodarea pediculului cu un filet de 5,5 mm.

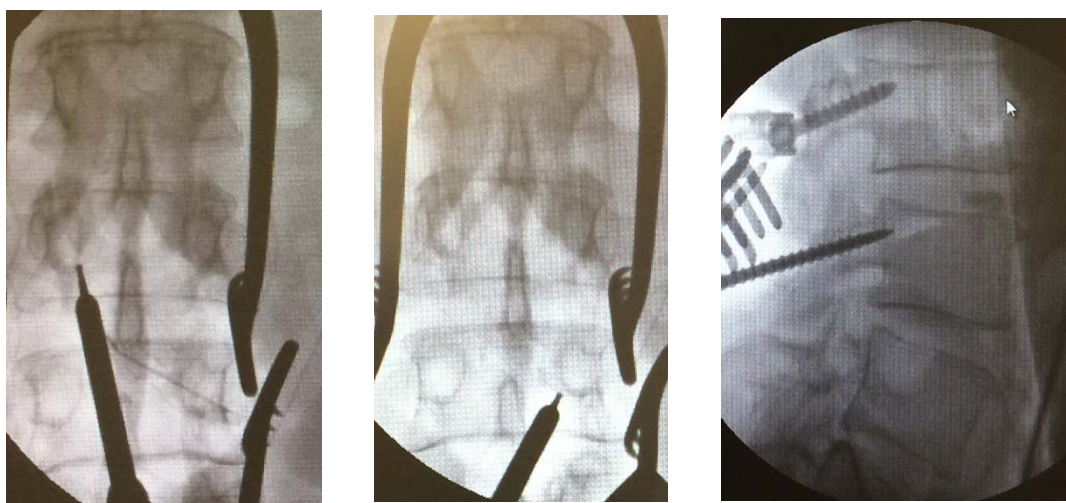


Figura 19. Canularea pediculelor pe traiect CoPd ghidată radiosopic

Monitoringul neurofiziologic poate fi utilizat cu succes pentru identificarea timpurie a perforației pereților pediculari în urma canulării sau a inserției șuruburilor.

Electromiografia (EMG) continuă a mușchilor inervați de rădăcinile nervoase considerate a fi supuse riscului de leziune, este monitorizată începând cu etapa de canulare a pediculelor. Traumatismul mecanic al rădăcinii nervoase determină o depolarizare a membranei neuronale, care va fi transmisă de-a lungul joncțiunii neuromusculare și va evoca potențiale de unitate motorie în mușchii monitorizați. Manipulațiile minore ale rădăcinii nervoase vor rezulta în descărcări electrice scurte ale potențialelor de unitate motorie. Leziunile mai severe ale rădăcinilor nervoase vor cauza apariția unor lanțuri prelungite de potențiale de unitate motorie cu frecvență înaltă

(descărcări neurotonice). Identificarea acestei activități EMG anormale avertizează chirurgul despre riscul unei traume inadvertente ale structurilor nervoase și permite realizarea unor acțiuni orientate spre a preveni leziunile nervoase mai severe sau ireversibile (ex. ajustarea traiectului transpedicular, re poziționarea șurubului, diminuarea retractoriei nervoase,).

Sistemul de monitoring neurofiziologic permite identificarea intraoperatorie în timp real a malpoziției șuruburilor pediculare, prin intermediul EMG evocate. Canalul transpedicular sau șurubul care a perforat peretele osos al pediculului, se va afla în nemijlocită apropiere de rădăcina nervoasă adiacentă, iar stimularea electrică directă va evoca răspunsuri EMG în mușchii miotomului corespunzător.

Canalele transpediculare și șuruburile pediculare sunt testate cu ajutorul stimulatorului electric monopolar. Stimularea electrică constă din stimuli catodici monopolară cu durata de 0,2 ms și frecvența de 2 Hz. Stimulatorul este introdus direct în canalul pedicular imediat după canulare. Șuruburile sunt testate prin atingerea cu stimulatorul a știftului sau a capului de șurub. Este important ca șurubul să nu contacteze cu țesuturile moi.

Inițial fiecare canal transpedicular și apoi fiecare șurub pedicular sunt testate cu ajutorul unui curent electric cu intensitatea de 7 – 10 mA. Dacă răspunsurile EMG nu sunt evocate la această intensitate a curentului, canalul sau șurubul este considerat a fi sigur. Dacă totuși răspunsurile EMG au fost evocate, intensitatea curentului este diminuată progresiv cu scopul de evaluare a pragului de stimulare. Șuruburile și canalele TPd cu un prag de stimulare mai jos de 4 mA urmează a fi obligator re poziționate. Șuruburile cu un prag de stimulare între 4 și 6 mA sunt considerate a fi suspecte și necesită o inspecție mai atentă, spre exemplu prin laminectomie și palparea peretelui pedicular medial.

În cazul utilizării neuronavigației, care oferă o siguranță foarte înaltă de inserție a șuruburilor pediculare, folosirea monitoringului neurofiziologic devine opțională, mai ales după finalizarea curbei de învățare a tehnicii CoPd.

Pasul 9: Decompresionarea osoasă.

Expoziția spațiului intervertebral începe mai superficial, prin rezecția structurilor osoase posterioare: apofiza spinoasă, lamina posterioară și fațetele articulare. La această etapă ligamentul galben nu este încă înlăturat, pentru a proteja dura mater în timpul decompresionării osoase. Fațetele articulare inferioare ale vertebrei superioare sunt cele mai superficiale structuri osoase din câmpul operator și sunt înlăturate cu ajutorul ciupitorului sau a drill-ului. În dependență de tipul artrodezei intersomatice, fațetectomia poate fi bilaterală (parțială sau totală) în caz de spondiloză posterioară (PLIF) sau unilaterală totală în caz de spondiloză transforaminală (TLIF). După

rezeecția fațetei articulare inferioare, este identificat conturul neted al suprafeței articulare superioare. Rezeecția fațetei superioare a vertebrei inferioare începe din medial spre lateral, în direcția neuroforamenului, cu ajutorul ciupitorului Kerrison. Fragmentele înlăturate de țesut osos sunt păstrate pentru a fi folosite în calitate de autogrefă la etapa fuziunii intersomatice.

Dura mater este vizualizată după înlăturarea ligamentului galben și a țesutului adipos epidural. Decompresia este considerată suficientă după palparea pereților osoși ai pediculului inferior cu ajutorul elevatorului Woodson.

O atenție deosebită este oferită rezeecției apofizei articulare superioare a vertebrei distale. Osteotomia excesivă poate duce la deteriorarea și slăbirea peretelui superior al pediculului canalat. Aceasta la rândul său poate cauza fracturarea pediculului în timpul inserției șurubului sau a manevrelor de corijare a diformității, cu propagarea liniei de fractură la nivelul joncțiunii dintre *pars interarticularis* și pedicul. De asemenea, este foarte importantă rezeecția adecvată a bazei apofizei spinose a vertebrei caudale, deoarece impactul acesteia cu capul șurubului în timpul inserției poate duce la fractura istmului și a pediculului.

Pasul 10: Artrodeza intersomatică.

Artrodeza intersomatică MIDLIF presupune de facto realizarea unei fuziuni intervertebrale de tip PLIF (cu 2 cage-uri) sau TLIF (cu un singur cage), care este combinată cu rahisinteza posterioară cu șuruburi cortico-pediculare, cu scop de a ameliora reușita fuziunii. Din acest motiv, această etapa nu se deosebește esențial de tehnica tradițională.

Cu ajutorul unui depărtător radicular, dura mater este dislocată în direcție medială. Plexul venos epidural localizat la marginea laterală a canalului vertebral este de obicei hipertrofiat din cauza stazei venoase cronice. Pentru a preveni hemoragia excesivă se utilizează o combinație între coagularea bipolară și compresia delicată a venelor epidurale cu ajutorul benzilor de bumbac sau oxixeluloză (ex. „Surgicel”). După coagulare plexul venos epidural este incizat pentru a facilita manipularea rădăcinii nervoase și a sacului dural. Retracția sacului dural peste linia medie a canalului vertebral poate duce la leziuni nervoase ireversibile și prin urmare trebuie evitată. Un orificiu rectangular este creat în inelul fibros al DIV cu ajutorul bisturiului. Accesul în spațiul discal este lărgit în direcție laterală cu ajutorul ciupitorului Kerrison. Rădăcina nervoasă emergentă este protejată prin mobilizarea țesutului adipos (care înconjoară rădăcina) în direcție laterală cu ajutorul retractorului radicular și păstrarea lui în această poziție pe durata manipulațiilor în recesul lateral.

În continuare, dacă se dorește inserția a 2 cuști intersomatice după modelul artrodezei intersomatice posterioare (PLIF), un acces similar în inelul fibros este creat de partea

controlaterală. Ulterior, spațiul discal este lărgit treptat cu ajutorul dilatoarelor secvențiale. Dilatatoarele sunt introduse orizontal în spațiul discal și sunt apoi rotite la 90° pentru a expanda spațiul dintre vertebre.



Figura 20. Identificarea intrării în spațiul discal și a traiectului optim de inserție a cuștii intersomatice cu ajutorul neuronavigației în caz de colaps al DIV

Dacă inițial spațiul discal este prea îngust și nu poate fi identificat palpator sau vizual, este foarte utilă folosirea neuronavigației. Cu ajutorul sondei de neuronavigație se determină intrarea în spațiul discal și angularea optimală a dilatorului de-a lungul axei DIV pentru a preveni penetrarea accidentală în corpul vertebral (figura 20). O altă opțiune este identificarea interspațiului cu ajutorul fluoroscopiei în proiecție laterală.

În caz de dilatare excesivă a spațiului discal apare riscul de ruinare a plăcilor terminale. Obiectivele de restabilire a lordozei și decompresie a rădăcinilor nervoase sunt realizate mai eficient prin intermediul unei foraminotomii adecvate. Inserția unei cuști prea înalte are multe dezavantaje: crește gradul de refracție a rădăcinii nervoase, se mărește spațiul dintre plăcile vertebrale care urmează să fuzioneze și respectiv crește volumul grefei osoase necesare pentru a umple interspațiul. Dimpotrivă, o cușcă prea mică poate duce la stabilizarea insuficientă a segmentului vertebral și la eșuarea artrodezei.

După dilatarea interspațiului până la 10 sau 12 mm (mai rar 14 mm), un șever (eng. shaver) cu 2 mm mai mic decât ultimul dilator folosit, este inserat orizontal în spațiul discal și este rotit câteva ture pentru a separa cartilajul de placa osoasă. Această manevră decolează plăcile cartilajinoase de plăcile osoase, ce va permite îndepărtarea rapidă și completă a materialului discal și va pregăti pentru artrodeză interspațiul vertebral. La această etapă se impune o atenție deosebită de a nu deteriora plăcile terminale osoase cu șeverele ascuțite.

Discectomia este finisată cu ajutorul chiuretelor și a forcepsului hipofizar (conhotomului). Este important de a nu avansa chiuretele prea profund, deoarece inelul fibros în partea anterioară

a DIV este uneori fisurat, în special la pacienții cu spondilolistezis. Penetrarea inelului fibros poate duce la complicații catastrofale, cum ar fi lezarea vaselor sangvine magistrale sau a organelor interne. După îndepărtarea minuțioasă a materialului discal, dilatatorul este reaplicat în spațiul intervertebral. Partea controlaterală a DIV este preparată pentru fuziune în același mod.

La această etapă segmentul vertebral este destabilizat sever. Dimensiunile dispozitivului de fuziune potrivite spațiului discal sunt identificate prin inserția secvențială a mulajelor cuștii intervertebrale. După asigurarea protecției sacului dural și a rădăcinii nervoase, o cușcă din PEEK sau titan, umplută cu autogrefa osoasă locală, este implantată în spațiul discal (figura 21). Dilatatorul intervertebral este înlăturat din partea controlaterală. Autogrefa osoasă locală este mărunțită cu ajutorul ciupitoarelor și este impactată în mijlocul spațiului discal. În final, a doua cușcă este inserată controlateral de prima. Resturile de autogrefă pot fi aplicate în jurul cuștilor, pentru a umple maximal posibil cu țesut osos spațiul dintre vertebre. Foramenul neural și linia medie sub sacul dural sunt inspectate pentru a exclude reculul grefei osoase în canalul vertebral sau în foramen.

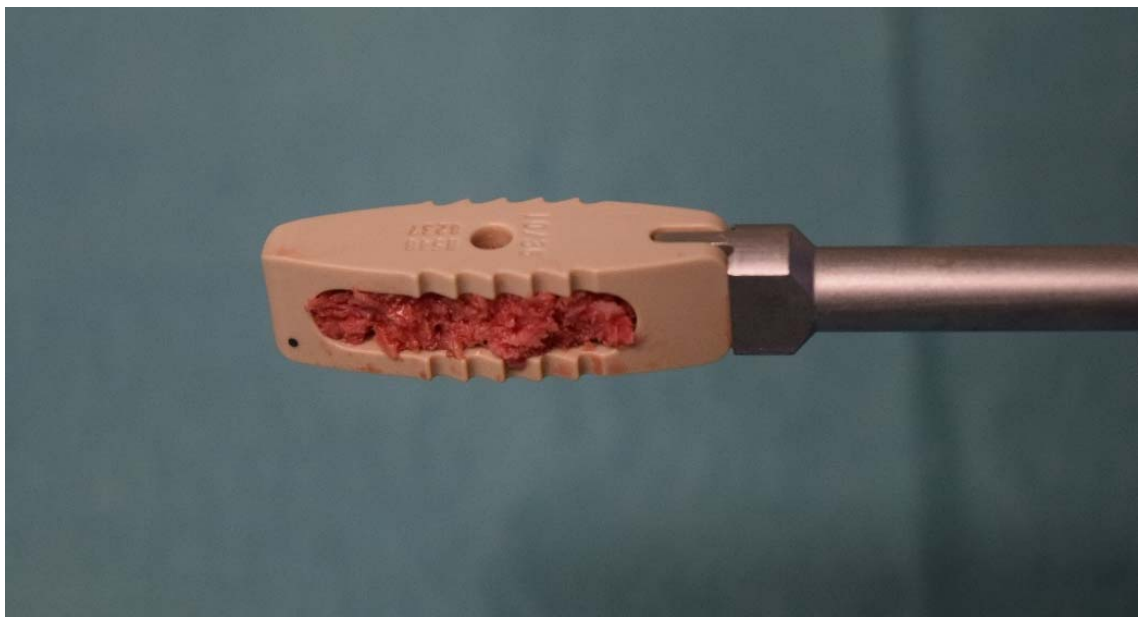


Figura 21. **Cușcă intersomatică din PEEK umplută cu autogrefă osoasă locală**

Cuștile intersomatice sunt plasate maximal de lateral în interiorul spațiului discal, necesitând o retrație minimală a structurilor nervoase. Localizarea cuștilor în apropiere de inelul apofizeal (apofiza inelară), care este un centru secundar de osificare al platoului vertebral și este format din țesut cortical mai dens, micșorează teoretic riscul de subsidență a implanturilor.

În caz dacă autogrefa locală prelevată din structurile osoase înlăturate în timpul laminectomiei nu este suficientă, ea poate fi combinată cu granule de hidroxiapatită. Desigur este

posibilă utilizarea autogrefei de *crista iliaca*, dar această procedură sporește cu mult traumatismul intervenției chirurgicale, atenuând astfel avantajele abordului minimal invaziv.

O alternativă pentru tehnica de artrodeză PLIF cu 2 cuști intersomatice paralele, este tehnica de artrodeză TLIF, cu un singur dispozitiv de fuziune intervertebrală.

Artrodeza intersomatică transforaminală (TLIF) presupune înlăturarea completă a unei articulații zigapofizare. Fațetectomia totală începe cu rezecția fațetei articulare inferioare a vertebrei localizate cranial de spațiul discal protezat. După aceasta, fațeta articulară superioară a vertebrei localizate caudal de DIV este rezecată cu ajutorul ciupitorului Kerrison. Până a iniția discectomia, este efectuată inserția șuruburilor CoPd pe partea controlaterală. Zona de lucru în cazul spondilozinzei transforaminale este limitată medial de sacul dural și rădăcina nervoasă în pasaj, superior - de rădăcina nervoasă emergentă, inferior - de platoul vertebrei localizate caudal de DIV (triunghiul Kambin) și lateral – de spațiul extraforaminal. Discectomia și prepararea spațiului discal este aceeași ca și în artrodeza PLIF, doar că toate manipulațiile se fac uni-portal. După dilatarea secvențială a spațiului discal, dilatatorul final este avansat cât mai departe controlateral după care este rotit la 90°. Pentru a menține această dilatare a DIV, se aplică provizoriu tija de titan și piulițele pe șuruburile CoPd amplasate controlateral de fațetectomie.

Indiferent de tipul și forma cuștii intersomatice (forma rectangulară, de glonț / formă de banană), ea trebuie plasată cât mai anterior și mai medial în interiorul spațiului discal. Pentru a obține așa o poziție a cuștii, se efectuează o manevră de rotație *in situ*. La început inserția cuștii este efectuată perpendicular față de coloana vertebrală a pacientului, iar mai apoi mânerul instrumentului port-cușcă este culcat lateral pentru a direcționa implantul în partea anterioară și medială a DIV. Spațiul liber posterior și lateral de cușcă este umplut cu autogrefă osoasă locală. Pentru a preveni reculul grefei osoase în canalul vertebral, defectul în inelul fibros al DIV poate fi ermetizat cu ajutorul unui dop improvizat, preparat dintr-un fragment de autogrefă osoasă de dimensiunile potrivite. Este acceptabilă și varianta de poziționare oblică a cuștii intersomatice, care oferă caracteristici biomecanice similare cu cele ale construcțiilor PLIF, dar limitează manevrele de corecție a lordozei lombare (nu este recomandată dacă se dorește restabilirea lordozei).

Cel mai frecvent utilizată de noi a fost tehnica de artrodeză MIDLIF cu o singură cușcă intersomatică, inserată pe traiect oblic transforaminal (TLIF), cu rotație intra-discală a cuștii. Această metodă a fost preferată în special în caz de prezență a sindromului radicular unilateral, deoarece a permis evitarea manipularilor rădăcinii nervoase controlaterale pentru inserția cuștii și respectiv apariția postoperatorie a radiculopatiei în piciorul care era asimptomatic până la operație. Tehnica de artrodeză cu 2 cuști intersomatice de tip PLIF a fost preferată în caz de intervenție la

nivelul joncțiunii lombo-sacrale L5-S1, din cauza particularităților anatomice și biomecanice ale acestui segment.

La necesitate, confirmarea poziției implantului intersomatic este obținută cu ajutorul fluoroscopiei intraoperatorii.

Pasul 11: Tarodarea pediculelor pe traiect CoPd

După canularea pediculelor pe traiect transcortical, integritatea pereților osoși este testată prin palpare cu o sondă butonată. În caz de perforare a unuia din pereții pediculari, traiectul urmează a fi modificat. Pentru a fi posibilă acomodarea unui șurub de 5,5 mm, canalul osos CoPd creat este lărgit și filetat cu ajutorul unui tarod de același diametru ca șurubul (5,5 mm). Spre deosebire de tehnica Tpd clasică, unde se recomandă prepararea finală a pediculului cu un tarod de diametru mai mic decât diametrul șurubului, în fixarea CoPd se recomandă de utiliza un tarod de dimensiuni identice cu cele ale șurubului, pentru a preveni fractura istmului (figura 22).

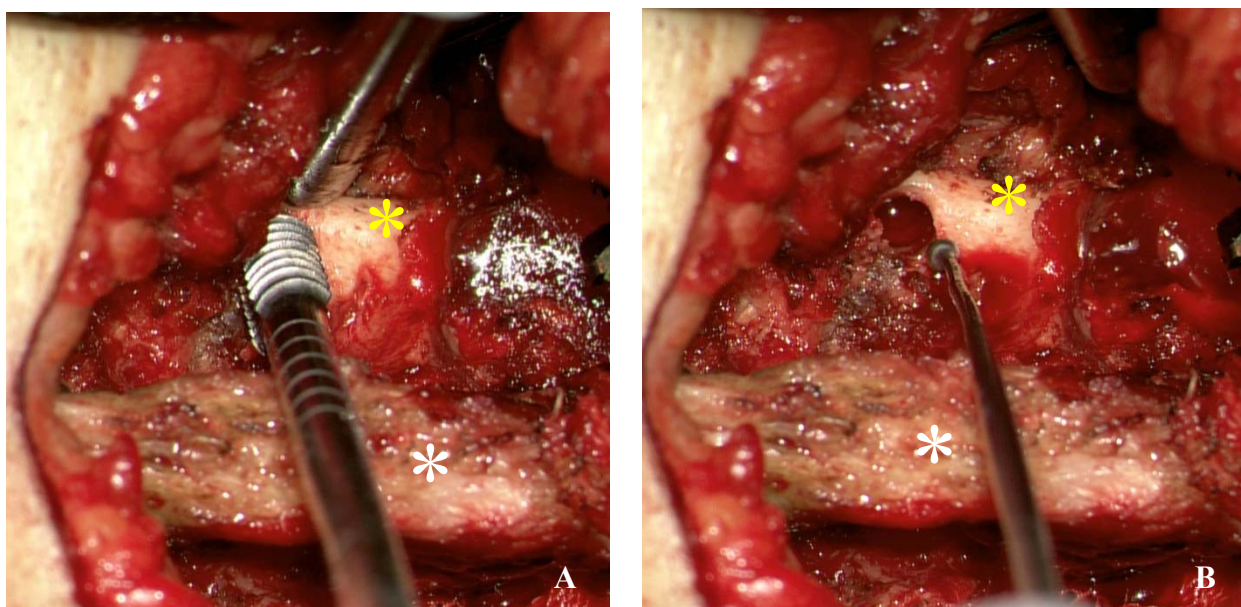


Figura 22. Tarodarea pediculelor pe traiect CoPd (A). Palparea integrității pereților pediculari (B). Asterix alb – apofiza spinosă pe linia medie. Asterix galben – marginea laterală a istmului.

Pasul 12: Rahisinteza CoPd.

După realizarea artrodezei intersomatice și a hemostazei, șuruburile poliaxiale de 5,5 x 30 mm sunt inserate în canalele cortico-pediculare preparate anterior cu ajutorul tarodului.

Deoarece canalul CoPd creat are dimensiuni identice cu cele ale șurubului, riscul ca șurubul să devieze de la traiectul planificat în timpul inserției sale este minimal. După confirmarea repetată a direcției canalului osos CoPd prin intermediul sondei de neuronavigație, chirurgul memorizează poziția spațială a sondei pentru traiectul optimal și în final inserează șurubul pe acest traiect.

Omiterea etapei de înregistrare în sistemul de neuronavigație și calibrare a instrumentului port-șurub permite micșorarea considerabilă a timpului chirurgical.

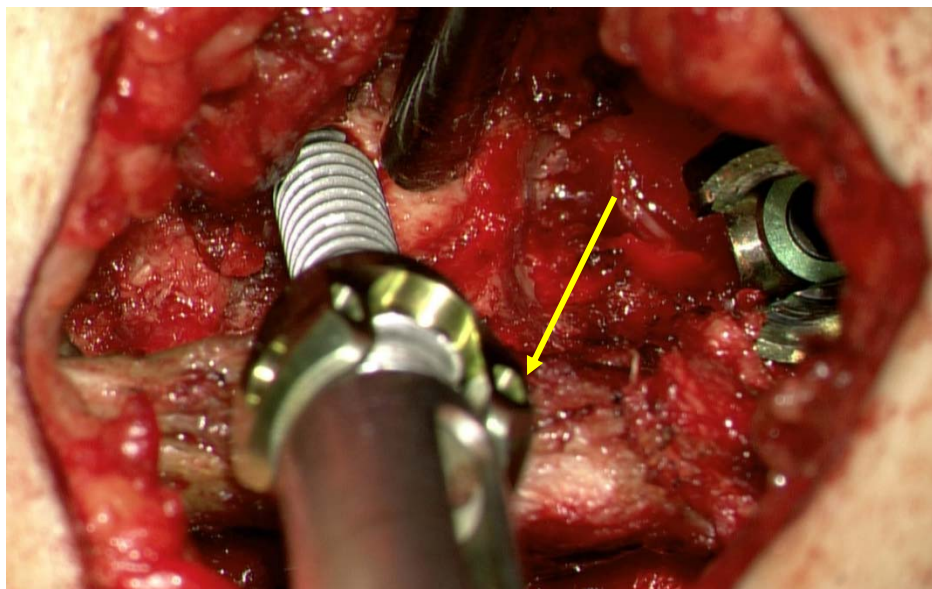


Figura 23. **Impactul capului de șurub cu apofiza spinoasă**

Dacă apofiza spinoasă până la această etapă nu a fost rezecționată, ea poate prezenta un obstacol pentru capul șurubului în timpul inserției și urmează a fi înlăturată parțial (figura 23).

Pentru șuruburile pediculare sacrale a fost folosită tehnica de penetrare a plăcii terminale S1, descrisă de Matsukawa. Punctul inițial de inserție este identificat cu ajutorul sondei de neuronavigație, la aproximativ 4 mm superior de marginea primului foramen sacral sau la 3 mm caudal de marginea inferioară a apofizei articulare inferioare L5. Șuruburile sunt poziționate vertical în plan axial, fiind paralele între ele și sunt angulate cranial în plan sagital, până la penetrarea mijlocului plăcii terminale a vertebrei sacrale S1. La acest nivel se utilizează șuruburi cu diametru mai mare, de obicei 7,5 mm și o lungime de 35 - 40 mm.

După inserția șuruburilor, poziția acestora poate fi evaluată cu ajutorul fluoroscopiei intraoperatorii și a stimulării electrice directe.

Se ajustează lungimea tijelor de titan prin tăierea lor cu ajutorul unui dispozitiv specializat. După modelarea și aplicarea tijelor posterioare pe șuruburile CoPd, se fixează piulițele pe șuruburile proximale. În continuare se aplică o compresie manuală de-a lungul complexului tijă-șurub, pentru restabilirea lordozei lombare la nivelul segmentului fuzionat. Menținând compresia, se fixează definitiv piulițele pe șuruburile distale (figura 24). Fragmentele restante de autogrefă osoasă se aplică pe suprafețele decorticate lateral de construcția metalică.

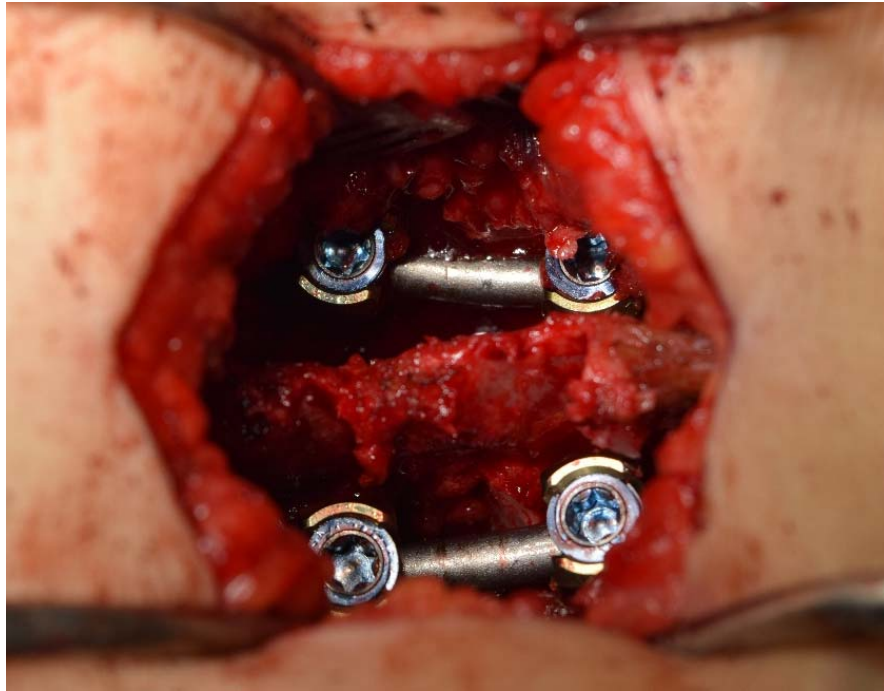


Figura 24. Aspectul final al construcției de osteosinteză CoPd după aplicarea tijelor și a piulițelor pe șuruburi

Variații ale tehnicii de fixare cu șuruburi CoPd

1. Traiectul paralel al șuruburilor CoPd caudale: Din cauza particularităților anatomice ale laminei L5, cum ar fi orientarea mai verticală față de axul coloanei vertebrale și regiunea istmică îngustă, realizarea traiectului CoPd este tehnic dificilă. Adeseori este necesară rezecția parțială a laminei L5 și a apofizei spinoase L5, ceea ce poate duce la destabilizarea segmentului L5-S1, subiacent nivelului L4-L5 fuzionat. În plus, pentru inserția șuruburilor în pediculele L5 pe un traiect CoPd veritabil, în caz de artrodeză L4-L5, este necesară prelungirea inciziei în direcție caudală. Pentru a depăși aceste dificultăți, este posibilă utilizarea unei tehnici alternative de inserție a șuruburilor, similară metodei descrise de Roy-Camille, pe un traiect vertical și paralel cu axul AP al vertebrei, folosind un punct de intrare localizat mai superior de punctul CoPd standard, la intersecția *pars interarticularis* cu apofiza transversă și apofiza articulară superioară (figura 25). Acest traiect poate acomoda un șurub de dimensiuni mult mai mari decât șuruburile CoPd obișnuite (diametru de 6,5 – 7,5 mm și lungime de 35 – 45 mm), cu proprietăți biomecanice superioare.

Tehnica descrisă este valabilă și pentru șuruburile CoPd inserate în vertebra L4 în caz de artrodeză intersomatică L3-L4.

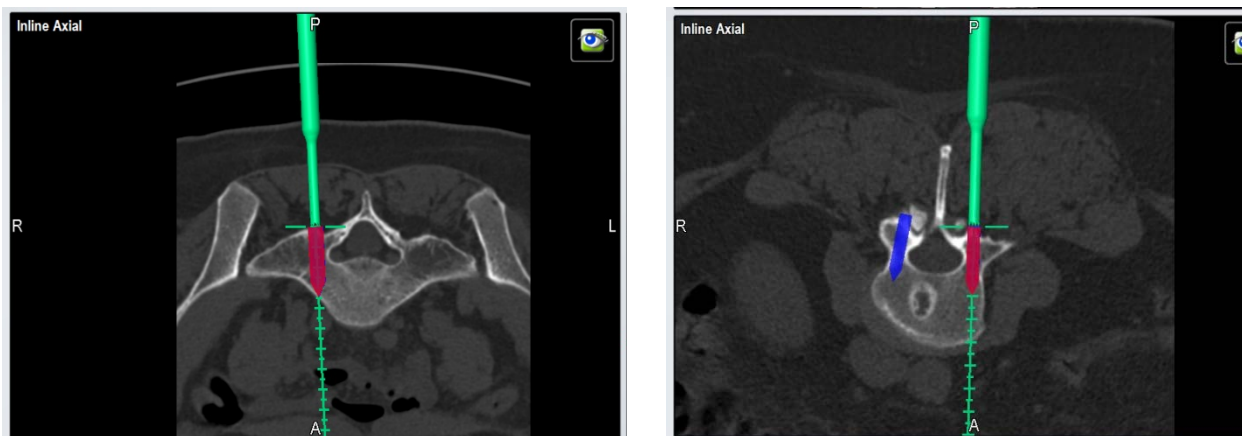


Figura 25. Traiect CoPd modificat: vertical și paralel

2. Traiectul trans-fațetar al șuruburilor CoPd caudale: O altă alternativă pentru șuruburile CoPd distale este inserția printr-un punct de intrare localizat în cuadrantul superior – medial al pediculului, pe suprafața articulară a apofizei superioare a vertebrei distale (tehnica hibrid). Șurubul traversează țesutul osos dens subcondral al apofizei articulare superioare și penetrează pediculul din direcție medială în direcție laterală, fără de a respecta angularea caudo-cranială specifică traiectului CoPd standard (figura 26). Neajunsul acestei tehnici constă în faptul că tulipele șuruburilor de la nivelul cranial sunt localizate foarte aproape de cele a șuruburilor caudale, restricționând astfel manevrele de corijare a lordozei lombare.

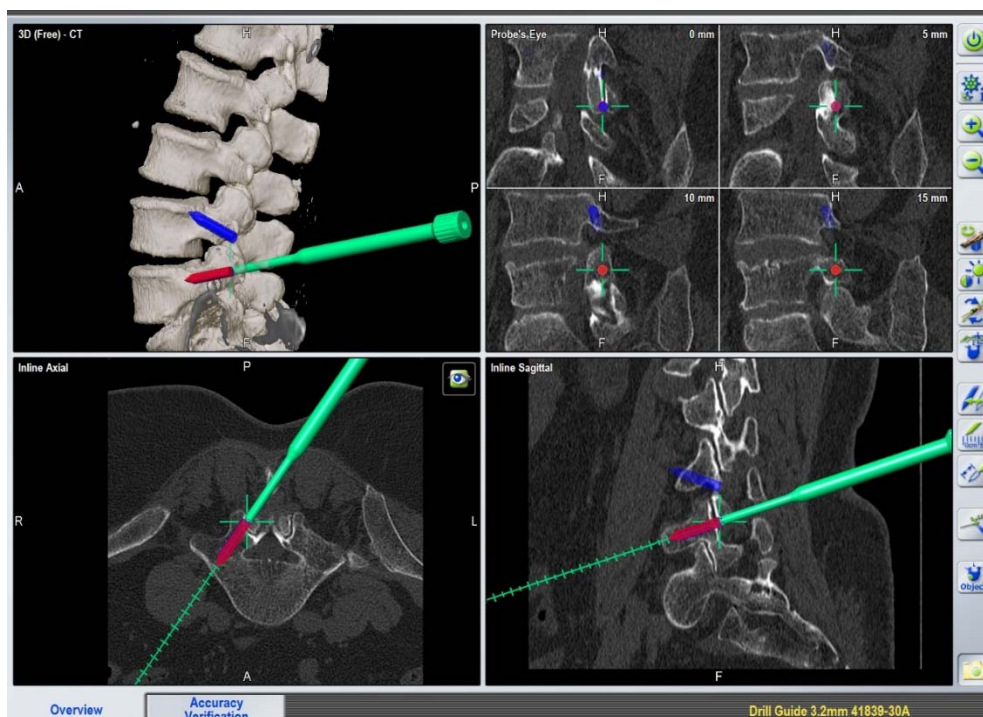


Figura 26. Traiect CoPd modificat: trans-fațetar

Pasul 13: Închiderea plăgii. După obținerea unei hemostaze adecvate, plaga este irigată cu soluție salină izotonică. De obicei un singur dren tubular este plasat în plagă, al cărui capăt distal este tunelizat subcutanat și exteriorizat prin contraincizie. Închiderea etajată a plăgii începe cu aponevroza, urmată de țesutul adipos și stratul dermic. Închiderea pielii se finisează prin suturarea intradermică continuă a pielii cu fir 3.0 - 4.0 resorbabil sau prin aplicarea suturilor separate pe piele cu fir 2.0 - 3.0 neresorbabil (Figura 27).

Drenul este conectat la un vas colector cu presiune negativă.



Figura 27. Plaga postoperatorie suturată

După aplicarea pansamentului steril, se obțin radiografiile ale coloanei vertebrale în 2 proiecții, pentru a confirma alinierea și poziționarea adecvată a implanturilor spinale (figura 28).

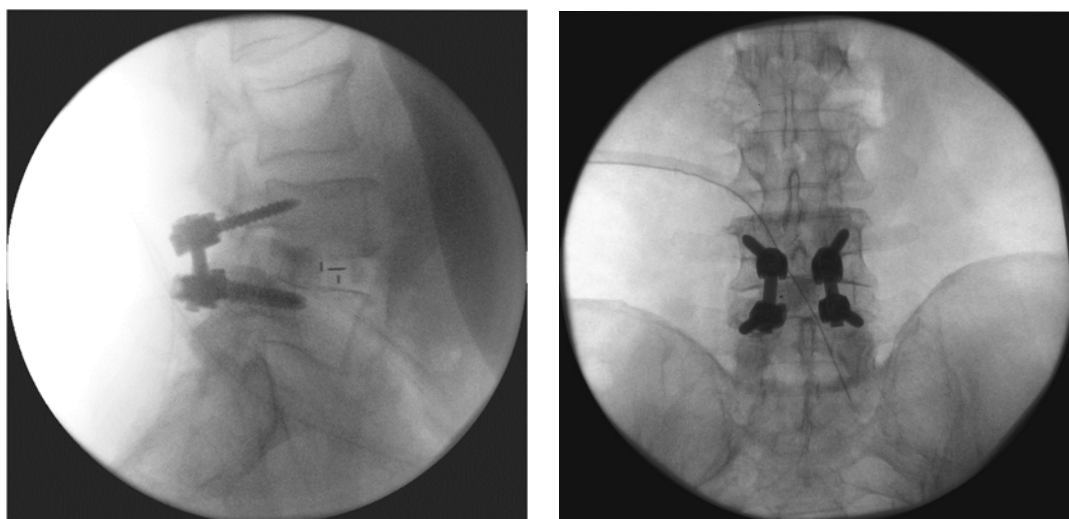


Figura 28. Control radiologic final al poziției implanturilor

Pacientul este transferat ulterior în secția de Terapie Intensivă pentru supraveghere postanestezică.

4. EVALUAREA EFICACITĂȚII TRATAMENTULUI CHIRURGICAL

Rezultatele studiului

Caracteristica pacienților

O sută douăsprezece (112) pacienți au fost repartizați în mod aleatoriu în unul din loturile de cercetare: lotul de control L₀ (56 pacienți) și lotul de studiu L₁ (56 pacienți). Pacienții din ambele loturi erau similari în privința caracteristicilor demografice cum ar fi vârsta, sexul, statutul de fumător, înălțime, greutate, IMC, patologia lombară și bolile sistemice asociate (p>0.05) (tabelul 2 și 3).

Tabelul 2. Datele demografice pentru pacienții din loturile de studiu

Date demografice	Parametrii	Lotul L ₀ (n=56)	Lotul L ₁ (n=56)	χ^2 , gl = 1, p
Vârsta (ani)	Media	50.98	47.38	0.83
	DS	9.06	10.67	
	Mediana	51.00	43.00	
	IIQ	14	19	
Înălțimea (cm)	Media	168.75	170.54	0.642
	DS	8.3	7.12	
	Mediana	168.0	170.0	
	IIQ	11	10	
Greutatea (kg)	Media	81.45	80.52	0.546
	DS	15.39	14.581	
	Mediana	80.0	79.0	
	IIQ	24	20	
IMC (kg/m ²)	Media	28.48	27.67	0.213
	DS	5.07	4.58	
	Mediana	27.65	27.31	
	IIQ	5.55	6.23	

De asemenea, loturile au fost omogene ce ține de valoarea preoperatorie a scorurilor VAS pentru durerea lombară și pentru durerea radiculară iradiantă, a scorului ODI, cât și a componentelor PCS și MCS ale scorului SF-12 (Anexa 7).

Tabelul 3. Omogenitatea loturilor de studiu

Parametri	Lotul L ₀ (n=56)		Lotul L ₁ (n=56)		x ² , p
Sex, bărbați : femei	25 : 31	44.6% : 55.4%	21 : 35	37.5% : 62.5%	0.565
Fumători	10	17.9%	9	16.1%	0.801
Diabet zaharat (tip 2)	4	7.14%	2	3.57%	0.427
Hepatită virală (HBV, HCV)	7	12.5%	4	7.14%	0.378
Nivelul operat					0.161
L2-L3	1	1.78%	0	0	
L3-L4	4	7.14%	5	8.9%	
L4-L5	25	44.64%	35	62.5%	
L5-S1	26	46.42%	16	28.57%	

Măsurarea rezultatului primar. Rata de fuziune.

Gradul de reușită a artrodezei a fost apreciat în baza reconstrucțiilor tomografiei computerizate cu secțiuni fine. La 1 an postoperator 47 de pacienți (83.9%) în lotul L₀ și 50 de pacienți (89.3%) din lotul L₁ au prezentat o fuziune intersomatică solidă, de gradul 3 conform clasificării Brantigan and Steffee (BSF). O fuziune solidă la nivelul platourilor vertebrale asociată cu o zonă orizontală de radiolucentă prin mijlocul cage-ului sau al spațiului intervertebral, care corespunde gradului BSF-2 („pseudartroză blocată”), a fost observată la 9 pacienți (16.1%) din lotul L₀ și 6 pacienți (10.7%) din lotul L₁. Nici un caz de pseudartroză veritabilă (BSF-1) nu a fost confirmat radiologic în vreunul din loturile de studiu (tabelul 4).

Diferența dintre rata de fuziune intersomatică între loturi nu a fost statistic semnificativă, valoarea p fiind mult mai mare de 0.05 atât pentru testul Pearson Chi-Square (p = 0.405) cât și pentru testul Fisher Exact (p = 0.580).

Tabelul 4. Rata de reușită a fuziunii intersomatice

Gradul de fuziune	Lotul L ₀		Lotul L ₁		x ² , gl = 1, p	Fisher exact
Pseudartroză BSF-1	0	0	0	0	p = 0.405	p = 0.580
Pseudartroză blocată BSF-2	16.1%	9	10.7%	6		
Fuziune solidă BSF-3	83.9%	47	89.3%	50		

Măsurarea rezultatelor secundare

Scorul VAS pentru durerea de spate la 1 an postoperatoriu a fost semnificativ mai jos decât nivelul preoperatoriu în ambele loturi, scorul mediu diminuând de la 7.18 ± 2.22 pre-op la 3.48 ±

1.57 la 1 an post-op în lotul L₀ și de la 7.3 ± 1.9 la 1.82 ± 1.34 în lotul L₁. Scorul VAS pentru durerea de spate a fost semnificativ mai mic în lotul L₁ (p < 0.001) la 1 an după operație (figura 4.1). De asemenea, scorul VAS al durerii lombare a fost semnificativ mai mic în lotul L₁ comparativ cu lotul L₀ la 1 lună și 6 luni postoperatoriu (p<0.05), dar această diferență nu a fost identificată și la 3 luni post-op (Anexa 8).

La fel și scorul VAS pentru durerea iradiantă în membrele inferioare s-a ameliorat semnificativ în ambele loturi, scorul mediu diminuând de la 7.34 ± 2.08 preoperatoriu la 2.27 ± 1.61 la 1 an postoperatoriu în lotul L₀ și de la 7.54 ± 2.18 preoperatoriu la 0.73 ± 1.29 la 1 an post-op (figura 29). Diferența dintre loturi la 1 an post-op a fost statistic semnificativă (p < 0.001). Analiza statistică nu a reușit să identifice o diferență semnificativă între loturi pentru scorul VAS al durerii iradiante la 1 lună, 3 luni și 6 luni postoperatoriu (Anexa 7).

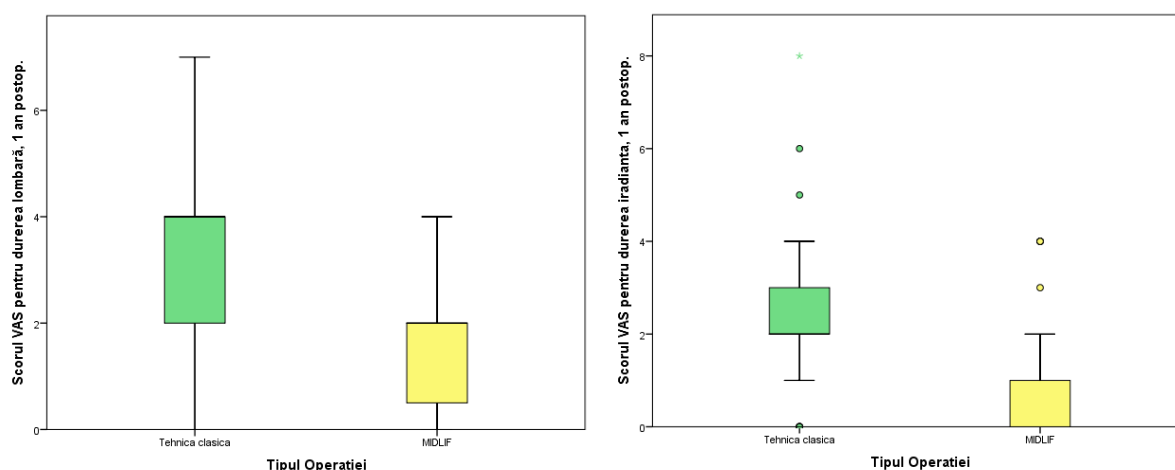


Figura 29. Scorul VAS pentru durerea de spate și durerea iradiantă în membrele inferioare la 1 an postoperatoriu

Scorul ODI de asemenea s-a ameliorat semnificativ în ambele grupuri de studiu postoperatoriu, de la 51.79 ± 15.22 pre-op la 24.06 ± 12.28 la 1 an post-op în lotul L₀ și de la 46.45 ± 15.77 la 11.51 ± 8.66 în lotul L₁, diferența având o puternică semnificație statistică (p < 0.001) (figura 30). De asemenea, o diferență semnificativă a scorului ODI între loturi a fost constată la 1 lună (p < 0.001) și 6 luni (p < 0.001), ameliorarea funcțională fiind mai exprimată în lotul L₁ (Anexa 7).

Calitatea vieții asociată stării de sănătate a pacientului a fost apreciată prin intermediul chestionarului de autoevaluare SF-12. Sumarul componentei mentale (MCS) a scorului SF-12 s-a ameliorat de la 39.15 ± 10.89 preoperatoriu la 51.05 ± 9.2 la 1 an post-op în lotul L₀ și de la 42.01 ± 12.19 la 54.84 ± 7.15 la 1 an postoperatoriu în lotul L₁ (figura 31), diferența între loturi fiind statistic semnificativă (p < 0.05). De asemenea, a fost înregistrată o diferență semnificativă între

loturile de studiu la 6 luni după operație. Nu a putut fi elucidată însă nici o diferență între loturi la 1 lună și 3 luni post-op. În același timp, componenta fizică (PCS) a scorului SF-12 s-a ameliorat de la 27.15 ± 7.33 pre-op la 37.41 ± 8.09 în lotul L₀ și de la 27.58 ± 7.43 preoperatoriu la 46.34 ± 7.39 la 1 an postoperatoriu în lotul L₁, diferența între loturi fiind statistic semnificativă ($p < 0.001$). Ameliorarea componentei fizice a scorului SF-12 a fost semnificativ mai mare în lotul L₁ și la distanța de 1, 3 și 6 luni după operație ($p < 0.05$) (Anexa 7).

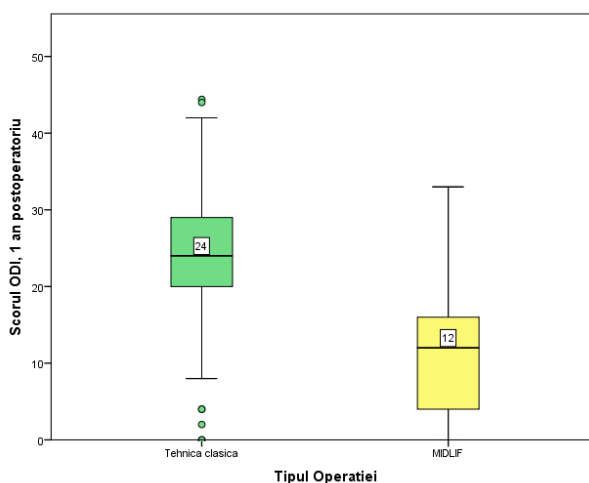


Figura 30. Scorul Oswestry Disability Index la 1 an postoperatoriu

Satisfacția pacientului a fost evaluată la 1 an postoperatoriu. Treizeci și șapte pacienți (84,1%) din lotul L₀ și 48 de pacienți (96.0%) în lotul L₁, s-au declarat satisfăcuți de tratament. Această diferență nu a fost statistic semnificativă conform testului Chi-Square ($p = 0.050$) și a testului Fisher.

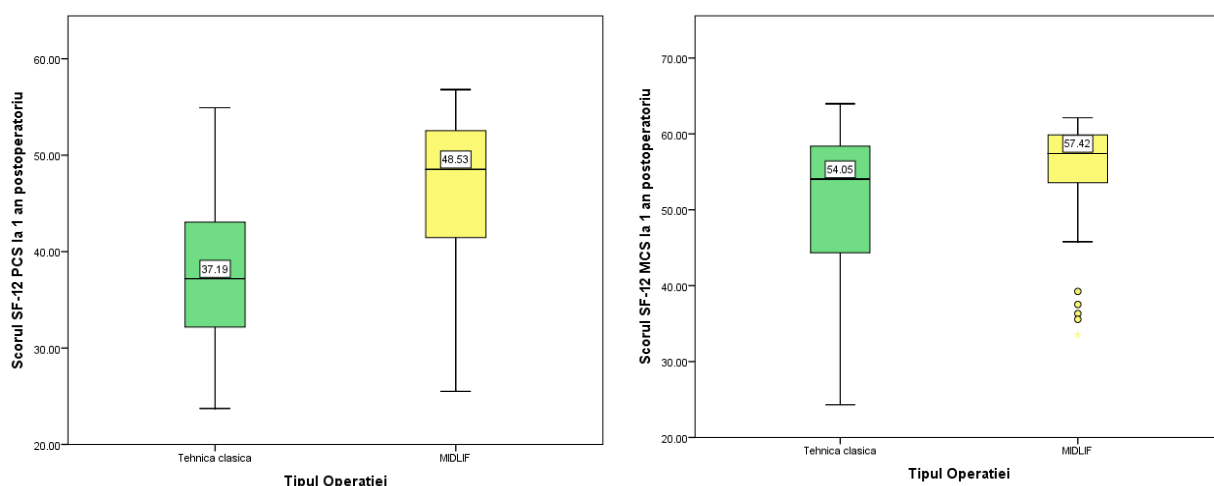


Figura 31. Componentele fizică (PCS) și mintală (MCS) ale scorului SF-12 la 1 an postoperatoriu

Analiza morbidității chirurgicale a inclus hemoragia intraoperatorie, necesitatea de transfuzie sanguină, durata operației, durata spitalizării, lungimea inciziei și creșterea concentrației serice a creatin kinazei musculare în perioada postoperatorie. Lotul L₁ a fost asociat cu rezultate mai bune comparativ cu lotul L₀ în ceea ce privește volumul hemoragiei intraoperatorii ($p < 0.001$), necesitatea de hemotransfuzii ($p < 0.05$), durata operației ($p < 0.05$), lungimea inciziei ($p < 0.001$) și creșterea creatin kinazei ($p < 0.05$), calculată prin diferența dintre CK post-op și CK pre-op (tabelul 5).

Tabelul 5. Morbiditatea chirurgicală

Parametrul chirurgical	Lotul L ₀		Lotul L ₁		χ^2 , gl = 1, p
Necesitatea transfuziei sangvine (nr., %)	19 pacienți	33.9%	8 pacienți	14.3%	<0.05
Hemoragia (ml)	1026.79 ± 600.6		416.07 ± 273.21		<0.001
Durata operației (min)	333.16 ± 82.23		294.93 ± 50.45		0.04
Durata spitalizării (zile)	11.48 ± 5.12		10.96 ± 2.90		0.51
Lungimea inciziei (cm)	17.46 ± 3.79		6.27 ± 2.31		<0.001
Creșterea CK musculare post-op (U/L)	576.87 ± 558.98		163.43 ± 353.37		0.04

Complicațiile intra și postoperatorii înregistrate nu au variat semnificativ între loturi (tabelul 6). Nici în unul din loturile de studiu nu au fost înregistrate complicații mecanice cum ar fi fractura de pars și de pedicul în timpul inserției șurubului, migrarea șurubului sau a cage-ului, fractura șurubului.

Tabelul 6. Rata de complicații intra și postoperatorii

Complicația	Lotul L ₀		Lotul L ₁		χ^2 , gl = 1, p
Durotomie	5	8.9%	4	7.1%	0.72
Licvoree	0	0	1	1.8%	0.31
Infecția plăgii	1	1.8%	0	0	0.31
Dureri neuropatice post-op	1	1.8%	0	0	0.31
Tromboză venoasă profundă	2	3.6%	0	0	0.15
Boala nivelului adiacent	1	1.8%	1	1.8%	1.0

De asemenea, nu au fost înregistrate cazuri de malpoziție a șuruburilor. Totuși, în ambele loturi au fost cazuri de lezare accidentală a durei mater (5 cazuri în lotul de control și 4 cazuri în

lotul de studiu), cu apariția la un pacient din lotul L₁ a scurgerii de LCR prin plaga post-op, iar la un pacient din lotul L₀ a fost constatată infecția superficială a plăgii. Ambele complicații (licvoreea, infecția plăgii) au fost rezolvate fără de a interveni chirurgical repetat. Un singur pacient din lotul L₀ a prezentat dureri radiculare neuropatice persistente. Câte un pacient din fiecare lot de studiu au dezvoltat boala nivelului adiacent fixării, la 5 ani post-op în lotul L₁ și la 2 ani după operație în lotul L₀. Ambii pacienți au fost supuși unei intervenții chirurgicale de decompresie minimal invazivă, fără artrodeză intersomatică. Ce ține de rata generală a complicațiilor, diferența între loturile de studiu nu a fost semnificativă statistic.

Neuronavigația a permis reducerea expunerii pacientului și a personalului medical la radiația ionizantă. Pentru a evalua dacă această reducere a fost semnificativă din punct de vedere statistic, datele despre doza de iradiere a pacientului și timpul de iradiere au fost colectate din instalația de fluoroscopie intraoperatorie și au fost comparate cu datele din literatura de specialitate. Doza de iradiere a pacientului a fost înregistrată ca produsul dozei și a suprafeței de expoziție la radiația ionizantă (DAP = dose area product) măsurată în cGy·cm² și prin timpul de fluoroscopie (FT) în secunde. Datele obținute au fost comparate între loturile de studiu (tabelul 7), apoi au fost comparate cu cele ale unui studiu multicentric care a analizat expoziția pacienților la radiațiile ionizante în cadrul inserției șuruburilor TPd cu traiect clasic [137] (tabelul 8).

Tabelul 7. Expoziția la radiația ionizantă în loturile de studiu

Parametrul analizat	Lotul L₀	Lotul L₁	χ^2, gl = 1, p
DAP (cGy·cm ²)	398.85 ± 321.31	389.42 ± 340.92	0.91
FT (secunde)	26.34 ± 22.17	34.77 ± 29.88	0.21

Atât doza de radiație cât și timpul de fluoroscopie au fost similare pentru ambele loturi de studiu ($p > 0.05$). Pentru compararea cu datele din literatură, a fost utilizat testul T pentru un singur eșantion (One-sample T test). Media pentru DAP în studiul multicentric a fost de 763 cGy·cm² și 102 secunde pentru timpul de fluoroscopie. Doza medie a DAP pentru pacienții din ambele loturi ale studiului nostru a fost de 393.91 ± 329.09 cGy·cm². Comparativ cu datele din literatură, a fost constatată o diferență de 369.08 cGy·cm², această diferență fiind statistic semnificativă ($p < 0.001$). Timpul de fluoroscopie mediu în studiul nostru a fost de 30.83 ± 26.68 secunde, cu 71.17 secunde mai mic decât în studiul de referință, diferență semnificativă statistic ($p < 0.001$). Deci, utilizarea neuronavigației pentru inserția șuruburilor pediculare a avut ca efect scăderea în mai mult de jumătate a dozei de radiație și a timpului de expoziție la radiația ionizantă.

Tabelul 8. **Expoziția la radiația ionizanta raportat la studiul de referință**

Parametrul analizat	Studiul nostru	Studiul de referință	χ^2 , gl = 1, p
DAP (cGy·cm ²)	393.91 ± 329.09	763	< 0.001
FT (secunde)	30.83 ± 26.68	102	< 0.001

Luând în considerație că la începutul curbei de învățare exista o neîncredere în exactitatea neuronavigației și o tendință de a controla radiografic fiecare șurub plasat, doza de radiație ionizantă la care era expus pacientul rămânea destul de ridicată. Însă spre sfârșitul studiului, utilizarea fluoroscopului a fost limitată doar la radioscopia inițială, pentru determinarea nivelului operator și la radiografia finală, pentru evaluarea finală a poziției șuruburilor și a cage-ului intervertebral. Evaluând datele studiului nostru colectate doar pentru ultimii 2 ani (2020 și 2021), a fost obținută o valoare medie a DAP de 178.79 ± 151.99 cGy·cm² și o valoare FP de 12.64 ± 11.38 sec (tabelul 9). Comparativ cu datele din studiul de referință, doza medie de iradiere a pacientului a diminuat cu 584.20 cGy·cm², o scădere de 4 ori ($p < 0.001$), iar durata de iradiere a scăzut cu 89.36 secunde, de 8 ori ($p < 0.001$). În cazul tehnicii MIDLIF ghidate radioscoptic, care este asociată cu o expoziție mult mai mare a pacienților la radiațiile ionizante comparativ cu tehnicile tradiționale, beneficiile utilizării neuronavigației ar putea fi și mai exprimate. Din păcate, nu a fost posibil de studiat acest aspect deoarece toate cazurile de artrodeză MIDLIF au fost realizate de noi cu ajutorul neuronavigației.

Tabelul 9. **Analiza expoziției pacienților la radiația ionizanta în ultimii 2 ani**

Parametrul analizat	Studiul nostru	Studiul de referință	χ^2 , gl = 1, p
DAP (cGy·cm ²)	178.79 ± 151.99	763	< 0.001
FT (secunde)	12.64 ± 11.38	102	< 0.001

Cazuri clinice

Cazul clinic Nr. 1.

Pacienta L.N., 42 de ani, s-a prezentat cu dureri severe în regiunea lombară a coloanei vertebrale (VAS = 10/10) cu iradiere în ambele membre inferioare (VAS 8/10), mai exprimat pe stânga, dureri care se accentuează în ortostatism și la schimbarea poziției corpului.

Din anamneza: pacienta suferă de dureri lombare iradiante în membrul inferior stâng mai mult de 5 ani. Boala a avut o evoluție trenantă, cu perioade de acutizare și remisiune. A urmat numeroase scheme de tratament medicamentos, inclusiv tratament fizioterapeutic complex (kinetoterapie, corecții musculare, fizioproceduri etc.) cu efect parțial, instabil. A fost investigată

prin IRM a regiunii lombare a coloanei vertebrale, care a vizualizat prezența unui spondilolistezis degenerativ L4-L5, de gradul 1, cu o alunecare vertebrală de aprox. 7 mm, asociat cu stenoza recesurilor laterale și a neuroforaminelor bilateral. De asemenea, rezonanța magnetică a pus în evidență prezența efuziunii în spațiul articular interfațetar L4-L5 de aprox. 5 mm pe dreapta (figura 32). Radiografiile dinamice au confirmat prezența instabilității segmentare la nivelul spondilolistezisului (Anexa 12).

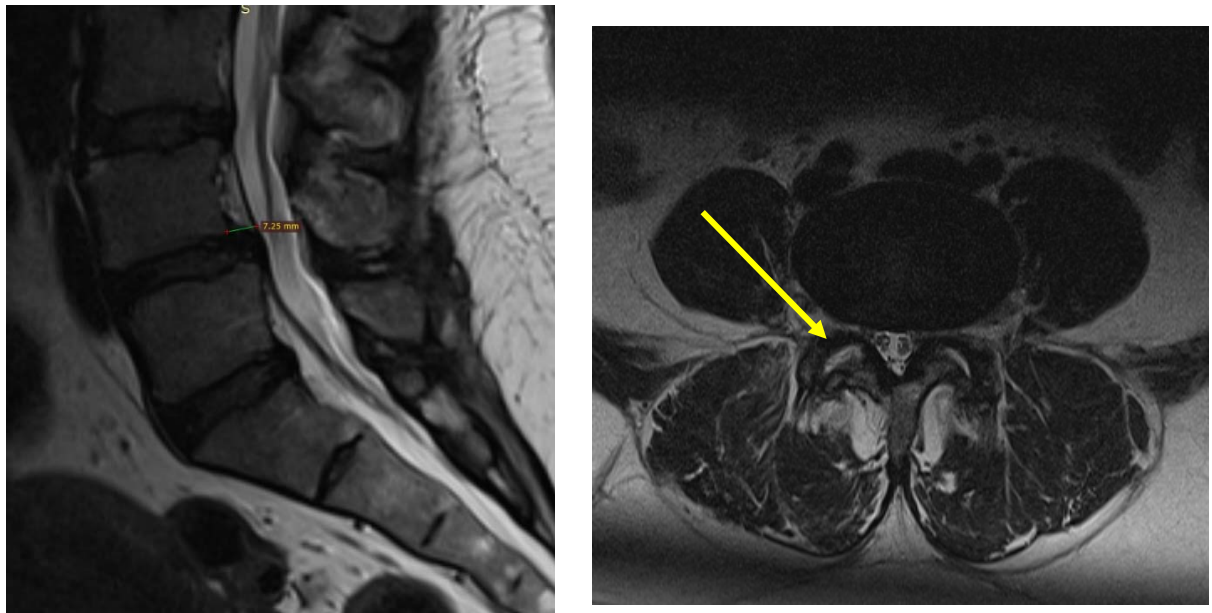


Figura 32. Investigația IRM a vizualizat prezența spondilolistezisului L4-L5 (imaginea din stânga) asociat cu efuziunea în spațiul articular (săgeata galbenă)

Pacienta a fost investigată suplimentar prin tomografie computerizată (figura 33). Măsurarea densității osoase în unități Hounsfield a apreciat o calitate adecvată a țesutului osos la nivelul vertebrelor lombare (226 HU la nivelul L1). Pacienta nu era fumătoare și nu suferea de comorbidități sistemice. Totuși, pacienta era supraponderală, cu un indice de masă corporal de 27.7 kgm².

Examenul neurologic a pus în evidență prezența unei radiculopatii lombare L4/L5, cu sindrom algic radicular mai accentuat pe stânga. Reflexul rotulian era redus pe stânga. Deficit motor în membre nu a fost observat. Semnele de elongație (Lasègue) era pozitiv bilateral, mai exprimat pe stânga. Testul provocativ Phalen a fost de asemenea pozitiv (stenoza foraminală simptomatică). Pentru evaluarea clinică obiectivă au fost utilizate chestionarele de autoevaluare VAS, Oswestry Disability Index și SF-12. Scorul handicapului asociat durerii de spate (Oswestry Disability Index) a fost de 42%, ceea ce corespunde unei dizabilități funcționale severe. Calitatea vieții asociată stării de sănătate a pacientului a fost evaluată cu ajutorul chestionarului 12-Item

Short Form Survey (SF-12). Scorul fizic (PCS-12) a fost de 30.80 iar scorul mental (MCS-12) a fost de 35.88, unde 50 este scorul mediu pentru o populație obișnuită.

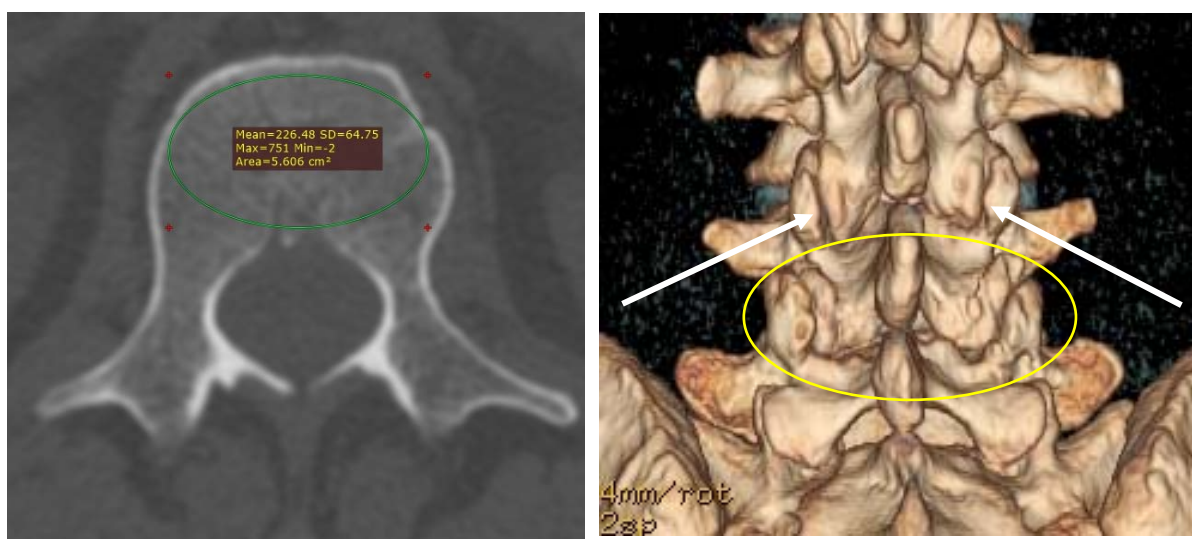


Figura 33. Tomografia computerizată a apreciat o calitate bună a țesutului osos vertebral (imaginea din stânga) și absența diformității degenerative severe a fațetelor articulare la nivelul proximal de spondilolistezis (săgeata albă). La nivelul spondilolistezisului, articulațiile sunt hipertrofiate și deformate (oval galben)

Luând în considerație prezența spondilolistezisului lombar degenerativ instabil, asociat cu stenoza foraminală simptomatică bilaterală și în absența factorilor de risc pentru dezvoltarea pseudartrozei (osteoporoza, comorbidități severe, fumat cronic, administrare îndelungată de glucocorticoizi), s-a decis că pacienta ar putea beneficia de tratament chirurgical de decompresie și stabilizare a coloanei vertebrale. În urma procesului de randomizare, pacienta a fost repartizată în lotul de cercetare L₁, care a inclus pacienții cu artrodeză MIDLIF. Având în vedere că pacienta este supraponderală și că fațetele articulare de la nivelul proximal nu sunt degenerate sever (figura 33), s-a admis că din punct de vedere tehnic pacienta este un candidat ideal pentru aplicarea metodei minimal invazive de artrodeză intersomatică MIDLIF cu șuruburi CoPd.

Tratamentul chirurgical: pacienta a fost supusă unei intervenții chirurgicale de artrodeză MIDLIF L4-L5 cu un cage din PEEK inserat transforaminal și șuruburi poliaxiale de titan, cu traiect CoPd ghidat de neuronavigație (figura 34).

Evoluția post-chirurgicală: Perioada postoperatorie a decurs fără complicații. Pacienta a fost externată la o săptămână postoperatoriu, într-o stare fizică bună, cu ameliorarea semnificativă a simptomaticii neurologice. La externare, pacienta prezenta acuze la dureri moderate (VAS 4/10) și disconfort în regiunea plăgii postoperatorii. Iradierea durerii în membrele inferioare a regresat substanțial (VAS 2/10).

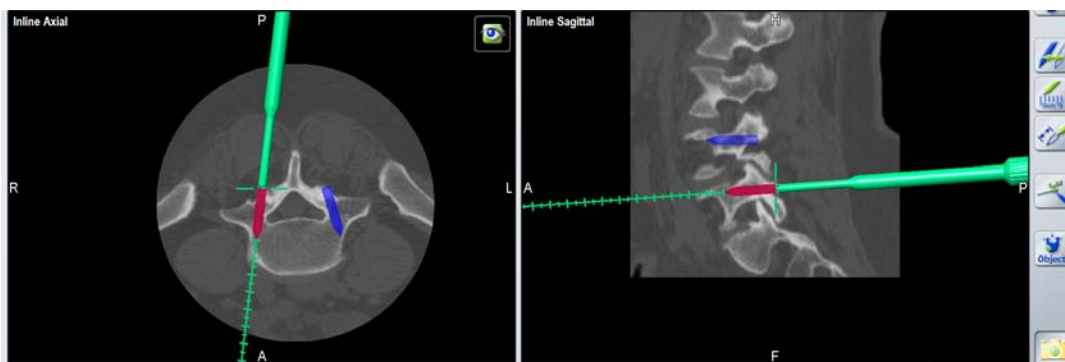


Figura 34. Inserția șuruburilor CoPd ghidată de neuronavigație

La vizita de la 6 luni postoperatoriu pacienta menționează absența durerilor în regiunea lombară și a iradierilor în membrele inferioare. Scorul ODI s-a ameliorat până la 2 % (față de 42% preoperatoriu). Componenta fizică a calității vieții (PCS-12) a crescut până la 48.65, iar scorul mental a urcat până la 61.69. Reconstrucțiile CT tridimensionale cu rezoluție înaltă au pus în evidență prezența unor punți osoase neîntrerupte în interiorul și în exteriorul cuștii intersomatice, care unesc platourile vertebrale adiacente (figura 35). Această imagine corespunde unei fuziuni intersomatice solide de gradul 3 (BSF-3).

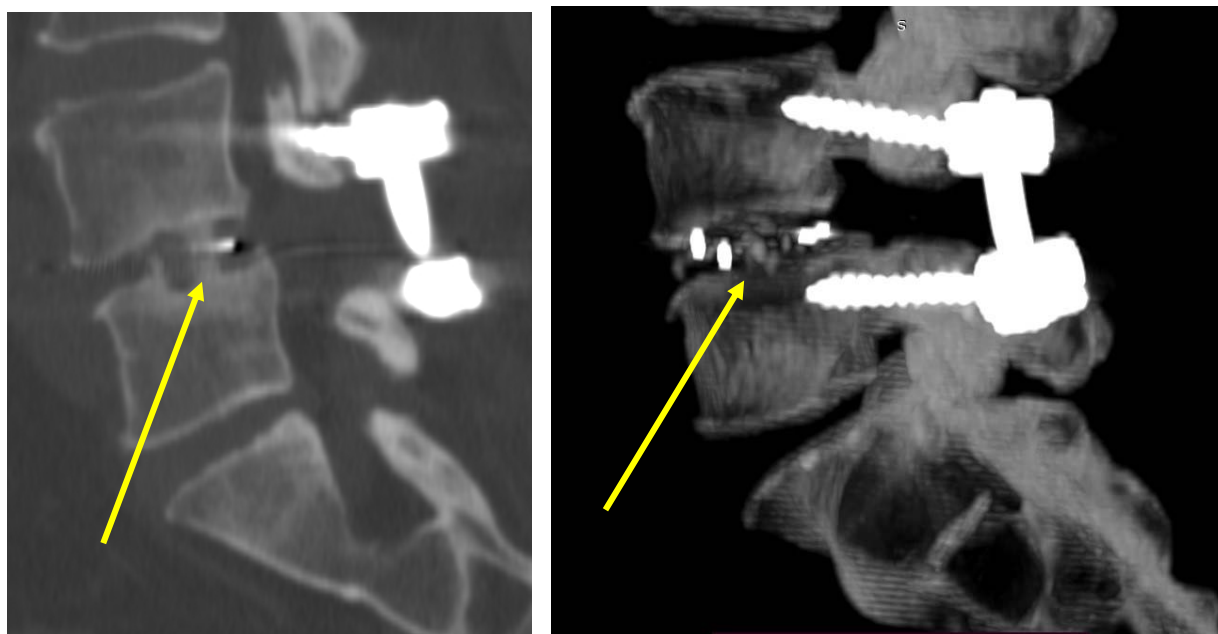


Figura 35. Tomografia computerizată a confirmat prezența unei fuziuni intersomatice solide (săgeata galbenă)

Rezultatele clinice ale tratamentului au rămas neschimbate la 1 an după intervenția chirurgicală. În chestionarul final, pacienta a specificat că este satisfăcută de rezultatele tratamentului chirurgical și dacă ar fi să se întoarcă în timp ar alege această metodă de tratament pentru a obține aceleași rezultate.

Concluziile la cazul clinic Nr. 1:

- Artrodeza MIDLIF este o metodă fiabilă de tratament al spondilolistezisului degenerativ, ce oferă beneficiile specifice tehnicilor chirurgicale minimal invazive.
- Criteriile de selecție pentru aplicarea tehnicii MIDLIF sunt: spondilolistezis degenerativ de grad jos la unul sau maximum 2 nivele, preferabil la nivel L₃₋₄ sau L₄₋₅, asociat cu stenoză foraminală bilaterală simptomatică, în absența defectului de pars interarticularis și a degenerării severe a fațetelor articulare de la nivelul supraiacent spondilolistezisului, la un pacient supraponderal sau obez.

Caz clinic Nr. 2.

Pacienta V.N., femeie în vârstă de 67 de ani, a fost internată în secția de neurochirurgie a Spitalului Clinic Republican „Timofei Moșneaga” cu acuze de dureri lombare severe (VAS = 9/10) iradiante în ambele membre inferioare, predominant în piciorul stâng. Pacienta suferea de dureri lombare de aproximativ 2 ani. A încercat mai multe regimuri de tratament, inclusiv tratament fizio-kinetoterapeutic, cu o ameliorare modestă a sindromului algic. Starea funcțională a fost evaluată cu ajutorul indexului de invaliditate Oswestry (ODI), care corespundea unei stări de pacient infirm (ODI = 67%). Pacienta a fost supusă unui examen imagistic prin rezonanță magnetică (IRM) a coloanei vertebrale, care a vizualizat prezența unei spondilolistezis lombar degenerativ de grad jos la nivelul L4-L5, asociat cu stenoză foraminală bilaterală, mai exprimată pe stânga (figura 36).

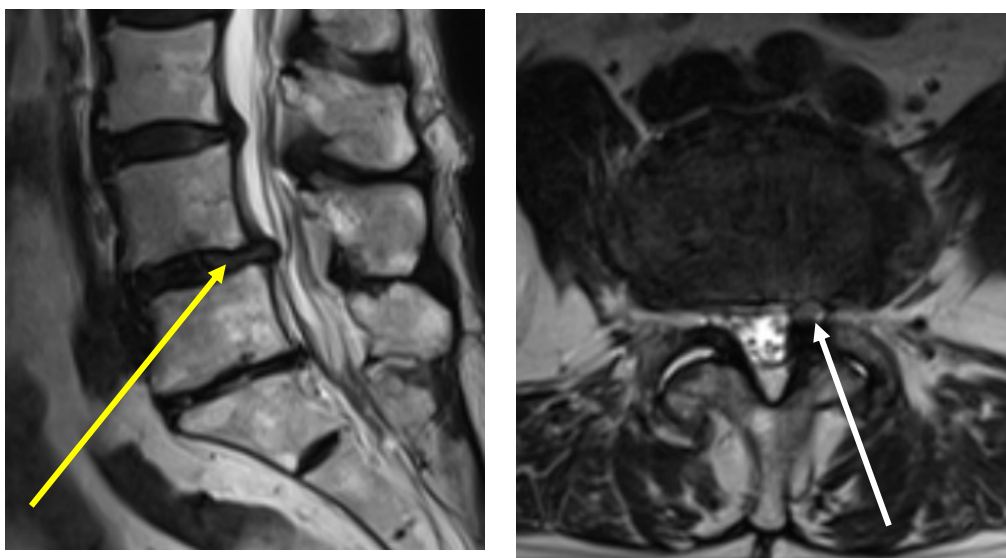


Figura 36. Investigația IRM vizualizează prezența spondilolistezisului degenerativ L4-L5 (săgeata galbenă), cu stenoză foraminală exprimată pe stânga (săgeata albă)

Tomografia computerizată a demonstrat prezența unei degenerări severe a segmentului vertebral L4-L5, cu prezența fenomenului de vid intradiscal, deformarea și hipertrofia articulațiilor fațetare și îngustarea foramenului din partea stângă cauzată de un osteofit marginal.

Densitatea osoasă a vertebrelor a pacientei fost evaluată cu ajutorul unei scanări prin absorbtimetrie dublă cu raze X (DEXA). Scorul-T DEXA a fost mai mare de -1 în vertebrele lombare L2 - L5, ce corelează cu o densitate osoasă normală. La nivelul vertebrei L1 a fost apreciat un scor-T de -1.4, ce ar putea corespunde unei osteopenii vertebrale (figura 37).

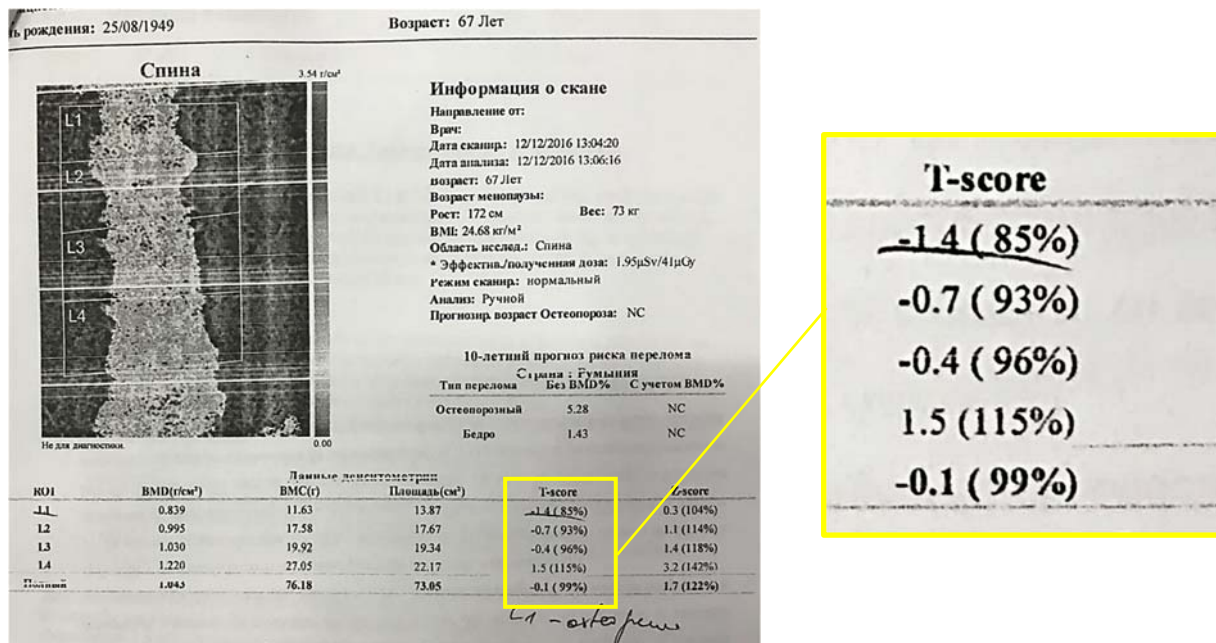


Figura 37. Rezultatele scanării DEXA, realizate preoperatoriu

Luând în considerație rezultatele ambigue ale scanării DEXA, s-a decis de a aplica o metodă suplimentară de evaluare a densității osoase folosind datele furnizate de tomografia computerizată. Această metodă presupune măsurarea densității țesutului osos spongios la nivelul vertebrei lombare L1, valoarea de prag de 110 HU fiind specifică (>90%) pentru osteoporoză. Pentru măsurarea densității osoase vertebrale a fost utilizată versiunea gratuită a software-ului RadiAnt DICOM Viewer. La nivelul spongioasei vertebrei L1 a fost constatată o densitate osoasă de 57 HU, care se corelează cu prezența osteoporozei severe. În același timp, densitatea la nivelul structurilor posterioare (pars interarticularis) a fost de 846 HU (figura 38).

Având în vedere asocierea stenozei foraminale simptomatice bilaterale cu spondilolistezisul degenerativ, au fost stabilite indicațiile pentru realizarea artrodezei intersomatice. S-a decis că din cauza calității proaste a țesutului osos spongios și a densității osoase înalte în regiunea istmică, pacienta ar putea beneficia de tratamentul chirurgical prin aplicarea tehnicii minim invazive de artrodeză intersomatică lombară mediană (MIDLIF) cu șuruburi CoPd ghidate prin neuronavigație. Din cauza prezenței osteoporozei vertebrale, pacienta a fost exclusă din participarea la studiul științific și nu a fost supusă procesului de randomizare!

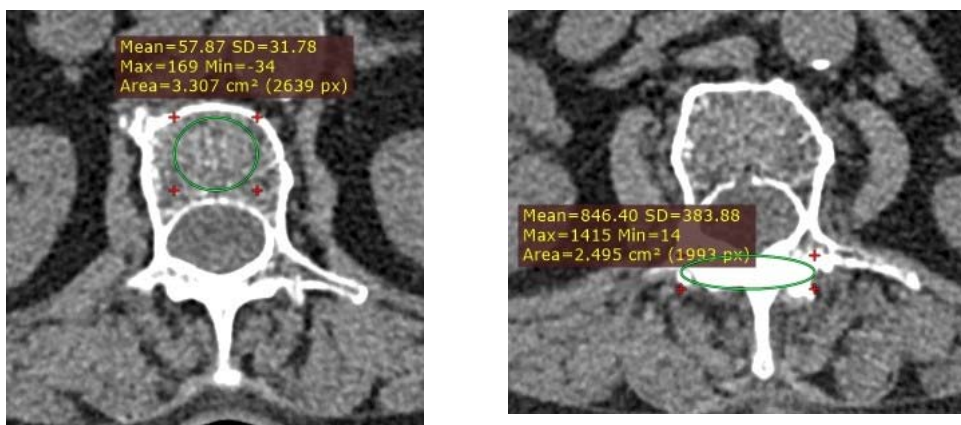


Figura 38. Tomografia computerizată a apreciat o densitate foarte joasă a țesutului osos al vertebrelor lombare (57 HU la nivelul L1), cu păstrarea unei densități osoase înalte în regiunea pars interarticularis

Tratamentul aplicat: Pacienta a fost supusă intervenției chirurgicale în mod planificat. A fost realizată artrodeza MIDLIF L4-L5 cu două cuștii din PEEK și osteosintează cu șuruburi CoPd ghidate de neuronavigație. Tehnica chirurgicală este descrisă amănunțit în capitolul 3 al acestei lucrări.

Evoluția postoperatorie: S-a obținut o ameliorare postoperatorie semnificativă a durerii iradiante la nivelul membrelor inferioare (VAS = 1/10). Se păstra o durere moderată (VAS = 3 - 4) și disconfort în zona plăgii postoperatorii, care răspundea bine la tratamentul cu AINS. Pacienta a fost externată din spital la două săptămâni după operație într-o stare generală bună. Ea a fost încurajată să evite șezutul îndelungat și ridicatul greutăților în primele 3 luni după operație.



Figura 39. Radiografia de control la 3 luni postoperatoriu

La 3 luni postoperatoriu, pacienta s-a prezentat la controlul de rutină cu acuze la dureri severe (VAS = 8p.) în regiunea lombară, fără iradiere la nivelul membrelor inferioare. A fost efectuată o radiografie de control, care a vizualizat semne imagistice de eșec mecanic al sistemului de fixare a coloanei vertebrale, cu dislocarea șuruburilor pediculare proximale în direcție craniană și surparea cuștilor intervertebrale (figura 39).

Pacientei i-a fost recomandată purtarea unui corset lombar rigid și tratament medicamentos (vitamina D, calciu) pentru accelerarea procesului de fuziune osoasă.

La 6 luni postoperatoriu, pacienta s-a prezentat cu durere lombară axială persistentă (VAS = 6), care iradia în ambele membre inferioare (VAS = 4p.). Scorul dizabilității funcționale ODI a fost de 42%, corespunzând unei stări de pacient cu handicap sever. Tomografia computerizată a vizualizat semne clare de pseudartroză radiografică, cu slăbirea biomecanică și migrarea șuruburilor craniene, subsidența cuștilor intersomatice și prezența unui halou radiolucenț în jurul implanturilor (figura 40).

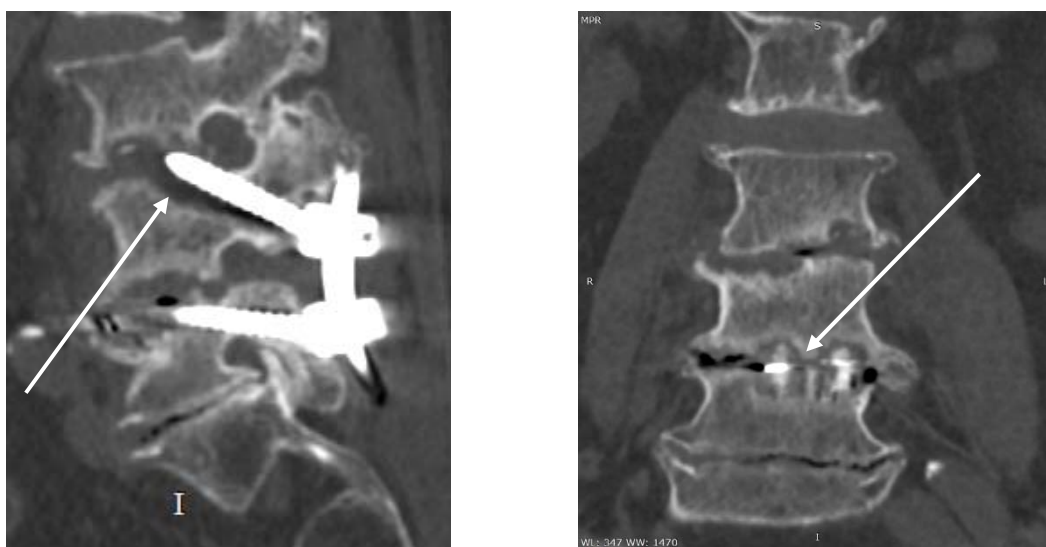


Figura 40. Tomografia computerizată de control la 6 luni postoperatoriu prezintă semne radiologice evidente de prezență a pseudartrozei

Pacientei i-a fost oferită opțiunea unei intervenții chirurgicale de revizie cu îndepărtarea șuruburilor CoPd și fixarea coloanei vertebrale cu șuruburi pediculare tradiționale ranforsate cu ciment acrilic. Pacienta a decis să refuze tratamentul chirurgical propus și să continue tratamentul conservator sub supravegherea medicului de familie.

Din păcate, pacienta a decăzut din supravegherea ulterioară din cauza pandemiei de COVID19. La 3 ani de la intervenția chirurgicală pacienta a fost chemată pentru o examinare finală. Ea s-a prezentat doar cu acuzele la dureri lombare ușoare (VAS = 2), fără durere radiantă în membre. Scorul ODI a diminuat până la 18%, ceea ce se corela cu o stare de handicap ușor.

Tomografia computerizată a coloanei lombare a confirmat prezența unei artrodeze intersomatice solide (BSF-3), cu dispariția zonei de radiolucentă în jurul implanturilor (figura 41) [29].

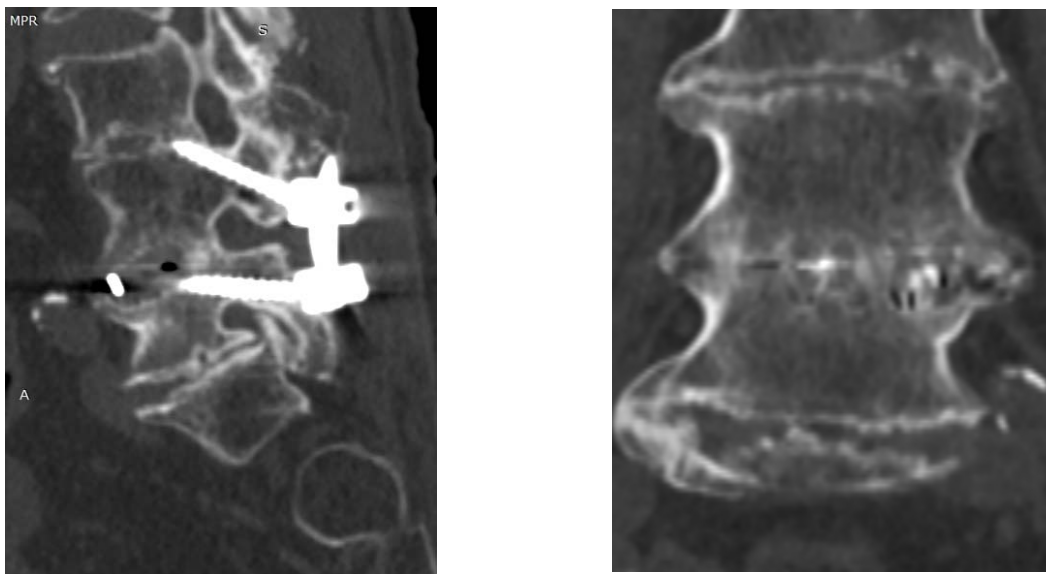


Figura 41. Investigația CT realizată la 3 ani după operație vizualizează regresia pseudartrozei cu formarea unei fuziuni intersomatice solide

Concluzii la cazul clinic Nr. 2:

- Scanarea DEXA poate avea ca rezultat valori fals crescute ale densității osoase vertebrale la pacienții cu boală degenerativă și deformări severe ale coloanei vertebrale sau calcificări ale aortei abdominale. Scanarea CT este o investigație fiabilă pentru a evalua calitatea osoasă înainte de intervențiile chirurgicale de protezare a coloanei vertebrale.

- Măsurarea densității osoase în unități Hounsfield este o metodă rapidă, simplă și reproductibilă. O valoare limită de 110 HU măsurată la nivelul vertebrei L1 este specifică pentru osteoporoză.

- Pacienții cu osteoporoză sunt expuși riscului de slăbire a eficacității biomecanice a șuruburilor și de apariție a pseudartrozei simptomatice. Planificarea chibzuită a tratamentului chirurgical este crucială pentru acest tip de pacienți.

- Chiar dacă majoritatea studiilor sugerează că rahisinteza cu șuruburi CoPd este o alternativă rezonabilă și superioară fixării cu șuruburile pediculare tradiționale în cazul vertebrelor osteoporotice, riscul de eșec al artrodezei la acești pacienți rămâne foarte ridicat, impunând necesitatea de a lua în considerare alternative mai sigure, dar și mai invazive, cum ar fi șuruburile transpediculare augmentate cu ciment.

- Evaluarea finală a pseudartrozei ar trebui efectuată la cel puțin trei ani după operație, perioadă în care există o probabilitate înaltă ca pseudartroza să evolueze într-o fuziune intersomatică solidă.

Caz clinic Nr. 3

Pacientul P.N., bărbat de 44 de ani, s-a prezentat cu acuze la dureri lombare severe (VAS = 8), fără iradiere în membrele inferioare, care se agravează în ortostatism și la efort fizic minor. Din anamneza: pacientul se consideră bolnav cu lombalgie de aprox. 10 ani. Boala a avut o evoluție trenantă, cu perioade de acutizare și remisiune. La un an de la debutul lombalgiei fost investigat prin IRM lombo-sacrală, care a vizualizat prezența unui hemangiom agresiv de corp vertebral L5, care a fost suspectat a fi cauza durerilor lombare. Pacientul a fost supus unei intervenții chirurgicale de vertebroplastie L5 (figura 42). După cimentarea hemangiomului însă, durerile de spate nu au regresat. A urmat multiple scheme de tratament medicamentos și fizio-kinetoterapie, fără efect pozitiv de durată. De aproximativ 1 an durerile lombare s-au agravat în intensitate, au devenit permanente, nu cedează la tratamentul cu AINS, analgezice, miorelaxante.

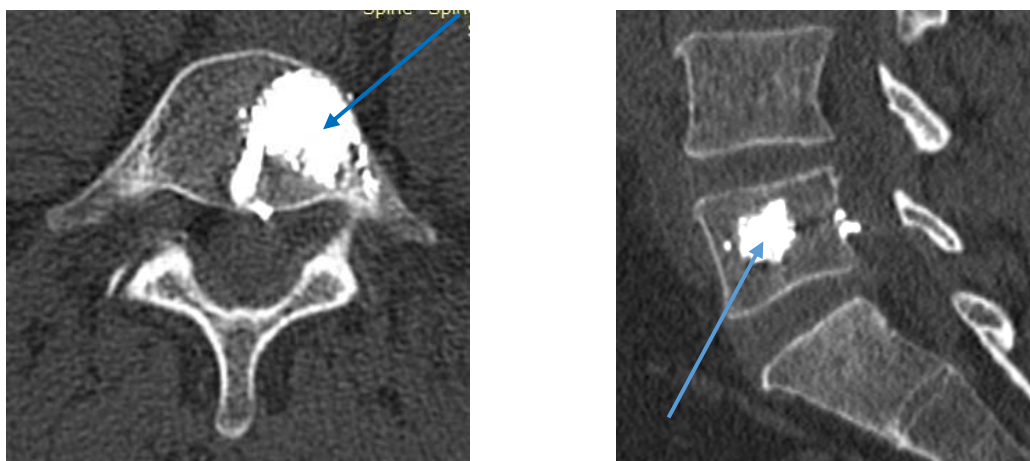


Figura 42. **Tomografia computerizată demonstrează prezența cimentului în corpul vertebral L5**

Pacientul fost supus unei investigații imagistice repetate prin IRM a regiunii lombare, care a vizualizat prezența unei spondiloze degenerative la nivelul L3-L4 și L4-L5, manifestate prin diminuarea înălțimii discului intervertebral și deshidratarea nucleului pulpos („disc negru”). De asemenea, la nivelul L4-L5 a fost observată apariția unei zone de intensitate crescută („high intensity zone”) în partea posterioară a inelului fibros și în regiunea ligamentului interspinos, date imagistice sugestive pentru prezența instabilității segmentare (figura 43).

Pentru a preciza care segment spinal este sursa durerilor lombare, a fost realizată discografia provocatoare la nivelul discurilor intervertebrale L3-L4 și L4-L5 urmată de CT discografie (figura 44).

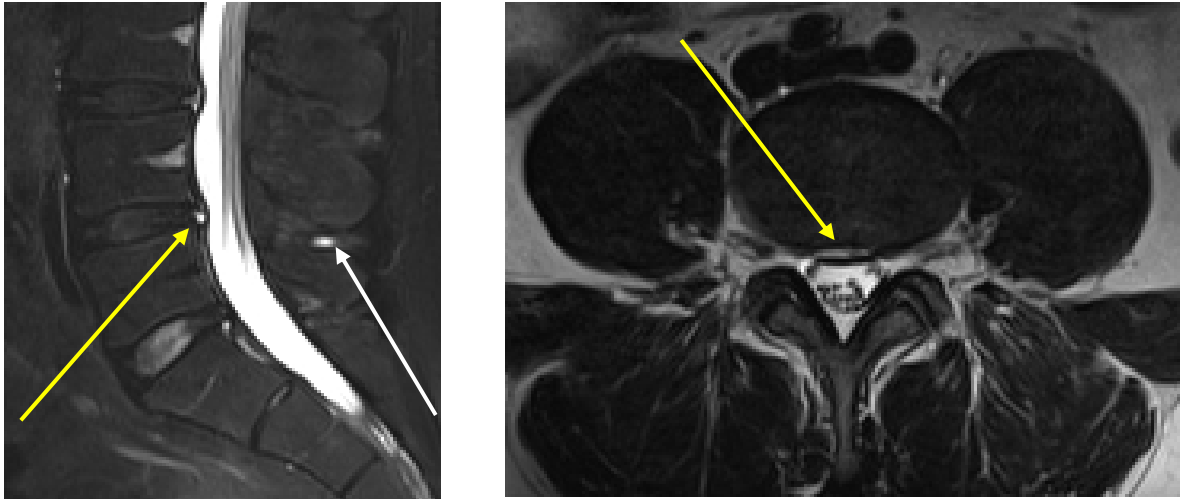


Figura 43. Investigația IRM vizualizează prezența unei zone de intensitate crescută în peretele inelului fibros (săgeata galbenă) și la nivelul ligamentului interspinos L4-L5 (săgeata albă)

Discografia la nivelul L4-L5 a evocat un răspuns dureros în deplină concordanță cu sindromul algic de care suferea pacientul. De asemenea, CT discografia a vizualizat ruptura inelului fibros în partea orientată spre canalul medular, pe toată grosimea peretelui discal (gradul IV al clasificării Dallas).

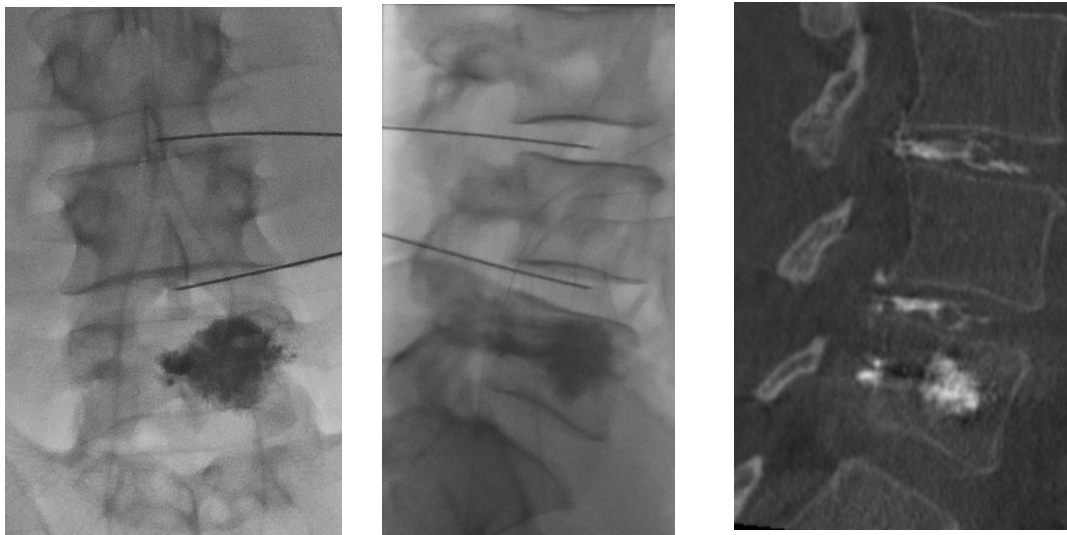


Figura 44. Discografia provocatoare (imaginile din stânga și centru) și CT discografia (imaginea din dreapta)

Tratamentul chirurgical: În urma analizei datelor clinice și a investigațiilor imagistice, inclusiv a discografiei provocatoare, s-a decis că pacientul ar putea beneficia în urma aplicării tratamentului chirurgical de discectomie și stabilizare a segmentului L4-L5 prin artrodeză intersomatică. Din cauza prezenței cimentului în corpul vertebral L5, care făcea imposibilă implantarea șuruburilor pe traiect pedicular clasic, au fost stabilite indicații pentru realizarea

osteosintezei cu șuruburi cortico-pediculare, care datorită traiectului divergent ar evita coliziunea dintre șurub și ciment.

Pacientul a fost operat în mod planificat. A fost realizată artrodeza intersomatică lombară mediană (MIDLIF) L4-L5 cu două cuști din PEEK și șuruburi poliaxiale de titan cu traiect CoPd, ghidat de neuronavigație (figura 45). Tehnica chirurgicală este descrisă amănunțit în capitolul 3 al acestei lucrări.

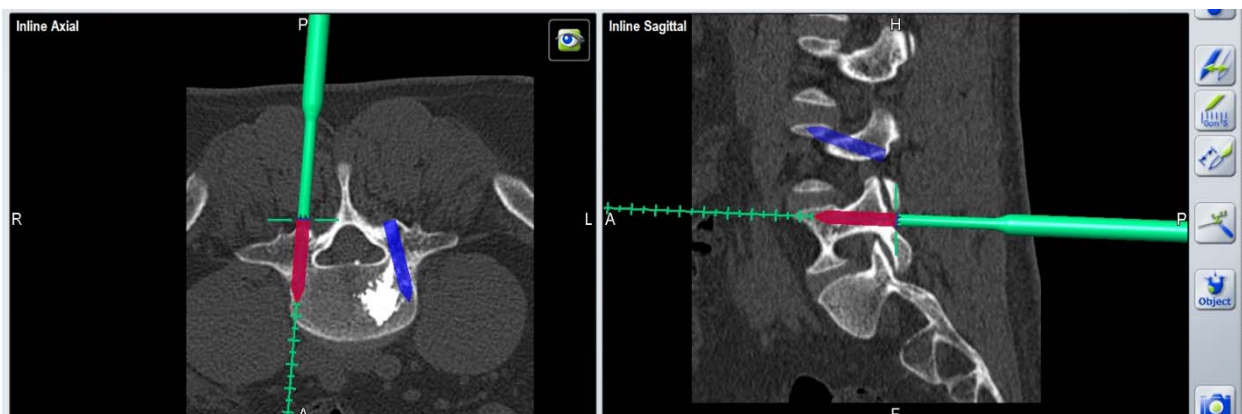


Figura 45. Ghidarea inserției șuruburilor cu traiect cortico-pedicular cu ajutorul neuronavigației

Evoluția postoperatorie: a decurs fără complicații. Pacientul a fost mobilizat prima zi după intervenția chirurgicală. A fost externat din spital la o săptămână postoperator într-o stare generală bună. La externare prezenta acuze la dureri moderate (VAS 4/10) și disconfort în regiunea plăgii, fără iradiere în membrele inferioare.

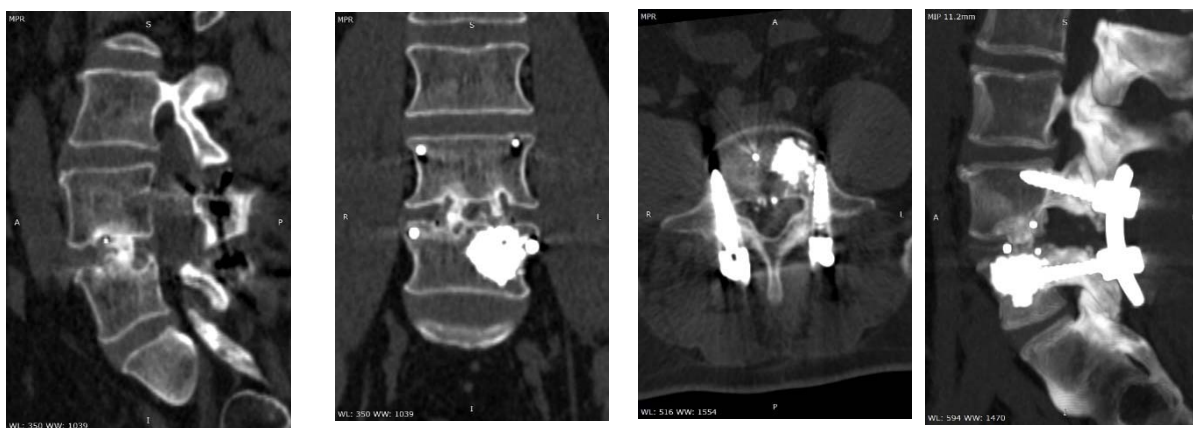


Figura 46. Tomografia computerizată de control la 1 an postoperatoriu

La un an de la aplicarea tratamentului chirurgical, durerea lombară inferioară s-a ameliorat de la 8 puncte până la 2 puncte pe scala VAS. Scorul handicapului asociat durerii de spate ODI s-a îmbunătățit de la 56% (dizabilitate severă) până la 18% (dizabilitate ușoară). Pacientul s-a întors complet la locul de muncă și la viața socială.

Tomografia computerizată și radiografiile dinamice ale coloanei vertebrale au confirmat prezența unei artrodeze intersomatice solide la 6 luni și 1 an postoperator, fără semne de slăbire a eficienței biomecanice a sistemului de fixare internă sau de instabilitate la nivelul segmentului fuzionat (figura 46).

Concluzii la cazul clinic Nr. 3:

- Traiectul cortico-pedicular permite inserția șuruburilor în vertebrele care au fost supuse în trecut vertebroplastiei cu ciment acrilic (ex. pentru tratamentul hemangiomului, fracturii tasate). Prezența cimentului în interiorul vertebrei este o limitare tehnică semnificativă, care face practic imposibilă inserția șuruburilor pe traiect pedicular clasic.
- Discografia provocatoare combinată cu CT discografia poate fi o metodă utilă pentru precizarea sursei durerilor lombare în cazul spondilozei degenerative cu afectarea mai multor segmente.
- Artrodeza MIDLIF ar putea fi o metodă chirurgicală minimal invazivă de elecție în tratamentul bolii degenerative a discului intervertebral.

SINTEZA REZULTATELOR STUDIULUI

Literatura actuală prezintă informații ambigue ce țin de eficacitatea artrodezei lombare MIDLIF în tratamentul spondilolistezisului degenerativ de grad jos [133]. Pentru a răspunde la această întrebare, ne-am propus să realizăm un studiu clinic experimental, prospectiv, de tipul studiilor controlate randomizate, care ar evalua rata de reușită a fuziunii, rezultatele clinice și posibilele complicații asociate utilizării osteosintezei CoPd în artrodeza intersomatică lombară MIDLIF. Pacienții au fost repartizați în mod aleatoriu în unul din loturile de studiu: lotul de control (L₀) care a inclus pacienți tratați prin metoda clasică de artrodeză intersomatică lombară PLIF sau TLIF cu șuruburi transpediculare și lotul de cercetare (L₁) care a inclus pacienții operați prin tehnica experimentală de artrodeză intersomatică lombară MIDLIF cu șuruburi pediculare transcorticale [27].

Loturile de studiu au fost omogene în ceea ce ține de vârsta pacienților, sexul, statutul de fumător, înălțimea, greutatea, IMC, patologia lombară și bolile sistemice asociate, valoarea preoperatorie a scorurilor VAS pentru durerea lombară și pentru durerea radiculară iradiantă, scorul dizabilității Oswestry (ODI), cât și de componentele PCS și MCS ale scorului SF-12. În plus, pentru omogenizarea grupurilor de studiu, toți pacienții au fost supuși intervenției chirurgicale în condiții tehnice similare: operația a fost realizată de același chirurg (Borodin Serghei), cu același set de instrumente chirurgicale și implanturi spinale (CD Horizon Legacy, Medtronic), cu utilizarea obligatorie a ghidării imagistice intraoperatorii prin neuronavigație spinală (BrainLab Curve) și control fluoroscopic (Siemens Arcadis C-Arm). Postoperatoriu, pacienții din ambele grupuri au beneficiat de aceleași scheme de tratament medicamentos, care au inclus AINS, analgezice opioide, miorelaxante.

Principalul criteriu de comparare a eficacității tehnicilor studiate a fost reușita realizării unei fuziuni osoase intersomatice solide. Pornind de la faptul că rahisinteza cu șuruburi transpediculare este considerată ca „standard de aur” în realizarea artrodezei intersomatice, pentru a afirma că tehnica de rahisinteză CoPd este efectivă, ea ar trebui să asigure o rată de fuziune intersomatică mai înaltă sau cel puțin nu mai joasă (non-inferioritate) decât tehnicile tradiționale.

Pacienții cu spondilolistezis degenerativ care nu au corespuns criteriilor de includere în studiu au fost tratați prin aplicarea unor metode standard de tratament. Astfel, pentru pacienții cu SPLD stabil și osteoporoză vertebrală, diagnosticată prin osteodensitometria DEXA (T-scor < 2.5) sau tomografie computerizată (densitatea osoasă < 110 HU la nivelul vertebrei L1), a fost implementată și aplicată cu succes tehnica chirurgicală minimal invazivă de decompresie bilaterală a canalului spinal prin laminectomie unilaterală („over the top”). În cazul pacienților cu

osteoporoză vertebrală și SPLD instabil sau cu risc de instabilitate post-decompresie, a fost realizată osteosinteza cu șuruburi transpediculare ranforsate cu ciment.

Astfel, în perioada anilor 2016 – 2022, în cadrul Secției de Neurochirurgie a Spitalului Clinic Republican „Timofei Moșneaga” au fost tratați 136 pacienți cu spondilolistezis lombar degenerativ. Din ei, 112 pacienți au fost incluși în cercetarea științifică și au fost repartizați aleatoriu în unul din loturile de studiu, fiind operați prin metoda tradițională de artrodeză TLIF sau PLIF (56 pacienți), sau prin tehnica experimentală de artrodeză MIDLIF (56 pacienți). Primii cinci pacienți la care a fost aplicată tehnica MIDLIF au fost incluși în curba de învățare și nu au participat la studiu științific. Nouăsprezece pacienți au fost diagnosticați cu osteoporoză vertebrală și nu au fost incluși în cercetare. La patru dintre acești 19 pacienți a fost decisă necesitatea aplicării stabilizării spinale și a fost realizată osteosinteza vertebrală cu șuruburi transpediculare augmentate cu ciment acrilic în 2 cazuri și artrodeză intersomatică MIDLIF cu șuruburi CoPd în alte 2 cazuri. În restul pacienților, investigațiile imagistice au diagnosticat un spondilolistezis degenerativ stabil, fără risc major de destabilizare a segmentului motor în urma decompresiunii. Opt pacienți au fost supuși operației non-disruptive de decompresie transtubulară bilaterală prin laminectomie unilaterală „over the top”, iar la 7 pacienți a fost realizată laminectomia decompresivă clasică, cu păstrarea istmurilor și a mai mult de 50% din fațetele articulare.

Postoperatoriu pacienții au fost evaluați clinic și imagistic la 6 săptămâni, 3 luni, 6 luni și 1 an. Evaluarea clinică a inclus examenul neurologic minuțios și completarea chestionarelor de autoevaluare VAS, ODI și SF-12. Examenul radio-imagistic a inclus radiografia coloanei vertebrale în ortostatism la toate etapele de supraveghere clinică și tomografia computerizată în regim de fereastră osoasă cu secțiuni fine (1mm) la 1 an postoperatoriu, cu scop de evaluare a reușitei artrodezei intersomatice. Pentru descrierea reușitei artrodezei intersomatice, a fost utilizată clasificarea Brantigan-Steffee-Fraser (BSF), care a fost elaborată pentru evaluarea fuziunii intervertebrale prin cuștile din fibră de carbon.

Datele demografice, gradul de reușită a artrodezei intersomatice, rezultatele clinice ale tratamentului extrase din chestionarele de autoevaluare (VAS, ODI, SF-12) și parametrii secundari asociați morbidității chirurgicale au fost supuse analizei statistice comparative.

În ambele loturi de cercetare a fost înregistrată o rată similară de reușită a fuziunii intersomatice, fără o diferență semnificativă din punct de vedere statistic ($p = 0.14$) [28]. Rata similară de reușită a fuziunii osoase în ambele loturi ale studiului nostru corelează cu rezultatele altor cercetări desfășurate până în prezent [52, 109, 220, 271], inclusiv și cu unicul studiu clinic randomizat existent [144], care a studiat eficacitatea fixării cu șuruburi CoPd în tratamentul unui

spectru larg de patologii spinale. Nici în unul din grupurile de studiu nu au fost înregistrate cazuri de eșec total al realizării fuziunii intervertebrale, cu formarea de pseudartroză veritabilă (BSF-1). În ambele loturi există un grup de pacienți la care imagistica CT cu rezoluție înaltă vizualizează o fuziune solidă la nivelul platourilor vertebrale asociată cu o zonă orizontală de radiolucență prin mijlocul cage-ului sau al spațiului intervertebral. Acest fenomen a fost descris în literatură cu termenul de „pseudartroză blocată” (locked pseudarthrosis), care corespunde gradului 2 clasificării Brantigan and Steffee (BSF-2) [72]. În cadrul studiului nostru, toți acești pacienți au fost supravegheați imagistic cel puțin doi ani de zile, pentru a observa evoluția la distanță a stabilității construcției. A fost constatat, că nici unul din cazurile de „pseudartroză blocată” nu a evoluat în timp spre pseudartroză veritabilă BSF-1 sau spre fuziune intersomatică solidă BSF-3.

Dacă admitem afirmația că „pseudartroza blocată” este o construcție mecanic stabilă, care poate fi acceptată în calitate de fuziune intersomatică satisfăcătoare, putem considera că în ambele loturi de studiu rata de reușită a artrodezei a fost de 100%. Astfel, ambele tehnici de osteosinteză, TPD și CoPd, sunt efective în realizarea artrodezei intervertebrale.

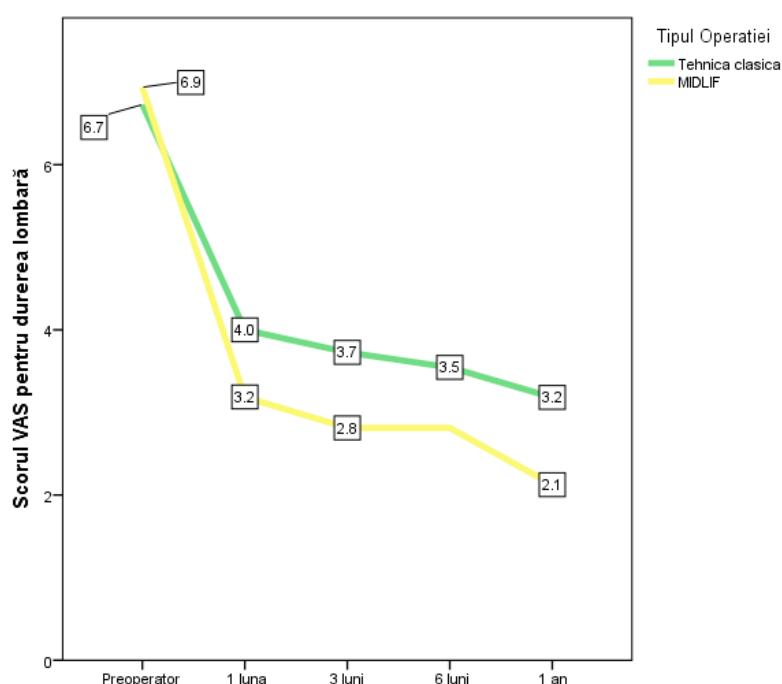


Figura 47. Ameliorarea postoperatorie a scorului VAS pentru durerea de spate

Din punct de vedere clinic, ambele tehnici chirurgicale au fost foarte efective în ameliorarea durerii de spate, a durerii iradiante în membrul inferior și a dizabilității cauzate de durerea de spate. Totuși, comparativ cu fixarea TPD, osteosinteza CoPd a oferit o ameliorare semnificativ mai bună a scorului VAS pentru durerea lombară la 1 lună, 6 luni și la 1 an postoperatoriu (figura 47) și o ameliorare mai semnificativă a scorului VAS pentru durerea iradiantă, la distanța de 1 an după operație (figura 48).

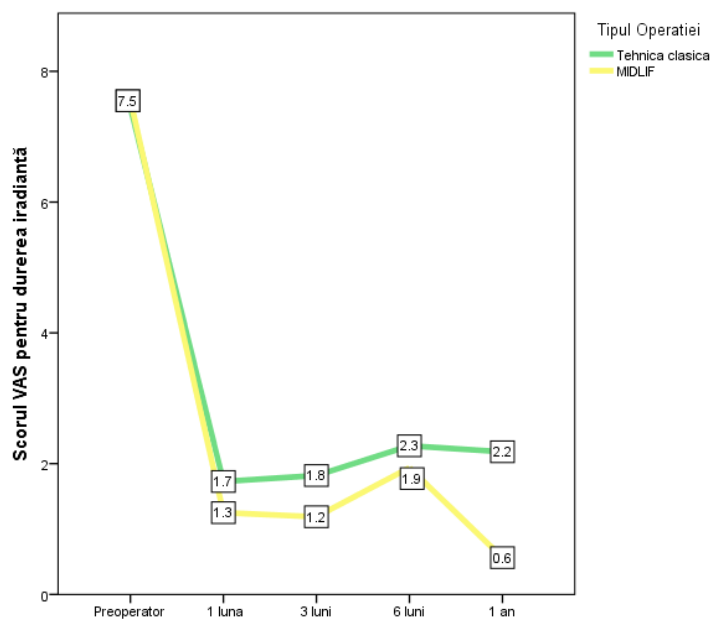


Figura 48. **Ameliorarea postoperatorie a scorului mediu VAS al durerii iradiante semnificativ mai bună în grupul MIDLIF la 1 an post-op.**

De asemenea, scorul dizabilității cauzate de durerea de spate (ODI) a cunoscut o ameliorare mai semnificativă în grupul de pacienți cu artrodeză MIDLIF, la 1 lună, 6 luni și 1 an postoperatoriu (figura 49).

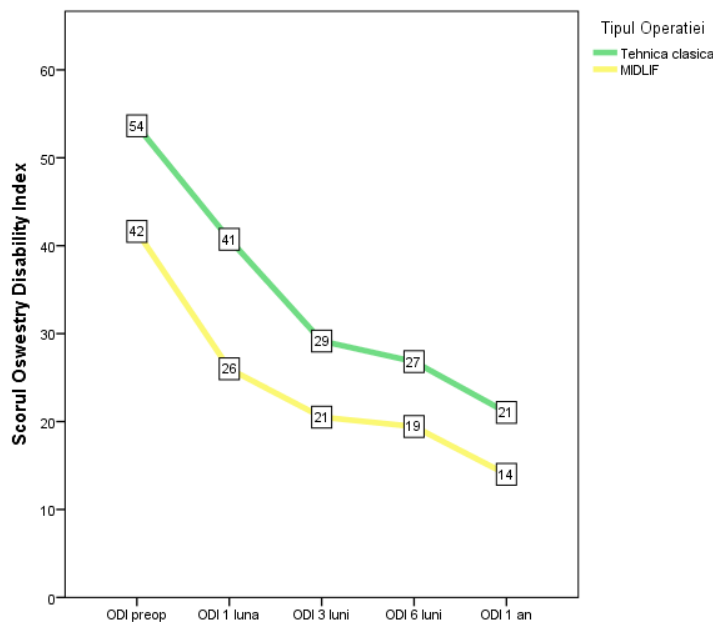


Figura 49. **Ameliorarea postoperatorie a dizabilității asociate durerii de spate (scorul Oswestry Disability Index)**

Eficacitatea clinică superioară a fost probabil determinată de caracterul minimal invaziv al tehnicii experimentale. Rezultatele noastre se diferențiază semnificativ cu cele ale studiului clinic randomizat desfășurat de Lee et al. (2015), care a concluzionat că artrodeza cu șuruburi CoPd a oferit o ameliorare a sindromului algic și a dizabilității funcționale similare cu tehnicile

tradiționale, diferența fiind semnificativă statistic în favoarea tehnicii MIDLIF doar la 1 săptămână postoperatoriu [144, 145].

Ambele tehnici studiate au avut ca efect ameliorarea semnificativă a calității vieții asociate stării de sănătate fizică și mintală a pacientului. Ameliorarea componentei mintale (MCS) a scorului SF-12 a fost similară în ambele loturi pe toată perioada de supraveghere clinică. Totuși, artrodeza CoPd a fost mult mai efektivă în ameliorarea componentei fizice sumare (SF-12 PCS) la 6 luni și 1 an postoperatoriu (figura 50). Rezultatele noastre se deosebesc de alte două studii științifice existente, care au analizat impactul osteosintezei CoPd asupra calității vieții pacienților [145, 146] și nu au reușit să identifice o diferență statistic semnificativă.

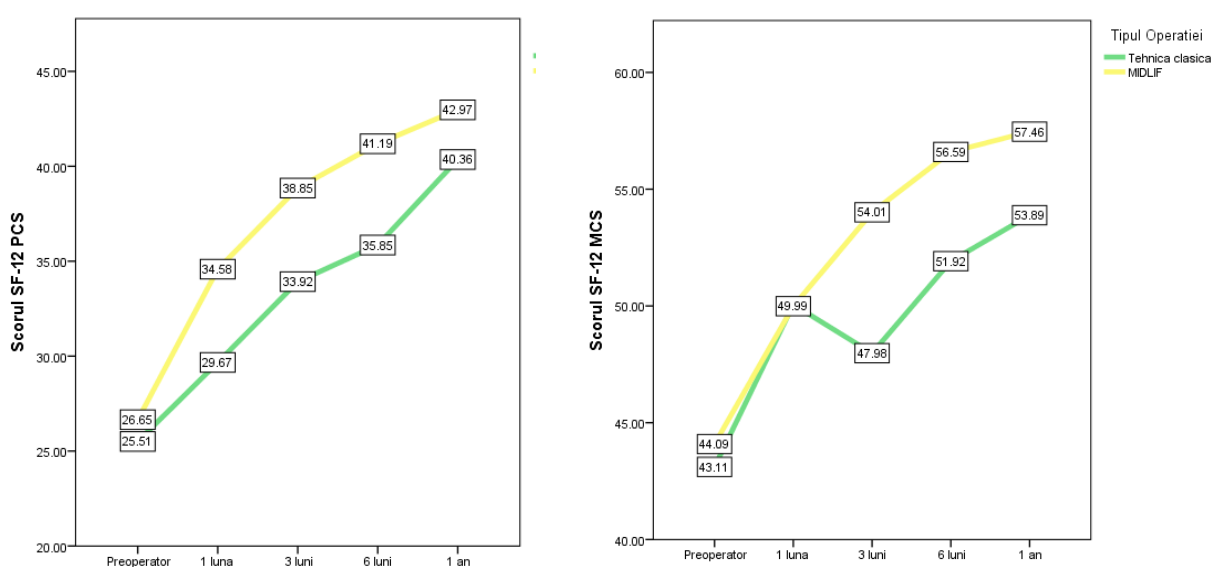


Figura 50. Ameliorarea postoperatorie a calității vieții asociate cu starea de sănătate fizică (SF-12 PCS) și mintală (SF-12 MCS) a pacienților

Ce ține de satisfacția pacientului de rezultatul final al tratamentului chirurgical, majoritatea pacienților din ambele loturi au fost foarte mulțumiți de rezultatul obținut. În lotul experimental proporția pacienților satisfăcuți de tratament a depășit 95%, dar comparativ cu grupul de control diferența nu a fost semnificativă din punct de vedere statistic ($p=0.05$). Probabil că lărgirea loturilor de studiu ar permite identificarea unei diferențe semnificative, deși concluzia altor studii corelează cu cea a studiului nostru [145, 146].

Per general, literatura de specialitate abundă de concluzii contradictorii referitor la superioritatea artrodezei MIDLIF asupra artrodezei lombare posterioare în ceea ce privește reducerea intensității sindromului algic [57, 61, 191, 260], durata operației și rata complicațiilor [208, 235]

În studiul nostru, tehnica CoPd a demonstrat o morbiditate chirurgicală semnificativ mai joasă comparativ cu tehnica tradițională, în ceea ce ține de lungimea inciziei, durata operației,

hemoragia intraoperatorie, necesitatea de transfuzii sangvine și de traumatismul iatrogen al țesutului muscular, exprimat prin creșterea titrului seric al CK primele zile postoperatoriu. În grupul de control, volumul hemoragiei intraoperatorii a fost dublu față de grupul de control (figura 51).

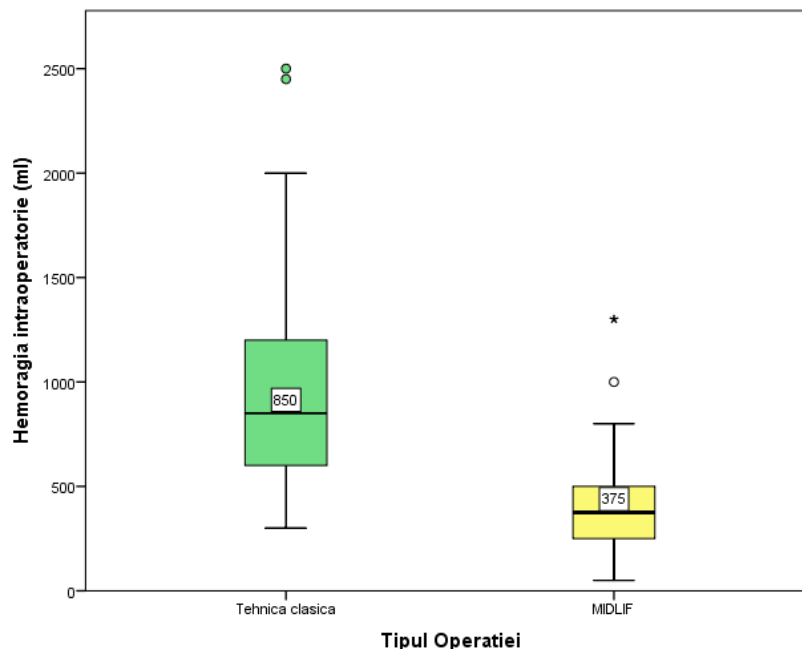


Figura 51. Volumul hemoragiei intraoperatorii a fost dublu în grupul de control comparativ cu grupul experimental

De asemenea, numărul pacienților care au necesitat transfuzii sangvine a fost de 2 ori mai mare în grupul de control L₀. Pierderile de sânge mai mici în lotul experimental sunt probabil asociate accesului chirurgical minimal invaziv al tehnicii MIDLIF, care necesită o incizie mai mică și o disecție musculară laterală mai restrânsă comparativ cu tehnica tradițională de artrodeza spinală. De fapt, lungimea inciziei cutanate în grupul L₁ a fost de 3 ori mai mică decât în grupul de control, această diferență fiind statistic semnificativă ($p < 0.001$). Durata operației a fost semnificativ mai mică în cazul aplicării șuruburilor CoPd ($p = 0.04$). Rezultatele noastre corelează cu cele ale studiului clinic randomizat desfășurat de Lee et al. (2015) care au constat că osteosinteza CoPd a fost asociată cu o morbiditate chirurgicală scăzută și anume o lungime mai mică a inciziei cutanate, o durată mai mică a operației și un volum semnificativ mai mic al hemoragiei intraoperatorii [144]. De asemenea, rezultatele studiului nostru corelează cu alte 12 studii (majoritatea retrospective) incluse în meta-analiza desfășurată de Wang et al. (2019) [271], care au raportat superioritatea tehnicii MIDLIF în ceea ce privește hemoragia, timpul chirurgical și lungimea inciziei.

Creatinkinaza serică este un indicator veridic al leziunii musculare. Măsurarea CK postoperator este o metodă acceptată de cuantificare a gradului de distrugere a fibrelor musculare

în timpul intervențiilor chirurgicale. În cadrul studiului nostru, creatinkinaza totală (CK Nac) a fost măsurată preoperatoriu și la 3 zile post-op. Creșterea în perioada postoperatorie timpurie a titrului seric al CK a fost mult mai exprimată în lotul L₀, diferența față de lotul L₁ fiind statistic semnificativă ($p = 0.01$). Acest test de laborator este o dovadă suplimentară a caracterului minimal invaziv al tehnicii MIDLIF comparativ cu tehnicile tradiționale de artrodeză. Rezultatele cercetării noastre vin să confirme concluziile altor studii, care au demonstrat scăderea semnificativă a markerilor inflamatori, inclusiv a CK, în cazul aplicării rahisintezei CoPd [179, 195, 203]

Totuși, studiul nostru nu a reușit să identifice vreo diferență importantă între tehnicile chirurgicale în raport cu durata spitalizării postoperatorii, spre deosebire de alte studii care au demonstrat că artrodeza MIDLIF este asociată cu o durată mai scurtă a spitalizării [111, 144, 155, 157].

În același timp, rata generală de complicații asociate artrodezei CoPd a fost similară cu tehnica clasică, fără vreo diferență semnificativă între loturi. Cea mai frecventă complicație a fost leziunea accidentală a durei mater, care a fost înregistrată într-un număr egal de pacienți în ambele grupuri (câte 5 pacienți din fiecare lot de studiu). Complicațiile „specifice” traiectului pedicular transcortical descrise în literatura de specialitate, cum ar fi fractura de *pars interarticularis* sau de pedicul în timpul inserției șuruburilor [123, 177], au fost înregistrate de noi la începutul curbei de învățare la 2 din primii 5 pacienți operați încă până la debutul studiului clinic. În ambele cazuri s-a fracturat istmul și pediculul de la vertebra inferioară a segmentului operat. Concluzia noastră a fost că aceste complicații au apărut din cauza rezeției excesive a istmului în timpul decompresiei recesului lateral, ce a slăbit peretele superior al pediculului. În același timp, impactul capului șurubului cu baza apofizei spinoase, care a fost rezeționată insuficient, a dus la dislocarea traiectoriei de inserție a șurubului. Șurubul pedicular, acționând în calitate de pârghie cu punctul de sprijin pe baza apofizei spinoase, a provocat fracturarea peretelui superior al pediculului. Același mecanism a fost ulterior presupus de către Cheng et al. (2016) în urma unui studiu cadaveric biomecanic [59]. Datorită ajustării tehnicii de decompresie în cadrul artrodezei MIDLIF, această complicație nu a fost înregistrată ulterior la nici un pacient inclus în studiul nostru.

Utilizarea neuronavigației este foarte importantă în cazul tehnicilor minimal invazive de artrodeză spinală, deoarece expoziția restrânsă a structurilor osoase posterioare ale coloanei vertebrale nu permit o identificare sigură și rapidă a reperelor anatomice necesare pentru inserția șuruburilor pediculare [203]. Din această cauză este necesară ghidarea imagistică a inserției șuruburilor pediculare prin fluoroscopie intraoperatorie, ceea ce expune pacientul și personalul medical la acțiunea radiațiilor ionizante. În cazul artrodezei MIDLIF utilitatea neuronavigației este și mai categorică, deoarece inserția șuruburilor CoPd în baza reperelor anatomice nu este fezabilă,

iar ghidarea cu ajutorul fluoroscopiei expune pacientul și personalul medical la o doză mult mai mare de radiație ionizantă, inserția șurubului pe traiect transcortical impunând un control imagistic multiplanar [87]. Pentru a evalua cât de mult a diminuat expoziția la radiațiile ionizante în urma implementării neuronavigației spinale, au fost colectate datele stocate în instalația de fluoroscopie intraoperatorie (Siemens C-Arm) din sala de operație. Ulterior a fost realizată o analiză statistică comparativă, având ca referință datele unui studiu multicentric care a înregistrat doză medie de radiație la care este expus un pacient în timpul intervenției chirurgicale de rahisinteză transpediculară în centrele de chirurgie ortopedică spinală din Franța [137]. Studiul nostru a demonstrat că utilizarea neuronavigației a redus de 4 ori doză de radiație la care este expus pacientul, iar timpul de iradiere a scăzut de 8 ori, diferența față de datele de referință fiind semnificative din punct de vedere statistic. Spre finele studiului, optimizarea procedurii de ghidare a șuruburilor pediculare prin neuronavigație a dus la eliminarea totală a necesității efectuării radioscopiei intraoperatorii. Fluoroscopia este folosită acum doar la începutul intervenției chirurgicale, pentru reperarea nivelului spinal care urmează a fi fuzionat și la sfârșitul operației, pentru evaluarea finală a poziției șuruburilor.

Inițial, protocolul de studiu includea utilizarea monitoringului neurofiziologic intraoperator (ISIS, Inomed) pentru supravegherea integrității structurilor nervoase pe parcursul intervenției chirurgicale, în special în timpul inserției implanturilor și a decompresiunii osoase. În caz de perforare a peretelui pedicular și de contact al șurubului cu rădăcina nervoasă, stimularea electrică a șurubului cu un curent de 7 - 8 mA poate evoca răspunsuri EMG pe grupul muscular corespunzător. Această tehnică s-a dovedit a fi foarte utilă în identificarea intraoperatorie timpurie a malpoziției șuruburilor pediculare. Însă, odată cu implementarea începând cu anul 2016 a neuronavigației spinale, precizia de inserție a șuruburilor pediculare a crescut practic la 100%, diminuând astfel semnificativ importanța monitoringului neurofiziologic în acest tip de intervenții chirurgicale. Pentru a reduce timpul și complexitatea procedurii chirurgicale, am decis pe parcurs să abandonăm folosirea monitoringului neurofiziologic în operațiile de artrodeză spinală segmentară și să renunțăm la studierea impactului acestei metode asupra ratei de malpoziție a implanturilor și a morbidității chirurgicale. Totuși, recomandăm cu insistență aplicarea monitoringului neurofiziologic intraoperator și a stimulării electrice directe a șuruburilor pediculare ca metodă de evaluare a malpoziției implanturilor în cadrul operațiilor de stabilizare a coloanei vertebrale, în cazurile de inserție a șuruburilor pediculare fără de ghidare prin neuronavigație sau în cazul când chirurgul se află în perioada timpurie a curbei de învățare a tehnicilor de artrodeză spinală.

În baza rezultatelor studiului și a experienței acumulate în urma tratamentului chirurgical al pacienților cu SPLD prin variate tipuri de artrodeză (TLIF, PLIF, PLF, MIDLIF), a fost elaborat și implementat în calitate de protocol instituțional Algoritmul Optimizat de Evaluare și Tratament Chirurgical al pacienților cu spondilolistezis degenerativ (Anexa 9). Algoritmul propune aprecierea stabilității segmentului motor la nivelul spondilolistezisului prin măsurarea mișcării de translație a vertebrelor pe radiografiile realizate în ortostatism („weight-bearing”) și pe imaginile IRM sau CT în poziție orizontală a pacientului (anexa 12). O excursie > 3 mm sau o creștere a unghiului dintre vertebre > 10 grade este suspectă pentru instabilitate vertebrală segmentară [256]. Un alt semn veridic de instabilitate spinală este efuziunea în spațiul articular fațetar pe imaginile IRM [147]. O efuziune bilaterală mai mare de 1.5 mm este semnificativă pentru a suspecta prezența unei instabilități dinamice [254]. În afară de semnele imagistice de instabilitate spinală, este importantă identificarea factorilor de pronostic pentru destabilizarea iatrogenă a segmentului motor în urma decompresiunii recesului lateral. Acestea sunt orientarea sagitală a fațetelor articulare și păstrarea înălțimii discului intervertebral la nivelul SPL. De asemenea, un risc foarte înalt de destabilizare iatrogenă o au pacienții cu stenoză foraminală unilaterală sau bilaterală, care necesită rezecția > 50% din fațetele articulare pentru a obține o decompresie adecvată a foramenului.

Un alt criteriu important pentru luarea deciziei tacticii de tratament este prezența osteoporozei. În afară de metoda standard de evaluare a calității osului prin osteodensitometria DEXA, algoritmul nostru propune măsurarea densității osoase vertebrale pe imaginile CT. La pacienții cu calcificare a aortei abdominale sau modificări osteo-sclerotice ale fațetelor articulare osteodensitometria DEXA poate furniza rezultate false, cu valori exagerat de înalte ale densității țesutului osos. În aceste cazuri este extrem de utilă măsurarea densității osoase în unități Hounsfield pe imaginile CT la nivelul vertebrei L1. O densitate a spongioasei vertebrale mai mică de 110 HU este foarte suspectă pentru prezența osteoporozei, chiar dacă T-scorul DEXA este mai mult de -1 (densitate normală) [287].

În cazul pacienților cu SPLD stabil și fără risc de destabilizare iatrogenă, este recomandată aplicarea tratamentului chirurgical decompresiv, preferabil prin intermediul intervențiilor chirurgicale non-disruptive minimal invazive, cum este decompresiunea transtubulară bilaterală a canalului rahidian prin laminectomie unilaterală „over the top” sau a laminectomiei cu păstrarea structurilor stabilizatoare de pe linia medie.

În cazul pacienților cu SPLD instabil sau cu risc de inducere iatrogenă a instabilității, tratamentul chirurgical depinde de calitatea țesutului osos. Pacienții cu osteoporoză (DEXA T-scor < -2.5 sau densitatea osoasă < 110 HU) ar putea beneficia de rahisinteză cu șuruburi

transpediculare ranforsate cu ciment acrilic pentru vertebroplastie în combinație cu artrodeza postero-laterală. Pacienții cu instabilitate segmentară confirmată și o densitate adecvată a țesutului osos vertebral ($L1 > 110$ HU) sunt candidați pentru tratamentul chirurgical de stabilizare a coloanei vertebrale prin una din metodele accesibile de artrodeză intersomatică.

Un grup distinct în luarea deciziei referitor la tactica de tratament o constituie pacienții cu stenoză foraminală unilaterală simptomatică. Acești pacienți prezintă un risc crescut de apariție a instabilității segmentare în urma decompresiei foraminale prin tehnica tradițională de fațetectomie. Totuși, metoda de decompresie spinală bilaterală prin laminectomie unilaterală („over the top”) permite decompresia adecvată a foramenului controlateral fără de a distruge articulația și fără de a destabiliza sever segmentul vertebral. Această tehnică ar putea fi considerată „de elecție” în cazul pacienților cu SPLD asociată cu stenoza foraminală simptomatică unilaterală, și osteoporoză vertebrală. Pe de altă parte, pacienții cu o densitate bună a țesutului osos vertebral și fără factori de risc pentru apariția pseudartrozei (fumători, vârsta înaintată, administrare cronică de medicamente antiinflamatoare), ar putea beneficia în urma tratamentului chirurgical de decompresie generoasă a neuro-foramenului prin fațetectomie totală și de stabilizare a coloanei vertebrale prin artrodeză intersomatică lombară.

Selectarea tipului de artrodeză depinde de preferințele și abilitățile chirurgului, de posibilitățile tehnice ale sălii de operație și de particularitățile individuale ale fiecărui pacient. Spre exemplu, un pacient cu grad jos de SPL degenerativ, obez, cu DIV relativ înalt și fără de hipertrofia fațetelor articulare de la nivelul proximal este un candidat ideal pentru artrodeza intersomatică MIDLIF cu șuruburi CoPd. Hipertrofia fațetelor articulare proximale prezintă o dificultate din punct de vedere tehnic, deoarece acoperă punctul de intrare a șurubului CoPd, localizat pe partea laterală și superioară a istmului vertebral. Pentru a facilita inserția șurubului transcortical, chirurgul este nevoit să înlăture partea inferioară a fațetei articulare proximale, ceea ce poate duce la destabilizarea și accelerarea degenerării nivelului adiacent [87]. În aceste cazuri, este preferabilă metoda minimal invazivă de artrodeză transforaminală MIS-TLIF sau una din metodele tradiționale de artrodeză (TLIF sau PLIF), care sunt foarte eficiente, deși sunt asociate cu o morbiditate chirurgicală mai înaltă.

De asemenea, aplicarea artrozei MIDLIF nu este recomandată când se dorește obținerea unei fuziuni intervertebrale la mai mult de 2 segmente spinale, deoarece proprietățile biomecanice ale construcțiilor mai lungi de 2 nivele de rahisinteză CoPd nu au fost studiate suficient. În aceste cazuri este rezonabilă utilizarea metodelor tradiționale de artrodeză intersomatică combinată cu rahisinteza cu șuruburi transpediculare, care poate oferi o stabilitate biomecanică și o rată de fuziune adecvată.

În circumstanțele colapsului discului intervertebral (pierderea a >80% din înălțimea inițială), inserția dispozitivelor de fuziune intersomatică devine tehnic dificilă, deoarece necesită efectuarea manevrelor agresive de expandare a spațiului discal. Aceste manipulații sunt asociate cu riscul de producere a leziunilor iatrogene ale structurilor nervoase. De asemenea, deteriorarea integrității platourilor vertebrale terminale poate cauza subsidența postoperatorie a cuștilor intersomatice. Pe de altă parte, pierderea critică a înălțimii discului intervertebral micșorează sever mobilitatea segmentului spinal și constituie unul din mecanismele naturale de stabilizare a spondilolistezisului. În aceste cazuri (SPLD și colaps al DIV), este suficientă aplicarea metodelor de artrodeză spinală fără de dispozitive intersomatice, cum ar fi tehnica tradițională de artrodeză lombară postero-laterală (PLF), care presupune promovarea fuziunii prin aplicarea grefelor osoase pe suprafața decorticată a apofizelor transverse și a fațetelor articulare. Artrodeza postero-laterală este mai puțin solicitantă din punct de vedere tehnic comparativ cu metodele intersomatice (TLIF, PLIF, MIDLIF), oferă o rată acceptabilă de fuziune spinală și este asociată cu un procent mai mic de cazuri de radiculopatie postoperatorie.

În circumstanțele disponibilității unui arsenal vast de metode de fuziune intersomatică (TLIF, PLIF, PLF, ALIF, OLIF, DLIF etc.), artrodeza MIDLIF are rolul unei tehnici de compromis, cedând parțial din rigiditatea construcțiilor transpediculare clasice în schimbul unui acces chirurgical mai puțin invaziv și a unei morbidități perioperatorii mai mici. Totodată, stabilitatea biomecanică oferită de fixatoarele interne cu șuruburi CoPd este suficientă în majoritatea cazurilor pentru realizarea unei fuziuni intervertebrale solide, aceasta fiind de fapt unul din obiectivele primordiale ale tratamentului pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ.

Obținerea unei artrodeze spinale solide este asociată de obicei cu rezultate clinice superioare și nu ar trebui neglijată. Totuși, chirurgul trebuie să selecteze metoda de tratament în funcție de propria experiență, de riscul de complicații, de caracteristicile anatomice și fiziologice, comorbiditățile și nu în ultimul rând de preferințele pacientului.

CONCLUZII GENERALE

În urma studiului efectuat, vizând stabilirea eficacității clinice și radio-imagistice a tehnicii chirurgicale de artrodeză intersomatică lombară mediană (MIDLIF) cu șuruburi cortico-pediculare ghidate de neuronavigație, aplicate exclusiv în tratamentul spondilolistezisului degenerativ, au fost cristalizate următoarele concluzii:

1. Tehnica MIDLIF este eficientă în realizarea artrodezei intersomatice. Rata de reușită a fuziunii intervertebrale în urma aplicării tehnicii MIDLIF (89.3%) este similară cu cea asociată tehnicilor tradiționale de artrodeză (83.9%).
2. Analiza statistică comparativă a demonstrat o superioritate semnificativă a tehnicii MIDLIF față de metodele tradiționale de artrodeză în ceea ce privește ameliorarea postoperatorie a sindromului algic (lombar și radicular), diminuarea handicapului funcțional și îmbunătățirea calității vieții asociate stării de sănătate fizică și mintală a pacientului.
3. Studiul nostru a dovedit că morbiditatea chirurgicală asociată tehnicii de artrodeză MIDLIF este semnificativ mai joasă comparativ cu metodele convenționale de fuziune intervertebrală. Tehnica MIDLIF a fost însoțită de o rată mult mai joasă a complicațiilor hemoragice. Volumul hemoragiei intraoperatorii a fost semnificativ mai mare în cazul metodelor tradiționale de artrodeză (1026 ml vs. 416 ml, $p < 0.001$). De asemenea și numărul pacienților care au necesitat transfuzii sangvine a fost considerabil mai mare în cazul aplicării tehnicilor clasice (33.9% vs. 14.3%, $p < 0.05$). În plus, artrodeza MIDLIF a fost asociată cu o durată semnificativ mai scurtă a timpului chirurgical (295 min vs. 333 min, $p < 0.05$) și o lungime mult mai mică a inciziei cutanate (6.27 cm vs. 17.46 cm, $p < 0.001$). Leziunea chirurgicală a țesutului muscular, exprimată prin creșterea titrului seric al creatin kinazei, a fost semnificativ mai joasă în cazul artrodezei MIDLIF (163 vs. 576 U/L, $p < 0.05$), ceea ce confirmă suplimentar caracterul minimal invaziv al metodei studiate. Rata generală de complicații intra și postoperatorii a fost similară pentru ambele tehnici chirurgicale cercetate.
4. Neuronavigația intraoperatorie este o modalitate tehnică foarte eficientă de ghidare a inserției șuruburilor pediculare, atât pe traiect tradițional cât și pe traiectul CoPd. Aplicarea neuronavigației la pacienții incluși în studiul științific a rezultat într-o siguranță înaltă de plasare a implanturilor, rata de malpoziție fiind egală cu zero. De asemenea, utilizarea neuronavigației a redus semnificativ doza de iradiere și durata de expoziție pacienților la radiațiile ionizante.

Metoda standard de ghidare a inserției șuruburilor transpediculare cu ajutorul neuronavigației spinale nu este valabilă în cazul artrodezei MIDLIF din cauza traiectului specific al șuruburilor CoPd. Configurația intraoperatorie a neuronavigației poate fi optimizată pentru inserția șuruburilor transcorticale prin fixarea cadrului dinamic de referință pe apofiza spinoasă a vertebrei supraiacente segmentului fuzionat și prin schimbarea poziției camerei cu infraroșu, care este permutată la capul pacientului.

5. Rezultatele studiului au permis elaborarea și fundamentarea științifică a unui algoritm optimizat de evaluare imagistică și tratament chirurgical al pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ, cu includerea noilor modalități tehnice (neuronavigația spinală, șuruburile cu traiect CoPd, artrodeza MIDLIF, decompresia rahidiană transtubulară mini-invazivă). În baza acestui algoritm a fost înregistrat și implementat în practică Protocolul Clinic Instituțional de diagnostic și tratament al pacienților cu spondilolistezis lombar degenerativ.

RECOMANDĂRI PRACTICE

1. Balansarea coloanei vertebrale apărută în timpul canulării manuale a pediculelor poate duce la apariția erorilor de localizare spațială a instrumentului chirurgical de către sistemul de neuronavigație. Această complicație poate fi evitată prin utilizarea drill-urilor electrice sau a bormașinii, care exclud necesitatea aplicării forței de-a lungul instrumentului în timpul preparării pediculelor.
2. Osteodensitometria DEXA poate furniza valori fals crescute ale densității osoase. O metodă alternativă este măsurarea densității osoase în unități Hounsfield (HU) pe tomografia computerizată. O valoare a densității țesutului osos spongios la nivelul vertebrei lombare L1 de 110 HU este specifică pentru osteoporoză și de 130 HU – pentru osteopenie.
3. Traiectul CoPd divergent permite implantarea șuruburilor în vertebrele care au fost anterior supuse verterbroplastiei cu ciment acrilic (ex. în caz de hemangiom), aceasta fiind o limitare tehnică majoră în cazul șuruburilor cu traiect pedicular tradițional.
4. Artrodeza MIDLIF ar trebui aplicată cu atenție pentru stabilizarea joncțiunii lombo-sacrale din cauza ratei înalte de fuziune întârziată („pseudartroză blocată”) aparent asociate utilizării acestei tehnici la nivelul segmentului L5-S1. În caz de artrodeză L5-S1, recomandăm inserția a două cuști intersomatice de tip PLIF pentru a oferi un suport biomecanic robust pilonului anterior al coloanei vertebrale.
5. Până la inserția șuruburilor CoPd, este necesară realizarea unei rezecții adecvate a structurilor osoase localizate pe linia medie. Impactul capului șurubului cu baza apofizei spinoase poate duce la dislocarea șurubului și la fracturarea istmului sau a pediculului. O altă modalitate de a evita această complicație este utilizarea șuruburilor cu cap atașabil.
6. Degenerarea severă și hipertrofia fațetelor articulare de la nivelul spinal proximal de spondilolistezis (ex. articulația L3-L4 în caz de SPLD L4-L5) poate fi recomandată în calitate de criteriu de excludere în cazul selecției pacienților pentru artrodeza intersomatică MIDLIF.
7. Pacienții cu SPLD fără de instabilitate segmentară sau stenoză foraminală bilaterală simptomatică, ar putea beneficia în urma intervenției chirurgicale minimal invazive de laminectomie unilaterală pentru decompresie bilaterală a canalului rahidian („over the top”). Această metodă non-disruptivă micșorează riscul de destabilizare iatrogenă a segmentului spinal, permite decompresia adecvată a stenozei rahidiene și oferă un acces optimal pentru decompresia foramenului neural controlateral.

BIBLIOGRAFIE

1. Adams JE. Quantitative computed tomography. *Eur J Radiol.* 2009; 71(3): 415-424. ISSN 0720-048x. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.04.074. PMID: 19682815.
2. Agyei JO, Khan A, Jowdy PK, et al. Robot-Assisted Cortical Bone Trajectory Insertion of Pedicle Screws: 2-Dimensional Operative Video. *Operative neurosurgery (Hagerstown, Md).* 2020; 18(5): E171. ISSN 2332-4252. doi: 10.1093/ons/opz216. PMID: 31342070.
3. Akpolat YT, Inceoglu S, Kinne N, et al. Fatigue Performance of Cortical Bone Trajectory Screw Compared With Standard Trajectory Pedicle Screw. *Spine.* 2016; 41(6): E335-341. ISSN 1528-1159 doi: 10.1097/BRS.0000000000001233. PMID: 26555831.
4. Alimi M, Hofstetter CP, Cong GT, et al. Radiological and clinical outcomes following extreme lateral interbody fusion. *J Neurosurg Spine.* 2014; 20(6): 623-635. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.1.spine13569. PMID: 24702513.
5. Asamoto S, Kojima K, Winking M, et al. Optimized Screw Trajectory for Lumbar Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws Based on Clinical Outcome: Evidence Favoring the Buttress Effect Theory. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2018; 79(6): 464-470. ISSN 2193-6315. doi: 10.1055/s-0038-1641147. PMID: 29710368.
6. Ashayeri K, Nasser R, Nakhla J, et al. The use of a pedicle screw-cortical screw hybrid system for the surgical treatment of a patient with congenital multilevel spinal non-segmentation defect and spinal column deformity: a technical note. *Eur Spine J.* 2016; 25(11): 3760-3764. ISSN 0940-6719. doi: 10.1007/s00586-016-4561-x. PMID: 27137999.
7. Ashayeri K, Sahasrabudhe N, Galic V, et al. Retrospective Analysis of EMG-evoked Potentials in Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws. *Clin Spine Surg.* 2018; 31(8): E391-e396. ISSN 2380-0186. doi: 10.7759/cureus.2891. PMID: 30134267.
8. Baluch DA, Patel AA, Lullo B, et al. Effect of physiological loads on cortical and traditional pedicle screw fixation. *Spine.* 2014; 39(22): E1297-1302. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000000553. PMID: 25099320.
9. Bielecki M, Kunert P, Prokopienko M, et al. Midline lumbar fusion using cortical bone trajectory screws. Preliminary report. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne.* 2016; 11(3): 156-163. ISSN 1895-4588 doi: 10.5114/wiitm.2016.62289. PMID: 27829938.
10. Bielecki M, Kunert P, Balasa A, et al. Clinical and radiological results of treating lumbar spondylosis with cortical bone trajectory screws. *Medicine (Baltimore).* 2021; 100(44): e27670. ISSN 0025-7974. doi: 10.1097/md.00000000000027670. PMID: 34871243.
11. Bodi A. Managementul chirurgical și prevenirea eșecurilor postoperatorii în tratamentul pacienților cu sindroame neurocompresive discogene lombare: Specialitatea: 321.21 – Neurochirurgie: Teză de doctor în științe medicale / Aureliu Bodi; consultanți șt.: dr. hab., prof. universitar Evghenii Pedacenko; dr. hab., conf. universitar Nicolae Caproș. – Chișinău, 2014. - 258 p. : il. - Bibliogr.: p. 220-242.
12. Bodi A. Neurochirurgia endoscopică a herniei discale lombare (studiu comparativ): teză de doctor în șt. med. / A. Bodi ; cond. șt.: G. Zapuhlîh ; cons. șt.: S. Groppa ; Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu". - Chișinău, 2008. - 143 p. : il. - Bibliogr.: p. 117-134.
13. Bodi A. Fiziopatologia durerii radiculare în hernia discală lombară. *Curierul Medical.* 2008; 303(3): 149-152.

14. Bodi A. Minimally invasive lumbar disk surgery: technique and results. *Curierul Medical*. 2013; 56(3): 57-63.
15. Bodi A. Diagnosis and operator treatment of the patients with failed back surgery caused by herniated disk relapse. *J Med Life*. 2014; 7(4): 533.
16. Bodi A. Hernia de disc lombară: Tratament chirurgical minim-invaziv endoscopic. Chisinau: (Tipografia ASM); 2014. 180 p.
17. Bodi A, Cușnir I, Eftodiev E. Rezultatele tratamentului chirurgical prin aplicarea fuziunii intervertebrale transforaminale în cadrul sindromului de eșec al chirurgiei lombare. *Bulletin of the Academy of Sciences of Moldova Medical Sciences*. 2014; 45(4): 77-81. ISSN 1857-0011.
18. Bodi A, **Borodin S**, Sumleanski A, editors. Our early experience with the use of BrainLab Curve neuronavigation system in the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) procedure, for the surgical treatment of the degenerative spondylolisthesis. *Ukrainian Neurosurgery Conference “Traumatic injuries of the central and peripheral nervous system”*; 2016; Kamianets-Podilskyi, Ukraine.
19. Bohl MA, Hlubek RJ, Kakarla UK, et al. Divergent Bilateral Posterior Lumbar Interbody Fusion with Cortical Screw Fixation: Description of New Trajectory for Interbody Technique from Midline Exposure. *World Neurosurg*. 2018; 113: e480-e485. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.060. PMID: 29462734.
20. **Borodin S**, Sumleanski A, Bodi A, editors. Первичный опыт применения транскортикальной костной траектории транспедикулярных винтов с использованием спинальной нейронавигации при хирургическом лечении поясничного дегенеративного спондилолистеза. *The 1st Russian Congress of Functional and Stereotactic Surgeons*; 2016; Moscow, Russian Federation.
21. **Borodin S**. Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) with Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws, Used In The Treatment of Degenerative Disk Disease. Salzburg, Austria 2017. Available from: https://mhb.openmedicalinstitute.org/media/2017/608/main/data/lectures/608_bo/index.html.
22. **Borodin S**. Fixarea segmentară internă a coloanei vertebrale cu șuruburi pediculare transcorticale. *Revista literaturii. Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale* 2017; 3(55): 198-205. ISSN 1857-0011.
23. **Borodin S**, Sumleanski A, Bodi A. Early Clinical Results with the Midline Lumbar Interbody Fusion Using Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws. *Turk Neurosurg*. 2017; 27 (Supplement): 259. ISSN 1019-5149
24. **Borodin S**, Bobeico S, Sumleanski A, editors. The lumbar interbody fusion using cortical bone trajectory pedicle screws: clinical results of the lumbar degenerative spondylosis surgical treatment. *MedEspera*; 2018.
25. **Borodin S**, Bodi A, Eftodiev E, et al., editors. Clinical and radiological features of cortical bone trajectory pedicle screw fixation of lumbar spine. *The Moldovan Medical Journal: The IVth Congress of Radiology and Medical Imaging of the Republic of Moldova with international participation, Chisinau, May 31–June 2; 2018: Scientific Medical Association of Moldova*.
26. **Borodin S**, Sumleanski A, Bezer M, editors. Clinical and radiological outcomes comparison of the posterior lumbar interbody fusion with cortical bone trajectory screw

fixation (MIDLF) and conventional pedicle screw fixation for low-grade degenerative spondylolisthesis. MedEspera; 2020.

27. **Borodin S.** Clinical efficacy of midline lumbar interbody fusion arthrodesis with neuronavigation-guided cortical bone trajectory screws in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis: a prospective randomized controlled trial. *Mold J Health Sci.* 2022; 10(1): 9-15. doi: <https://doi.org/10.52645/MJHS.2023.1.02>.
28. **Borodin S.** Clinical efficacy of midline lumbar interbody fusion arthrodesis with neuronavigation-guided cortical bone trajectory screws in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis: a prospective randomized controlled trial. *Revista de Științe ale Sănătății din Moldova.* 2023; 10(1): 9-15. ISSN SSN 2345-1467. doi: 10.52645/MJHS.2023.1.02.
29. **Borodin S.** Delayed successful interbody fusion after initially failed midline lumbar interbody fusion spinal arthrodesis in a patient with degenerative lumbar spondylolisthesis and severe osteoporosis. *Revista de Științe ale Sănătății din Moldova.* 2023; 10(2): 54-60.
30. **Borodin S, Bodi A, Eftodiev E, et al.** Clinical and Radiological Efficacy of the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) in Treating Patients with Degenerative Spondylolisthesis: Final Results of a Prospective Randomized Controlled Trial. *Brain and Spine.* 2023; 3: 17. ISSN 2772-5294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bas.2023.101840>.
31. **Bridwell KH, Gupta M.** *Bridwell and Dewald's Textbook of Spinal Surgery:* Lippincott Williams & Wilkins; 2019.
32. **Bruzzo M, Severi P, Bacigaluppi S.** Midline Lumbar Fusion with cortical bone trajectory as first line treatment in a selected series of patients with lumbar instability. *J Neurosurg Sci.* 2017. ISSN 0390-5616. doi: 10.23736/s0390-5616.17.03976-5. PMID: 28497667.
33. **Bruzzo M, Severi P, Bacigaluppi S.** Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory as first line treatment in a selected series of patients with lumbar instability. *J Neurosurg Sci.* 2020; 64(3): 238-242. ISSN 0390-5616. doi: 10.23736/s0390-5616.17.03976-5. PMID: 28497667.
34. **Burkus JK, Foley K, Haid RW, et al.** Surgical Interbody Research Group--radiographic assessment of interbody fusion devices: fusion criteria for anterior lumbar interbody surgery. *Neurosurg Focus.* 2001; 10(4): E11. ISSN 1092-0684. doi: 10.3171/foc.2001.10.4.12. PMID: 16732627.
35. **Buza JA, 3rd, Good CR, Lehman RA, Jr., et al.** Robotic-assisted cortical bone trajectory (CBT) screws using the Mazor X Stealth Edition (MXSE) system: workflow and technical tips for safe and efficient use. *J Robot Surg.* 2020. ISSN 1863-2483. doi: 10.1007/s11701-020-01147-7. PMID: 32989623.
36. **Calvert GC, Lawrence BD, Abtahi AM, et al.** Cortical screws used to rescue failed lumbar pedicle screw construct: a biomechanical analysis. *J Neurosurg Spine.* 2015; 22(2): 166-172. ISSN 1547-5646 doi: 10.3171/2014.10.SPINE14371. PMID: 25478820.
37. **Capros N, Pulbere O, Gubin A, et al.** Surgical treatment of scoliosis with dorsal instrumentation. 2016. ISSN 1810-1852.
38. **Caproș N.** Tratatamentul chirurgical în complexul de recuperare a bolnavilor cu diformități scoliotice și posttraumatice ale coloanei vertebrale : teză de doctor habilitat în șt. med. / N. Caproș ; cons. șt.: I. Marin, A. Brusco ; Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu". - Chișinău, 2009. - 298 p. : il. - Bibliogr.: p. 260-289.

39. Caproș N. Tratatamentul chirurgical al scoliozelor lombare asociate cu stenoza canalului rahidian. *Analele Științifice ale USMF "Nicolae Testemițanu"*. 2008; 4: 130-132.
40. Caproș N. Corecția chirurgicală a deformităților scoliotice idiopatice și displazice. *Analele Științifice ale USMF „N Testemițanu”*. 2008; 9(4): 136-141.
41. Caproș N. Corecția chirurgicală a diformităților scoliotice cu instrumentația Cotrell–Dubousset. *Arta Medica*. 2009; 35(2): 40-46.
42. Caproș N, Marin I. Tratatamentul chirurgical al scoliozelor cu instrumentația Cotrel Dubousset. *Analele Științifice ale USMF „N Testemițanu”*. 2009; 10(4): 224-231.
43. Caproș N. Tratatamentul chirurgical al bolnavilor cu dereglări neurologice în diformitățile scoliotice avansate. *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină*. 2012; 42(3): 106-108.
44. Caproș N, Mereuță I, Dascaluic I, et al. Tratatamentul chirurgical al bolnavilor cu diformități vertebrale de origine neoplazică. *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină*. 2012; 42(3): 151-152.
45. Caproș N, Mereuță I, Olaru A. Tratatamentul chirurgical al diformităților secundare proceselor neoplazice vertebrale. 2012.
46. Caproș N, Pulbere O, Tagadiuc A, et al. Tratatamentul chirurgical al diformităților scoliotice vertebrale. *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină: Conferința a XIII-a națională a ortopezilor-traumatologi din Republica Moldova cu participare internațională, consacrată jubileului de 50 de ani de la fondarea Catedrei Ortopedie și Traumatologie, Aspecte contemporane în diagnosticul și tratamentul patologiilor osteoarticulare ale aparatului locomotor, Chișinău, 14 septembrie 2012*. 2012. ISSN 1729-8687.
47. Caproș N, Cimil A, Bodiș A, et al. Scolioza adultului: particularități clinico-diagnostice și tratament complex. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale*. 2014; 43(2): 19-23.
48. Caproș N, Mereuță I, Dascaluic I, et al. Conduita chirurgicală la bolnavii cu afecțiuni vertebrale neoplazice. *Revista științifico-practică "Info-Med"*. 2016; 28(2): 190-192.
49. Caproș N. Tratatamentul chirurgical al scoliozelor. *Arta Medica*. 2017; 63(2): 14-15.
50. Caterini R, Mancini F, Bisicchia S, et al. The correlation between exaggerated fluid in lumbar facet joints and degenerative spondylolisthesis: prospective study of 52 patients. *J Orthop Traumatol*. 2011; 12(2): 87-91. ISSN 1590-9921. doi: 10.1007/s10195-011-0141-3. PMID: 21597993.
51. Chang C-C, Kuo C-H, Chang H-K, et al. Minimally invasive dynamic screw stabilization using cortical bone trajectory. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020; 21(1): 605. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-020-03629-z.
52. Chang MC, Choo YJ, Lee GW. Pedicle screws versus cortical screws in posterior lumbar interbody fusion surgery for degenerative spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2021; 21(7): 1126-1134. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2021.02.019. PMID: 33640584.
53. Chen C-H, Chen D-C, Huang H-M, et al. Level-based analysis of screw loosening with cortical bone trajectory screws in patients with lumbar degenerative disease. *Medicine*. 2020; 99(40): e22186-e22186. ISSN 1536-5964. doi: 10.1097/MD.00000000000022186. PMID: 33019393.

54. Chen CH, Huang HM, Chen DC, et al. Cortical bone trajectory screws fixation in lumbar adjacent segment disease: A technique note with case series. *J Clin Neurosci*. 2018; 48: 224-228. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2017.11.008. PMID: 29208475.
55. Chen CH, Tu CH, Chen DC, et al. Incidence of Screw Loosening in Cortical Bone Trajectory Fixation Technique between Single- and Dual-Threaded Screws. *Medicines (Basel)*. 2021; 8(9). ISSN 2305-6320. doi: 10.3390/medicines8090050. PMID: 34564091.
56. Chen Y, Deb S, Jabarkheel R, et al. Minimally Invasive Lumbar Pedicle Screw Fixation Using Cortical Bone Trajectory: Functional Outcomes. *Cureus*. 2018; 10(10): e3462. ISSN 2168-8184 doi: 10.7759/cureus.3462. PMID: 30564541.
57. Chen YR, Deb S, Pham L, et al. Minimally Invasive Lumbar Pedicle Screw Fixation Using Cortical Bone Trajectory - A Prospective Cohort Study on Postoperative Pain Outcomes. *Cureus*. 2016; 8(7): e714. ISSN 2168-8184 doi: 10.7759/cureus.714. PMID: 27610286.
58. Cheng WK, Inceoglu S. Cortical and Standard Trajectory Pedicle Screw Fixation Techniques in Stabilizing Multisegment Lumbar Spine with Low Grade Spondylolisthesis. *International journal of spine surgery*. 2015; 9: 46. ISSN 2211-4599 doi: 10.14444/2046. PMID: 26484009.
59. Cheng WK, Akpolat YT, Inceoglu S, et al. Pars and pedicle fracture and screw loosening associated with cortical bone trajectory: a case series and proposed mechanism through a cadaveric study. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2016; 16(2): e59-65. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2015.09.046. PMID: 26409413.
60. Cheng WK, Akpolat YT, Inceoglu S, et al. Pedicle screws with modular head vs. preassembled head used in cortical bone trajectory: Can pars and pedicle fractures be prevented in osteoporotic bone? *J Clin Neurosci*. 2018; 47: 304-310. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2017.09.012. PMID: 29074318.
61. Chin KR, Pencle FJR, Coombs AV, et al. Clinical Outcomes With Midline Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws Versus Traditional Pedicle Screws in Moving Lumbar Fusions From Hospitals to Outpatient Surgery Centers. *Clin Spine Surg*. 2017; 30(6): E791-e797. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000436. PMID: 27642816.
62. Chiu PY, Chi JE, Kao FC, et al. Minimally Invasive Surgery Combining Cortical Bone Trajectory Screws and Pedicle Screws to Treat Spondylodiskitis: Technical Notes and Preliminary Results. *World Neurosurg*. 2019. ISSN 1878-8750. doi:10.1016/j.wneu.2019.11.165. PMID: 31809891.
63. Choudhri TF, Mummaneni PV, Dhall SS, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: radiographic assessment of fusion status. *J Neurosurg Spine*. 2014; 21(1): 23-30. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.4.spine14267. PMID: 24980581.
64. Chung TT, Chu CL, Hueng DY, et al. A parametric investigation on traditional and cortical bone trajectory screws for transpedicular fixation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022; 23(1): 612. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-022-05477-5. PMID: 35761302.
65. Cieza A, Causey K, Kamenov K, et al. Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2020; 396(10267): 2006-2017. ISSN 0140-6736. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32340-0.

66. Cimil A, Tintiuc D, Caproș N. Managementul contemporan în tratamentul de recuperare al pacienților de profil ortopedic. *Общественное здоровье, экономика и менеджмент в медицине*. 2014; (2 (53)): 89-92. ISSN 1729-8687.
67. Cociug A, Zota E, Caproș N, et al. The concordances between MRI and histology evolution of the lumbar intervertebral disc degenerative changes. *Archives of the Balkan Medical Union Supliment*. 2013; 48(S3): 44-45.
68. Cofano F, Marengo N, Ajello M, et al. The Era of Cortical Bone Trajectory Screws in Spine Surgery: A Qualitative Review with Rating of Evidence. *World Neurosurg*. 2019. ISSN 1878-8769 doi: 10.1016/j.wneu.2019.10.079. PMID: 31639506.
69. Cofano F, Zenga F, Mammi M, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery: technical review in open and minimally invasive approaches. *Neurosurg Rev*. 2019; 42(2): 297-307. ISSN 0344-5607. doi: 10.1007/s10143-017-0939-4. PMID: 29313181.
70. Cornaz F, Widmer J, Fasser MR, et al. Is a cross-connector beneficial for single level traditional or cortical bone trajectory pedicle screw instrumentation? *PLoS One*. 2021; 16(6): e0253076. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0253076. PMID: 34115816.
71. Crawford CH, 3rd, Owens RK, 2nd, Djurasovic M, et al. Minimally-Invasive midline posterior interbody fusion with cortical bone trajectory screws compares favorably to traditional open transforaminal interbody fusion. *Heliyon*. 2019; 5(9): e02423. ISSN 2405-8440 doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02423. PMID: 31535047.
72. Cunningham JE, Rennerfelt K, Sharma D, et al. *Lumbar Spine Online Textbook 2020* [Available from: <http://www.wheelsonline.com/ortho/issls/contents>].
73. Dabbous B, Brown D, Tsitlakidis A, et al. Clinical outcomes during the learning curve of MIDline Lumbar Fusion (MIDLF(R)) using the cortical bone trajectory. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016; 158(7): 1413-1420. ISSN 0942-0940. doi: 10.1007/s00701-016-2810-8. PMID: 27117906.
74. Dayani F, Chen YR, Johnson E, et al. Minimally invasive lumbar pedicle screw fixation using cortical bone trajectory - Screw accuracy, complications, and learning curve in 100 screw placements. *J Clin Neurosci*. 2019; 61: 106-111. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2018.10.131. PMID: 30420203.
75. de Kunder SL, Rijkers K, Caelers I, et al. Lumbar Interbody Fusion: A Historical Overview and a Future Perspective. *Spine*. 2018; 43(16): 1161-1168. ISSN 1528-1159 doi: 10.1097/BRS.0000000000002534. PMID: 29280929.
76. Delgado-Fernandez J, Garcia-Pallero MA, Blasco G, et al. Review of Cortical Bone Trajectory: Evidence of a New Technique. *Asian Spine J*. 2017; 11(5): 817-831. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2017.11.5.817. PMID: 29093793.
77. Delgado-Fernandez J, Pulido Rivas P, Gil-Simoes R, et al. How I do it? Lumbar cortical bone trajectory fixation with image-guided neuronavigation. *Acta Neurochir (Wien)*. 2019. ISSN 0942-0940 doi: 10.1007/s00701-019-04067-0. PMID: 31612278.
78. Delgado-Fernández J, Frade-Porto N, Blasco G, et al. Simulation with 3D Neuronavigation for Learning Cortical Bone Trajectory Screw Placement. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*. 2020. ISSN 2193-6315. doi: 10.1055/s-0040-1715485. PMID: 33260245.
79. Ding H, Hai Y, Liu Y, et al. Cortical Trajectory Fixation Versus Traditional Pedicle-Screw Fixation in the Treatment of Lumbar Degenerative Patients with Osteoporosis: A

- Prospective Randomized Controlled Trial. *Clin Interv Aging*. 2022; 17: 175-184. ISSN 1176-9092. doi: 10.2147/cia.s349533. PMID: 35237030.
80. Djurasovic M, Gum JL, Crawford CH, et al. Cost-effectiveness of minimally invasive midline lumbar interbody fusion versus traditional open transforaminal lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2019; 1-5. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2019.6.spine1965. PMID: 31518977.
 81. Eck JC, Sharan A, Ghogawala Z, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 7: lumbar fusion for intractable low-back pain without stenosis or spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine*. 2014; 21(1): 42-47. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.4.spine14270. PMID: 24980584.
 82. Eftodiev E. *Microneurochirurgia herniei de disc lombare : teză de doctor în șt. med. / E. Eftodiev ; cond. șt.: G. Zapuhlîh ; cons. șt.: D. Gherman ; Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu". - Chișinău, 2009. - 136 p.*
 83. Eftodiev E. Tratatamentul chirurgical al herniei de disc lombare mediane. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale*. 2011; 29(1): 212-215.
 84. El Saman A, Meier S, Sander A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2013; 39(5): 455-460. ISSN 1863-9933 doi: 10.1007/s00068-013-0310-6. PMID: 26815440.
 85. Elmekaty M, Kotani Y, Mehy EE, et al. Clinical and Radiological Comparison between Three Different Minimally Invasive Surgical Fusion Techniques for Single-Level Lumbar Isthmic and Degenerative Spondylolisthesis: Minimally Invasive Surgical Posterolateral Fusion versus Minimally Invasive Surgical Transforaminal Lumbar Interbody Fusion versus Midline Lumbar Fusion. *Asian Spine J*. 2018; 12(5): 870-879. ISSN 1976-1902. doi: 10.31616/asj.2018.12.5.870. PMID: 30213170.
 86. Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index. *Spine*. 2000; 25(22): 2940-2952; discussion 2952. ISSN 0362-2436 doi: 10.1097/00007632-200011150-00017. PMID: 11074683.
 87. Feng Z-H, Li X-B, Tian N-F, et al. The technique of cortical bone trajectory screw fixation in spine surgery: a comprehensive literature review. *AME Medical Journal*. 2018; 3: 8-8. ISSN 25200518. doi: 10.21037/amj.2017.12.09.
 88. Fogel GR, Toohey JS, Neidre A, et al. Fusion assessment of posterior lumbar interbody fusion using radiolucent cages: X-ray films and helical computed tomography scans compared with surgical exploration of fusion. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2008; 8(4): 570-577. ISSN 1529-9430 doi: 10.1016/j.spinee.2007.03.013. PMID: 17544854.
 89. Försth P, Ólafsson G, Carlsson T, et al. A Randomized, Controlled Trial of Fusion Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *N Engl J Med*. 2016; 374(15): 1413-1423. doi: 10.1056/NEJMoa1513721. PMID: 27074066.
 90. Frumusachi O, Bodi A, Rotaru N. Dilema diagnosticului imagistic în dereglările de statică ale coloanei vertebrale. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale*. 2017; 55(3): 326-330.
 91. Fujiwara S, Ohnishi Y, Iwatsuki K, et al. Cortical bone trajectory fixation cause low compression force in anterior vertebral column. *N Am Spine Soc J*. 2022; 10: 100113. ISSN 2666-5484. doi: 10.1016/j.xnsj.2022.100113. PMID: 35434674.

92. Gao H, Zhang R, Jia C, et al. Novel Placement of Cortical Bone Trajectory Screws in the Lumbar Spine: A Radiographic and Cadaveric Study. *Clin Spine Surg.* 2018; 31(6): E329-e336. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000651. PMID: 29782335.
93. Gautschi OP, Garbossa D, Tessitore E, et al. Maximal access surgery for posterior lumbar interbody fusion with divergent, cortical bone trajectory pedicle screws: a good option to minimize spine access and maximize the field for nerve decompression. *J Neurosurg Sci.* 2017; 61(3): 335-341. ISSN 0390-5616. doi: 10.23736/s0390-5616.16.03230-6. PMID: 26082380.
94. Ghogawala Z, Dziura J, Butler WE, et al. Laminectomy plus Fusion versus Laminectomy Alone for Lumbar Spondylolisthesis. *N Engl J Med.* 2016; 374(15): 1424-1434. ISSN 0028-4793. doi: 10.1056/NEJMoa1508788. PMID: 27074067.
95. Gibson JN, Waddell G. Surgery for degenerative lumbar spondylosis: updated Cochrane Review. *Spine.* 2005; 30(20): 2312-2320. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/01.brs.0000182315.88558.9c. PMID: 16227895.
96. Glassman SD, Copay AG, Berven SH, et al. Defining substantial clinical benefit following lumbar spine arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2008; 90(9): 1839-1847. ISSN 0021-9355. doi: 10.2106/jbjs.g.01095. PMID: 18762642.
97. Glennie RA, Dea N, Kwon BK, et al. Early clinical results with cortically based pedicle screw trajectory for fusion of the degenerative lumbar spine. *J Clin Neurosci.* 2015; 22(6): 972-975. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2015.01.010. PMID: 25769253.
98. Goldstein MJ, Bruffey J, Eastlack RK. New Minimally Invasive Technique for Direct Pars Interarticularis Osteosynthesis Using Cortical Screws and Spinous-Process Modular Link. *Spine.* 2016; 41(23): E1421-e1424. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000001652. PMID: 27105462.
99. Grigoryan G, Inceoglu S, Danisa OA, et al. Sacral Endplate Penetrating Screw for Lumbosacral Fixation: A Cadaveric Biomechanical Study. *Operative neurosurgery (Hagerstown, Md).* 2019; 17(4): 396-402. ISSN 2332-4260. doi: 10.1093/ons/opy388. PMID: 30690511.
100. Guha D, Jakubovic R, Gupta S, et al. Intraoperative Error Propagation in 3-Dimensional Spinal Navigation From Nonsegmental Registration: A Prospective Cadaveric and Clinical Study. *Global Spine J.* 2019; 9(5): 512-520. ISSN 2192-5682 doi: 10.1177/2192568218804556. PMID: 31431874.
101. Guo H-Z, Tang Y-C, Guo D-Q, et al. Biomechanical evaluation of four different posterior instrumentation techniques for single-level transforaminal lumbar interbody fusion: a finite element analysis. *American journal of translational research.* 2020; 12(10): 6160-6169. ISSN 1943-8141. PMID: 33194021.
102. Han B, Ding H, Hai Y, et al. May the midline lumbar interbody fusion (MIDLIF) prevent the early radiographic adjacent segment degeneration? A minimum 3-year follow-up comparative study of MIDLIF in L4/5 with cortical bone trajectory screw versus traditional pedicle screw fixation. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022; 23(1): 480. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-022-05363-0. PMID: 35596180.
103. Han DP, Wang JY. Comparison of Different Insertion Techniques for Lumbosacral Fixation Improvement: A Finite Element Study. *Orthop Surg.* 2020; 12(1): 262-268. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12624. PMID: 32077260.

104. Hayashi K, Toyoda H, Terai H, et al. Comparison of minimally invasive decompression and combined minimally invasive decompression and fusion in patients with degenerative spondylolisthesis with instability. *J Clin Neurosci*. 2018; 57: 79-85. ISSN 1532-2653 doi: 10.1016/j.jocn.2018.08.032. PMID: 30154001.
105. He K, Dong C, Wei H, et al. A Minimally Invasive Technique Using Cortical Bone Trajectory Screws Assisted by 3D-Printed Navigation Templates in Lumbar Adjacent Segment Degeneration. *Clin Interv Aging*. 2021; 16: 1403-1413. ISSN 1176-9092 doi: 10.2147/cia.s318525. PMID: 34321872.
106. Hoffman H, Verhave B, Jalal MS, et al. Comparison of Cortical Bone Trajectory Screw Placement Using the Midline Lumbar Fusion Technique to Traditional Pedicle Screws: A Case-Control Study. *International journal of spine surgery*. 2019; 13(1): 33-38. ISSN 2211-4599 doi: 10.3171/2018.12.spine18970. PMID: 30805284.
107. Hoy D, March L, Brooks P, et al. The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis*. 2014; 73(6): 968-974. ISSN 0003-4967. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204428. PMID: 24665116.
108. Hsu WL, Lin YH, Chuang HY, et al. Cortical Bone Trajectory Instrumentation with Vertebroplasty for Osteoporotic Thoracolumbar Compression Fracture. *Medicina (Kaunas)*. 2020; 56(2). ISSN 1010-660x. doi: 10.3390/medicina56020082. PMID: 32079310.
109. Hu JN, Yang XF, Li CM, et al. Comparison of cortical bone trajectory versus pedicle screw techniques in lumbar fusion surgery: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(33): e16751. ISSN 1536-5964 doi: 10.1097/MD.00000000000016751. PMID: 31415372.
110. Huang HM, Chen CH, Lee HC, et al. Minimal invasive surgical technique in midline lumbar inter-body fusion: A technique note. *J Clin Neurosci*. 2018; 55: 103-108. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2018.10.131. PMID: 30257804.
111. Hung CW, Wu MF, Hong RT, et al. Comparison of multifidus muscle atrophy after posterior lumbar interbody fusion with conventional and cortical bone trajectory. *Clin Neurol Neurosurg*. 2016; 145: 41-45. ISSN 0303-8467. doi: 10.1016/j.clineuro.2016.03.005. PMID: 27064861.
112. Inceoglu S, Montgomery WH, Jr., St Clair S, et al. Pedicle screw insertion angle and pullout strength: comparison of 2 proposed strategies. *J Neurosurg Spine*. 2011; 14(5): 670-676. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2010.11.spine09886. PMID: 21388287.
113. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Rovsing H, et al. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Spine*. 2007; 32(1): 120-125. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/01.brs.0000250979.12398.96. PMID: 17202902.
114. James SL, Abate D, Abate KH, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018; 392(10159): 1789-1858. ISSN 0140-6736. doi: 10.1016/s0140-6736(18)32279-7. PMID: 30496104.
115. Jarvers JS, Schleifenbaum S, Pfeifle C, et al. Comparison of three different screw trajectories in osteoporotic vertebrae: a biomechanical investigation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021; 22(1): 418. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-021-04254-0. PMID: 33952236.
116. Kabins MB, Weinstein JN. The History of Vertebral Screw and Pedicle Screw Fixation. *The Iowa Orthopaedic Journal*. 1991; 11: 127-136. ISSN 1541-5457. PMID: PMC2328959.

117. Kahaer A, Maimaiti X, Maitirouzi J, et al. Biomechanical investigation of the hybrid modified cortical bone screw–pedicle screw fixation technique: Finite-element analysis. *Frontiers in Surgery*. 2022; 9. ISSN 2296-875X. doi: 10.3389/fsurg.2022.911742.
118. Kahaer A, Zhou Z, Maitirouzi J, et al. Biomechanical Investigation of the Posterior Pedicle Screw Fixation System at Level L4-L5 Lumbar Segment with Traditional and Cortical Trajectories: A Finite Element Study. *J Healthc Eng*. 2022; 2022: 4826507. ISSN 2040-2295 doi: 10.1155/2022/4826507. PMID: 35388332.
119. Kaiser MG, Eck JC, Groff MW, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 17: bone growth stimulators as an adjunct for lumbar fusion. *J Neurosurg Spine*. 2014; 21(1): 133-139. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.4.spine14326. PMID: 24980594.
120. Kaito T, Matsukawa K, Abe Y, et al. Cortical pedicle screw placement in lumbar spinal surgery with a patient-matched targeting guide: A cadaveric study. *J Orthop Sci*. 2018; 23(6): 865-869. ISSN 0949-2658. doi: 10.1016/j.jos.2018.06.005. PMID: 30042005.
121. Karsy M, Jensen MR, Cole K, et al. Thoracolumbar Cortical Screw Placement with Interbody Fusion: Technique and Considerations. *Cureus*. 2017; 9(7): e1419. ISSN 2168-8184 doi: 10.7759/cureus.1419. PMID: 28875092.
122. Kasukawa Y, Miyakoshi N, Hongo M, et al. Short-Term Results of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Using Pedicle Screw with Cortical Bone Trajectory Compared with Conventional Trajectory. *Asian Spine J*. 2015; 9(3): 440-448. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2015.9.3.440. PMID: 26097661.
123. Kaye ID, Prasad SK, Vaccaro AR, et al. The Cortical Bone Trajectory for Pedicle Screw Insertion. *JBJS Rev*. 2017; 5(8): e13. ISSN 2329-9185. doi: 10.2106/jbjs.rvw.16.00120. PMID: 28857932.
124. Keorochana G, Pairuchvej S, Trathitephun W, et al. Comparative Outcomes of Cortical Screw Trajectory Fixation and Pedicle Screw Fixation in Lumbar Spinal Fusion: Systematic Review and Meta-analysis. *World Neurosurg*. 2017; 102: 340-349. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2017.03.010. PMID: 28315800.
125. Khan A, Rho K, Mao JZ, et al. Comparing Cortical Bone Trajectories for Pedicle Screw Insertion using Robotic Guidance and Three-Dimensional Computed Tomography Navigation. *World Neurosurg*. 2020. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2020.05.257.
126. Khanna N, Deol G, Poulter G, et al. Medialized, Muscle-Splitting Approach for Posterior Lumbar Interbody Fusion: Technique and Multicenter Perioperative Results. *Spine*. 2016; 41 Suppl 8: S90-96. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000001475. PMID: 26839995.
127. Kim KT, Lee SH, Suk KS, et al. The quantitative analysis of tissue injury markers after mini-open lumbar fusion. *Spine*. 2006; 31(6): 712-716. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/01.brs.0000202533.05906.ea. PMID: 16540878.
128. Kim KT, Song MG, Lee EC, et al. Can the cortical bone trajectory screw technique be an alternative method to the pedicle screw in posterior lumbar fusion? A systematic review and metaanalysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2021; 55(6): 552-562. ISSN 1017-995x. doi: 10.5152/j.aott.2021.21169. PMID: 34967746.
129. Kim SB, Rhee JM, Lee GS, et al. Computer-assisted Patient-specific Prototype Template for Thoracolumbar Cortical Bone Trajectory Screw Placement: A Cadaveric Study. *Tech*

- Orthop. 2018; 33(4): 246-250. ISSN 0885-9698 (Print). doi: 10.1097/bto.0000000000000285. PMID: 30542224.
130. Kim SJ, Mobbs RJ, Natarajan P, et al. Historical Note: The Evolution of Cortical Bone Trajectory and Associated Techniques. *Spine Surg Relat Res.* 2022; 6(1): 1-9. ISSN 2432-261x. doi: 10.22603/ssrr.2021-0059. PMID: 35224240.
 131. Koerner J, Rihn J. Chapter-13 Recent Advances in Measuring Outcomes in Spine Surgery. 2016. p. 197-208.
 132. Kojima K, Asamoto S, Kobayashi Y, et al. Cortical bone trajectory and traditional trajectory-a radiological evaluation of screw-bone contact. *Acta Neurochir (Wien).* 2015; 157(7): 1173-1178. ISSN 0001-6268. doi: 10.1007/s00701-015-2432-6. PMID: 26021578.
 133. Kolz JM, Pinter ZW, Bydon M, et al. Controversies in Spine Surgery: Is a Cortical Bone Trajectory Superior to Traditional Pedicle Screw Trajectory? *Clin Spine Surg.* 2020. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000965. PMID: 32205518.
 134. Konomi T, Yasuda A, Fujiyoshi K, et al. Incidences and Risk Factors for Postoperative Non-Union after Posterior Lumbar Interbody Fusion with Closed-Box Titanium Spacers. *Asian Spine J.* 2019. ISSN 1976-1902 doi: 10.31616/asj.2019.0024. PMID: 31608613.
 135. Kotani Y, Koike Y, Ikeura A, et al. Clinical and radiologic comparison of anterior-posterior single-position lateral surgery versus MIS-TLIF for degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Orthop Sci.* 2021; 26(6): 992-998. ISSN 0949-2658. doi: 10.1016/j.jos.2020.10.013. PMID: 33339720.
 136. Kotheeranurak V, Lin GX, Mahatthanatrakul A, et al. Endoscope-Assisted Anterior Lumbar Interbody Fusion with Computed Tomography-Guided, Image-Navigated Unilateral Cortical Bone Trajectory Screw Fixation in Managing Adjacent Segment Disease in L5/S1: Technical Note. *World Neurosurg.* 2019; 122: 469-473. ISSN 1878-8769 doi: 10.1016/j.wneu.2018.10.029. PMID: 30321680.
 137. Kouyoumdjian P, Gras-Combe G, Grelat M, et al. Surgeon's and patient's radiation exposure during percutaneous thoraco-lumbar pedicle screw fixation: A prospective multicenter study of 100 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018; 104(5): 597-602. ISSN 1877-0568. doi: 10.1016/j.otsr.2018.05.009. PMID: 29969721.
 138. Kreiner DS, Matz P, Bono CM, et al. Guideline summary review: an evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of low back pain. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society.* 2020; 20(7): 998-1024. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2020.04.006. PMID: 32333996.
 139. Laratta JL, Shillingford JN, Pugely AJ, et al. Accuracy of cortical bone trajectory screw placement in midline lumbar fusion (MIDLF) with intraoperative cone beam navigation. *Journal of Spine Surgery.* 2019; 5(4): 443-450. doi: 10.21037/jss.2019.09.10.
 140. Laratta JL, Shillingford JN, Pugely AJ, et al. Accuracy of cortical bone trajectory screw placement in midline lumbar fusion (MIDLF) with intraoperative cone beam navigation. *Journal of spine surgery (Hong Kong).* 2019; 5(4): 443-450. ISSN 2414-4630. doi: 10.21037/jss.2019.09.10. PMID: 32042994.
 141. Le X, Tian W, Shi Z, et al. Robot-Assisted Versus Fluoroscopy-Assisted Cortical Bone Trajectory Screw Instrumentation in Lumbar Spinal Surgery: A Matched-Cohort Comparison. *World Neurosurg.* 2018; 120: e745-e751. ISSN 1878-8769 doi: 10.1016/j.wneu.2018.08.157. PMID: 30172976.

142. Le X, Shi Z, Xu Y, et al. Incidence and Risk Factors of Superior Facet Joint Violation in Percutaneous and Open Instrumentation Using Cortical Bone Trajectory Technique: A Comparison of Different Techniques. *Clin Spine Surg.* 2019. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000917. PMID: 31851014.
143. Le X, Wang QL, Xu YF, et al. Rate and Risk Factors of Superior Facet Joint Violation during Cortical Bone Trajectory Screw Placement: A Comparison of Robot-Assisted Approach with a Conventional Technique. *Orthop Surg.* 2019; 00. ISSN 1757-7861 doi: 10.1111/os.12598. PMID: 31863573.
144. Lee GW, Son JH, Ahn MW, et al. The comparison of pedicle screw and cortical screw in posterior lumbar interbody fusion: a prospective randomized noninferiority trial. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society.* 2015; 15(7): 1519-1526. ISSN 1878-1632. doi: 10.1016/j.spinee.2015.02.038. PMID: 25728553.
145. Lee GW, Ahn MW. Comparative Study of Cortical Bone Trajectory-Pedicle Screw (Cortical Screw) Versus Conventional Pedicle Screw in Single-Level Posterior Lumbar Interbody Fusion: A 2-Year Post Hoc Analysis from Prospectively Randomized Data. *World Neurosurg.* 2018; 109: e194-e202. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.137. PMID: 28966154.
146. Lee GW, Shin JH. Comparative Study of Two Surgical Techniques for Proximal Adjacent Segment Pathology after Posterior Lumbar Interbody Fusion with Pedicle Screws: Fusion Extension using Conventional Pedicle Screw vs Cortical Bone Trajectory-Pedicle Screw (Cortical Screw). *World Neurosurg.* 2018; 117: e154-e161. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.218. PMID: 29883823.
147. Li C, Liu W, Luo W, et al. Lumbar Facet Joint Effusion on Magnetic Resonance Imaging: Do Different Joint Effusion Images Have Different Clinical Values? *World Neurosurg.* 2022; 167: e406-e412. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2022.08.029.
148. Li HM, Zhang RJ, Gao H, et al. Biomechanical Fixation Properties of the Cortical Bone Trajectory in the Osteoporotic Lumbar Spine. *World Neurosurg.* 2018; 119: e717-e727. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.07.253. PMID: 30092463.
149. Li Y, Chen L, Liu Y, et al. Accuracy and safety of robot-assisted cortical bone trajectory screw placement: a comparison of robot-assisted technique with fluoroscopy-assisted approach. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022; 23(1): 328. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-022-05206-y. PMID: 35387621.
150. Li Y, Chen Y, Liu Y, et al. Changes in Paraspinal Muscles and Facet Joints after Minimally Invasive Posterior Lumbar Interbody Fusion Using the Cortical Bone Trajectory Technique: A Prospective Study. *Pain Res Manag.* 2022; 2022: 2690291. ISSN 1203-6765. doi: 10.1155/2022/2690291. PMID: 35069954.
151. Ling Q, Zhang H, He E. Screws Fixation for Oblique Lateral Lumbar Interbody Fusion (OLLIF): A Finite Element Study. *Biomed Res Int.* 2021; 2021: 5542595. ISSN 2314-6133 (Print). doi: 10.1155/2021/5542595. PMID: 34055981.
152. Liu C-W, Wang L-L, Xu Y-K, et al. Traditional and cortical trajectory screws of static and dynamic lumbar fixation- a finite element study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020; 21(1): 463. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-020-03437-5.
153. Mai HT, Mitchell SM, Hashmi SZ, et al. Differences in bone mineral density of fixation points between lumbar cortical and traditional pedicle screws. *The spine journal : official*

- journal of the North American Spine Society. 2016; 16(7): 835-841. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2015.11.034. PMID: 26656170.
154. Maitirouzi J, Luo H, Zhou Z, et al. Finite element analysis of human lumbar vertebrae in internal fixation system model with different bone density trajectories. *Int J Artif Organs*. 2022; 45(5): 478-487. ISSN 0391-3988. doi: 10.1177/03913988221088613. PMID: 35441547.
 155. Malcolm JG, Moore MK, Choksh FH, et al. Comparing Cortical Trajectory Transforaminal Lumbar Interbody Fusions Against Pedicle Trajectory Transforaminal Lumbar Interbody Fusions and Posterolateral Fusions: A Retrospective Cohort Study of 90-day Outcomes. *Neurosurgery*. 2018; 83(6): 1234-1240. ISSN 0148-396X. doi: 10.1093/neuros/nyx619.
 156. Marengo N, Ajello M, Pecoraro MF, et al. Cortical Bone Trajectory Screws in Posterior Lumbar Interbody Fusion: Minimally Invasive Surgery for Maximal Muscle Sparing-A Prospective Comparative Study with the Traditional Open Technique. *Biomed Res Int*. 2018; 2018: 7424568. ISSN 2314-6141 doi: 10.1155/2018/7424568. PMID: 29670905.
 157. Marengo N, Berjano P, Cofano F, et al. Cortical bone trajectory screws for circumferential arthrodesis in lumbar degenerative spine: clinical and radiological outcomes of 101 cases. *Eur Spine J*. 2018; 27(Suppl 2): 213-221. ISSN 0940-6719. doi: 10.1007/s00586-018-5599-8. PMID: 29663147.
 158. Marengo N, Matsukawa K, Monticelli M, et al. Cortical Bone Trajectory Screw Placement Accuracy with a Patient-Matched 3-Dimensional Printed Guide in Lumbar Spinal Surgery: A Clinical Study. *World Neurosurg*. 2019. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2019.05.241. PMID: 31307931.
 159. Maruo K, Arizumi F, Kusuyama K, et al. Accuracy and safety of cortical bone trajectory screw placement by an inexperienced surgeon using 3D patient-specific guides for transforaminal lumbar interbody fusion. *J Clin Neurosci*. 2020. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2020.04.090.
 160. Maruo K, Arizumi F, Kusuyama K, et al. Comparison of Clinical Outcomes After Transforaminal Interbody Fusion Using Cortical Bone Trajectory versus Percutaneous Pedicle Screw Fixation. *World Neurosurg*. 2021; 151: e821-e827. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.130. PMID: 33964494.
 161. Matsukawa K, Yato Y, Nemoto O, et al. Morphometric measurement of cortical bone trajectory for lumbar pedicle screw insertion using computed tomography. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2013; 26(6): E248-253. ISSN 1536-0652. doi: 10.1097/BSD.0b013e318288ac39. PMID: 23429319.
 162. Matsukawa K, Yato Y, Kato T, et al. Cortical bone trajectory for lumbosacral fixation: penetrating S-1 endplate screw technique: technical note. *J Neurosurg Spine*. 2014; 21(2): 203-209. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.3.spine13665. PMID: 24766288.
 163. Matsukawa K, Yato Y, Kato T, et al. In vivo analysis of insertional torque during pedicle screwing using cortical bone trajectory technique. *Spine*. 2014; 39(4): E240-245. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.000000000000116. PMID: 24253778.
 164. Matsukawa K, Taguchi E, Yato Y, et al. Evaluation of the Fixation Strength of Pedicle Screws Using Cortical Bone Trajectory: What Is the Ideal Trajectory for Optimal Fixation? *Spine*. 2015; 40(15): E873-878. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000000983. PMID: 26222663.

165. Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, et al. Biomechanical evaluation of the fixation strength of lumbar pedicle screws using cortical bone trajectory: a finite element study. *J Neurosurg Spine*. 2015; 23(4): 471-478. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2015.1.spine141103. PMID: 26161515.
166. Matsukawa K, Kato T, Yato Y, et al. Incidence and Risk Factors of Adjacent Cranial Facet Joint Violation Following Pedicle Screw Insertion Using Cortical Bone Trajectory Technique. *Spine*. 2016; 41(14): E851-856. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000001459. PMID: 26796712.
167. Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, et al. Biomechanical evaluation of fixation strength among different sizes of pedicle screws using the cortical bone trajectory: what is the ideal screw size for optimal fixation? *Acta Neurochir (Wien)*. 2016; 158(3): 465-471. ISSN 0001-6268. doi: 10.1007/s00701-016-2705-8. PMID: 26769471.
168. Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, et al. Biomechanical evaluation of lumbar pedicle screws in spondylolytic vertebrae: comparison of fixation strength between the traditional trajectory and a cortical bone trajectory. *J Neurosurg Spine*. 2016; 24(6): 910-915. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2015.11.spine15926. PMID: 26895531.
169. Matsukawa K, Yato Y, Hynes RA, et al. Cortical Bone Trajectory for Thoracic Pedicle Screws: A Technical Note. *Clin Spine Surg*. 2017; 30(5): E497-e504. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000130. PMID: 28525468.
170. Matsukawa K, Yato Y, Hynes RA, et al. Comparison of Pedicle Screw Fixation Strength Among Different Transpedicular Trajectories: A Finite Element Study. *Clin Spine Surg*. 2017; 30(7): 301-307. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000258. PMID: 28746125.
171. Matsukawa K, Abe Y, Yanai Y, et al. Regional Hounsfield unit measurement of screw trajectory for predicting pedicle screw fixation using cortical bone trajectory: a retrospective cohort study. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018; 160(2): 405-411. ISSN 0001-6268. doi: 10.1007/s00701-017-3424-5. PMID: 29260301.
172. Matsukawa K, Kaito T, Abe Y. Accuracy of cortical bone trajectory screw placement using patient-specific template guide system. *Neurosurg Rev*. 2019. ISSN 0344-5607. doi: 10.1007/s10143-019-01140-1. PMID: 31270704.
173. Matz PG, Meagher RJ, Lamer T, et al. Guideline summary review: An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2016; 16(3): 439-448. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2015.11.055. PMID: 26681351.
174. Melikian R, Yeremian S. Placement of Unilateral Cortical Bone Trajectory Screws in Previously Instrumented Pedicle without Removal of Existing Hardware for Adjacent Segment Disease. *Case Rep Orthop*. 2021; 2021: 9994539. ISSN 2090-6749. doi: 10.1155/2021/9994539. PMID: 34796033.
175. Mendenhall S, Mobasser D, Relyea K, et al. Spinal instrumentation in infants, children, and adolescents: a review. *J Neurosurg Pediatr*. 2019; 23(1): 1-15. ISSN 1933-0707. doi: 10.1016/j.wneu.2019.01.076. PMID: 30611158.
176. Menon N, Turcotte J, Speciale A, et al. Cortical bone trajectory instrumentation provides favorable perioperative outcomes compared to pedicle screws for single-level lumbar spinal stenosis and degenerative spondylolisthesis. *Journal of Orthopaedics*. 2020; 22: 146-150. ISSN 0972-978X. doi: 10.1016/j.jor.2020.04.001.

177. Mitchell SM, Hsu WK. Lumbar Pedicle Cortical Bone Trajectory Screw: Indications and Surgical Technique. *Contemporary Spine Surgery*. 2016; 17.
178. Miyakoshi N, Maekawa S, Urayama M, et al. Utilizing a Cortical Bone Trajectory Pedicle Screw for Lumbar Flexion-Distraktion Injury. *Case Rep Orthop*. 2018; 2018: 8185051. ISSN 2090-6749 doi: 10.1155/2018/8185051. PMID: 29984023.
179. Mizuno M, Kuraishi K, Umeda Y, et al. Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory screw. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2014; 54(9): 716-721. ISSN 0470-8105. doi: 10.2176/nmc.st.2013-0395. PMID: 25169139.
180. Mobbs RJ, Sivabalan P, Li J. Technique, challenges and indications for percutaneous pedicle screw fixation. *J Clin Neurosci*. 2011; 18(6): 741-749. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2010.09.019. PMID: 21514165.
181. Mobbs RJ. The "medio-latero-superior trajectory technique": an alternative cortical trajectory for pedicle fixation. *Orthop Surg*. 2013; 5(1): 56-59. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12027. PMID: 23420749.
182. Moldova BNdSaR. Numărul populației cu reședința obișnuită în Republica Moldova pe sexe și grupe de vârstă la începutul anului 2019: Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova; 2022 [10.01.2022]. Available from: https://statistica.gov.md/ro/numarul-populatiei-cu-resedinta-obisnuita-pe-sexe-si-grupe-de-9578_59433.html.
183. Molinari L, Falcinelli C, Gizzi A, et al. Effect of pedicle screw angles on the fracture risk of the human vertebra: A patient-specific computational model. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021; 116: 104359. ISSN 1878-0180. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104359. PMID: 33548583.
184. Momin AA, Steinmetz MP. The Evolution of Minimally Invasive Lumbar Spine Surgery. *World Neurosurg*. 2020. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2020.05.071.
185. Mori K, Nishizawa K, Nakamura A, et al. Short-Term Clinical Result of Cortical Bone Trajectory Technique for the Treatment of Degenerative Lumbar Spondylolisthesis with More than 1-Year Follow-Up. *Asian Spine J*. 2016; 10(2): 238-244. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2016.10.2.238. PMID: 27114763.
186. Mori K, Yayama T, Nishizawa K, et al. Incidence of Cranial Adjacent Segment Disease after Posterior Lumbar Interbody Fusion Using the Cortical Bone Trajectory Technique for the Treatment of Single-Level Degenerative Lumbar Spondylolisthesis; More than a 2-Year Follow-Up. *Spine Surg Relat Res*. 2021; 5(2): 98-103. ISSN 2432-261x. doi: 10.22603/ssrr.2020-0103. PMID: 33842717.
187. Mullin JP, Perlmutter B, Schmidt E, et al. Radiographic feasibility study of cortical bone trajectory and traditional pedicle screw dual trajectories. *J Neurosurg Spine*. 2016; 25(6): 727-732. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2016.4.spine151483. PMID: 27391396.
188. Nakajima N, Maenaka T, Kano H. Postoperative Low Back Pain after Posterior Lumbar Interbody Fusion Surgery Using Cortical Bone Trajectory Screws. *Asian spine journal*. 2020; 14(5): 655-662. ISSN 1976-1902. doi: 10.31616/asj.2019.0085. PMID: 32213798.
189. Ninomiya K, Iwatsuki K, Ohnishi Y, et al. Clear Zone Formation around Screws in the Early Postoperative Stages after Posterior Lumbar Fusion Using the Cortical Bone Trajectory Technique. *Asian Spine J*. 2015; 9(6): 884-888. ISSN 1976-1902. doi: 10.4184/asj.2015.9.6.884. PMID: 26713120.
190. Ninomiya K, Iwatsuki K, Ohnishi Y, et al. Radiological Evaluation of the Initial Fixation between Cortical Bone Trajectory and Conventional Pedicle Screw Technique for Lumbar

- Degenerative Spondylolisthesis. *Asian Spine J.* 2016; 10(2): 251-257. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2016.10.2.251. PMID: 27114765.
191. Ninomiya K, Iwatsuki K, Ohnishi YI, et al. Significance of the Pars Interarticularis in the Cortical Bone Trajectory Screw Technique: An In Vivo Insertional Torque Study. *Asian Spine J.* 2016; 10(5): 901-906. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2016.10.5.901. PMID: 27790318.
 192. Noh SH, Zhang HY. Minimally Invasive Spine Surgery With Midline Cortical Bone Trajectory Screw Fixation for Lumbar Degenerative Disease in a Retrospective Study of 200 Patients. *Neurospine.* 2021; 18(2): 355-362. ISSN 2586-6591. doi: 10.14245/ns.2142016.008. PMID: 34218616.
 193. Nomoto EK, Fogel GR, Rasouli A, et al. Biomechanical Analysis of Cortical Versus Pedicle Screw Fixation Stability in TLIF, PLIF, and XLIF Applications. *Global Spine J.* 2019; 9(2): 162-168. ISSN 2192-5682 doi: 10.1177/2192568218779991. PMID: 30984495.
 194. Obeidat M, Tan Z, Finkelstein JA. Cortical Bone Trajectory Screws for Fixation Across the Cervicothoracic Junction: Surgical Technique and Outcomes. *Global Spine J.* 2019; 9(8): 859-865. ISSN 2192-5682 doi: 10.1177/2192568219838822. PMID: 31819852.
 195. Ohkawa T, Iwatsuki K, Ohnishi Y, et al. Isthmus-guided Cortical Bone Trajectory Reduces Postoperative Increases in Serum Creatinine Phosphokinase Concentrations. *Orthop Surg.* 2015; 7(3): 232-238. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12189. PMID: 26311097.
 196. Orita S, Inage K, Kubota G, et al. One-Year Prospective Evaluation of the Technique of Percutaneous Cortical Bone Trajectory Spondylodesis in Comparison with Percutaneous Pedicle Screw Fixation: A Preliminary Report with Technical Note. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2016; 77(6): 531-537. ISSN 2193-6315. doi: 10.1055/s-0035-1566118. PMID: 27023825.
 197. Ortega B, Gardner C, Roberts S, et al. Ceramic Biologics for Bony Fusion-a Journey from First to Third Generations. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020; 13(4): 530-536. ISSN 1935-9748. doi: 10.1007/s12178-020-09651-x. PMID: 32562147.
 198. Oshino H, Sakakibara T, Inaba T, et al. A biomechanical comparison between cortical bone trajectory fixation and pedicle screw fixation. *J Orthop Surg Res.* 2015; 10: 125. ISSN 1749-799x. doi: 10.1186/s13018-015-0270-0. PMID: 26275401.
 199. Pacione D, Kim I, Wilson TA, et al. Cortical screw trajectory for instrumentation and fusion in the setting of osteopathic compression fracture allows for percutaneous kyphoplasty for adjacent level compression fractures. *J Clin Neurosci.* 2015; 22(5): 899-904. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2014.09.025. PMID: 25724313.
 200. Pedacenco I, Bodi A, Crasilenco E. Reoperations for lumbar spinal stenosis in patients of different age groups. *Curierul Medical.* 2013; 56(4): 23-28.
 201. Pedacenco I, Crasilenco E, Bodi A. Ближайшие и отдалённые результаты хирургического лечения стеноза поясничного отдела позвоночного канала у больных разных возрастных групп. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei Ştiinţe Medicale.* 2013; 38(2): 141-150.
 202. Peng J, Zhan Y, Liu Y, et al. [Comparison of effectiveness of cortical bone trajectory screw fixation and pedicle screw fixation in posterior lumbar interbody fusion]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2017; 31(11): 1341-1345. ISSN 1002-1892 doi: 10.7507/1002-1892.201706075. PMID: 29798588.

203. Peng SB, Yuan XC, Lu WZ, et al. Application of the cortical bone trajectory technique in posterior lumbar fixation. *World journal of clinical cases*. 2023; 11(2): 255-267. ISSN 2307-8960 doi: 10.12998/wjcc.v11.i2.255. PMID: 36686364.
204. Penner F, Marengo N, Ajello M, et al. Preoperative 3D CT Planning for Cortical Bone Trajectory Screws: A Retrospective Radiological Cohort Study. *World Neurosurg*. 2019. ISSN 1878-8750. doi: 10.3171/2019.1.spine181402 PMID: 30904792.
205. Perez-Orribo L, Kalb S, Reyes PM, et al. Biomechanics of lumbar cortical screw-rod fixation versus pedicle screw-rod fixation with and without interbody support. *Spine*. 2013; 38(8): 635-641. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/BRS.0b013e318279a95e. PMID: 23104197.
206. Petrone S, Marengo N, Ajello M, et al. Cortical bone trajectory technique's outcomes and procedures for posterior lumbar fusion: A retrospective study. *J Clin Neurosci*. 2020; 76: 25-30. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2020.04.070.
207. Phan K, Hogan J, Maharaj M, et al. Cortical Bone Trajectory for Lumbar Pedicle Screw Placement: A Review of Published Reports. *Orthop Surg*. 2015; 7(3): 213-221. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12185. PMID: 26311095.
208. Phan K, Ramachandran V, Tran TM, et al. Systematic review of cortical bone trajectory versus pedicle screw techniques for lumbosacral spine fusion. *J Spine Surg*. 2017; 3(4): 679-688. ISSN 2414-4630. doi: 10.21037/jss.2017.11.03. PMID: 29354747.
209. Phan K, Mobbs RJ. Considerations in Meta-Analysis Regarding Complications of Cortical Bone Trajectory versus Traditional Pedicle Screw Fixation. *World Neurosurg*. 2018; 110: 502-503. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.060. PMID: 29433165.
210. Phillips F, Lieberman I, Jr D, et al. Minimally Invasive Spine Surgery Surgical Techniques and Disease Management: Surgical Techniques and Disease Management 2019.
211. Pickhardt PJ, Pooler BD, Lauder T, et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann Intern Med*. 2013; 158(8): 588-595. ISSN 0003-4819. doi: 10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003. PMID: 23588747.
212. Pleșca S, Sangheli M, Lisnic V, et al. Actualități în diagnosticul și tratamentul durerii lombare (recomandări de management în baza ghidurilor internaționale). *Bulletin of the Academy of Sciences of Moldova Medical Sciences*. 2015; 47(2): 22-28. ISSN 1857-0011.
213. Procopciuc V, Caproș N, Marga S. Rezonanța magnetico-nucleară-metodă de elecție în vertebrologie. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale*. 2007; 14(5): 137-138.
214. Pulbere O. Diferențierea genezei rahialgiilor—criteriu imperativ pentru chirurgia vertebrală. *Arta Medica*. 2009; 1(34) 96-99. ISSN 1810-1852.
215. Pulbere O. Argumentarea tratamentului complex al traumatismelor soldate cu instabilitate a rahisului dorso-lombar. *Anale Științifice ale USMF "Nicolae Testemițanu"*. 2009; 4 : Probleme clinico-chirurgicale: 255-258. ISSN 1857-1719.
216. Pulbere O. Spondilodeza circumferențială în traumatismele vertebrale lombare recente. *Arta Medica*. 2010; nr. 2(41): 85-88. ISSN 1810-1852.
217. Pulbere O. Poziții-cheie în managementul tratamentului chirurgical al patologiilor vertebrale traumatice și degenerative (Sinteză literară). *Analele Științifice ale USMF „N Testemițanu”*. 2010; 4(111): 223-235. ISSN 1857-1719.

218. Pulbere O. Lombartroza-tratament chirurgical sau conservator? Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină: Conferința a XIII-a Națională a Ortopezilor-Traumatologi din Republica Moldova cu participare internațională, consacrată jubileului de 50 de ani de la fondarea Catedrei Ortopedie și Traumatologie “Aspecte contemporane în diagnosticul și tratamentul patologiilor osteoarticulare ale aparatului locomotor”, 14 septembrie 2012, Chișinău, Republica Moldova. 2012. ISSN 1729-8687.
219. Pulbere O. Unele argumente privind selectarea bolnavilor cu patologie vertebrală pentru tratament chirurgical. Общественное здоровье, экономика и менеджмент в медицине. 2014; (2 (53)): 72-74. ISSN 1729-8687.
220. Qiu L, Niu F, Wu Z, et al. Comparative outcomes of cortical bone trajectory screw fixation and traditional pedicle screws in lumbar fusion: A meta-analysis. *World Neurosurg.* 2022. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2022.04.129. PMID: 35533950.
221. Quinones-Hinojosa A. *Schmidek and Sweet: Operative Neurosurgical Techniques: Indications, Methods and Results Elsevier Health Sciences*; 2021.
222. Radcliff KE, Harris JA, Klocke NF, et al. Guidelines for cortical screw versus pedicle screw selection from a fatigued decompressive lumbar laminectomy model show similar stability and less bone mineral density dependency. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020; 80: 105195. ISSN 0268-0033. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105195. PMID: 33128963.
223. Raizman NM, O'Brien JR, Poehling-Monaghan KL, et al. Pseudarthrosis of the Spine. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.* 2009; 17(8): 494-503. ISSN 1067-151X. PMID: 00124635-200908000-00003.
224. Ravindra VM, Senglaub SS, Rattani A, et al. Degenerative Lumbar Spine Disease: Estimating Global Incidence and Worldwide Volume. *Global Spine J.* 2018; 8(8): 784-794. ISSN 2192-5682 doi: 10.1177/2192568218770769. PMID: 30560029.
225. Ray CD. Threaded fusion cages for lumbar interbody fusions. An economic comparison with 360 degrees fusions. *Spine.* 1997; 22(6): 681-685. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/00007632-199703150-00021. PMID: 9089941.
226. Reid PC, Morr S, Kaiser MG. State of the union: a review of lumbar fusion indications and techniques for degenerative spine disease. *J Neurosurg Spine.* 2019; 31(1): 1-14. ISSN 1547-5646 doi: 10.3171/2019.4.SPINE18915. PMID: 31261133.
227. Renfrow JJ, Frenkel MB, Branch CL. Minimally Invasive Midline Lumbar Fusion (MIDLIF). In: Manjila SV, Mroz TE, Steinmetz MP, editors. *Lumbar Interbody Fusions: Elsevier*; 2019. p. 77-85.
228. Rexiti P, Abudurexiti T, Abuduwali N, et al. Measurement of lumbar isthmus parameters for novel starting points for cortical bone trajectory screws using computed radiography. *Am J Transl Res.* 2018; 10(8): 2413-2423. ISSN 1943-8141. PMID: 30210680.
229. Rexiti P, Aierken G, Wang S, et al. Anatomical research on strength of screw track fixation in novel cortical bone trajectory for osteoporosis lumbar spine. *Am J Transl Res.* 2019; 11(11): 6850-6859. ISSN 1943-8141. PMID: 31814892.
230. Rexiti P, Aierken A, Sadeer A, et al. Anatomy and Imaging Studies on Cortical Bone Screw Freehand Placement Applying Anatomical Targeting Technology. *Orthop Surg.* 2020. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12775. PMID: 32896100.
231. Rexiti P, Aikeremu D, Wang S, et al. Cadaveric study of anatomical measurement of isthmus parameters of lumbar spine to guide cortical bone screw placement. *Rev Assoc Med Bras*

- (1992). 2022; 68(6): 754-758. ISSN 0104-4230. doi: 10.1590/1806-9282.20210729. PMID: 35766687.
232. Rho K, TE OC, Lucas JM, et al. Minimally Invasive Robot-Guided Dual Cortical Bone Trajectory for Adjacent Segment Disease. *Cureus*. 2021; 13(8): e16822. ISSN 2168-8184. doi: 10.7759/cureus.16822. PMID: 34513418.
233. Rocos B, Harding I. Lordosis Restoration With Midline Minimally Invasive Cortical Trajectory Screws (MidLF) and Transforaminal Interbody Fusion: A Safe Technique With a Short Stay. *International journal of spine surgery*. 2021; 15(3): 436-440. ISSN 2211-4599. doi: 10.14444/8065. PMID: 33963030.
234. Rodriguez A, Neal MT, Liu A, et al. Novel placement of cortical bone trajectory screws in previously instrumented pedicles for adjacent-segment lumbar disease using CT image-guided navigation. *Neurosurg Focus*. 2014; 36(3): E9. ISSN 1092-0684. doi: 10.3171/2014.1.focus13521. PMID: 24580010.
235. Sakaura H, Miwa T, Yamashita T, et al. Posterior lumbar interbody fusion with cortical bone trajectory screw fixation versus posterior lumbar interbody fusion using traditional pedicle screw fixation for degenerative lumbar spondylolisthesis: a comparative study. *J Neurosurg Spine*. 2016; 25(5): 591-595. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2016.3.spine151525. PMID: 27231813.
236. Sakaura H, Miwa T, Yamashita T, et al. Fixation Strength of Caudal Pedicle Screws after Posterior Lumbar Interbody Fusion with the Modified Cortical Bone Trajectory Screw Method. *Asian Spine J*. 2016; 10(4): 639-645. ISSN 1976-1902 doi: 10.4184/asj.2016.10.4.639. PMID: 27559442.
237. Sakaura H, Miwa T, Yamashita T, et al. Cortical bone trajectory screw fixation versus traditional pedicle screw fixation for 2-level posterior lumbar interbody fusion: comparison of surgical outcomes for 2-level degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine*. 2018; 28(1): 57-62. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2017.5.spine161154. PMID: 29125430.
238. Sakaura H, Ohnishi A, Yamagishi A, et al. Early Fusion Status after Posterior Lumbar Interbody Fusion with Cortical Bone Trajectory Screw Fixation: A Comparison of Titanium-Coated Polyetheretherketone Cages and Carbon Polyetheretherketone Cages. *Asian Spine J*. 2019; 13(2): 248-253. ISSN 1976-1902 doi: 10.7759/cureus.3462. PMID: 30481976.
239. Samal F, Sterba A, Haninec P, et al. Long-Term Outcome After Midline Lumbar Fusion for the Treatment of Lumbar Spine Instability Due to Degenerative Disease. *World Neurosurg*. 2021; 154: e641-e648. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2021.07.108. PMID: 34332153.
240. Sangheli M, Pleșca S, Lisnic V, et al. Spondilodiscita și modificările degenerative vertebrale de tip Modic I: diagnostic diferențial clinico-imagistic. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale*. 2013; 38(2): 94-99.
241. Sansur CA, Caffes NM, Ibrahim DM, et al. Biomechanical fixation properties of cortical versus transpedicular screws in the osteoporotic lumbar spine: an in vitro human cadaveric model. *J Neurosurg Spine*. 2016; 25(4): 467-476. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2016.2.spine151046. PMID: 27176113.
242. Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2009; 9(5): 366-373. ISSN 1529-9430. doi: 10.1016/j.spinee.2008.07.008. PMID: 18790684.

243. Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, et al. Hounsfield units for assessing bone mineral density and strength: a tool for osteoporosis management. *J Bone Joint Surg Am.* 2011; 93(11): 1057-1063. ISSN 0021-9355. doi: 10.2106/jbjs.j.00160. PMID: 21655899.
244. Schreiber JJ, Hughes AP, Taher F, et al. An association can be found between hounsfield units and success of lumbar spine fusion. *HSS J.* 2014; 10(1): 25-29. ISSN 1556-3316. doi: 10.1007/s11420-013-9367-3. PMID: 24482618.
245. Selby MD, Clark SR, Hall DJ, et al. Radiologic Assessment of Spinal Fusion. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.* 2012; 20(11): 694-703. ISSN 1067-151X. doi: 10.5435/jaaos-20-11-694. PMID: 00124635-201211000-00003.
246. Sellin JN, Raskin JS, Staggers KA, et al. Feasibility and safety of using thoracic and lumbar cortical bone trajectory pedicle screws in spinal constructs in children: technical note. *J Neurosurg Pediatr.* 2018; 21(2): 190-196. ISSN 1933-0707. doi: 10.3171/2017.7.peds17240. PMID: 29148922.
247. Senoglu M, Karadag A, Kinali B, et al. Cortical Bone Trajectory Screw for Lumbar Fixation: A Quantitative Anatomic and Morphometric Evaluation. *World Neurosurg.* 2017; 103: 694-701. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2017.03.137. PMID: 28478246.
248. Seo DK, Kim MJ, Roh SW, et al. Morphological analysis of interbody fusion following posterior lumbar interbody fusion with cages using computed tomography. *Medicine.* 2017; 96(34): e7816. ISSN 0025-7974. doi: 10.1097/md.00000000000007816. PMID: 00005792-201708250-00022.
249. Seu V, Bodi A. Evaluarea imagistică a coloanei vertebrale operate (Revista literaturii). *Bulletin of the Academy of Sciences of Moldova Medical Sciences.* 2017; 55(3): 319-322. ISSN 1857-0011.
250. Shah RR, Mohammed S, Saifuddin A, et al. Comparison of plain radiographs with CT scan to evaluate interbody fusion following the use of titanium interbody cages and transpedicular instrumentation. *Eur Spine J.* 2003; 12(4): 378-385. ISSN 1432-0932. doi: 10.1007/s00586-002-0517-4.
251. Shi S, Ying X, Zheng Q, et al. Application of Cortical Bone Trajectory Screws in Elderly Patients with Lumbar Spinal Tuberculosis. *World Neurosurg.* 2018; 117: e82-e89. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.168. PMID: 29864561.
252. Shi W, Aierken G, Wang S, et al. Application study of three-dimensional printed navigation template between traditional and novel cortical bone trajectory on osteoporosis lumbar spine. *J Clin Neurosci.* 2021; 85: 41-48. ISSN 0967-5868. doi: 10.1016/j.jocn.2020.11.038. PMID: 33581788.
253. Silva F, Silva PS, Vaz R, et al. Midline lumbar interbody fusion (MIDLIF) with cortical screws: initial experience and learning curve. *Acta Neurochir (Wien).* 2019; 161(12): 2415-2420. ISSN 0942-0940 doi: 10.1007/s00701-019-04079-w. PMID: 31650331.
254. Singh K, Hislop T, Lahiri A, et al. Lumbar Facet Joint Fluid: A Reliable Sign of Lumbar Instability. *Cureus.* 2023; 15(5): e39332. ISSN 2168-8184. doi: 10.7759/cureus.39332.
255. Sîrghi G, Kusturov V, Caproş N, et al. Stabilizarea spino-pelvină ca metodă de osteosinteză în cadrul fracturilor pelvine. *Arta Medica.* 2020; 76(3): 79-81.
256. Spina N, Schoutens C, Martin BI, et al. Defining Instability in Degenerative Spondylolisthesis: Surgeon Views. *Clin Spine Surg.* 2019; 32(10): E434-e439. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000874. PMID: 31490244.

257. Stone KL, Seeley DG, Lui LY, et al. BMD at multiple sites and risk of fracture of multiple types: long-term results from the Study of Osteoporotic Fractures. *J Bone Miner Res.* 2003; 18(11): 1947-1954. ISSN 0884-0431 doi: 10.1359/jbmr.2003.18.11.1947. PMID: 14606506.
258. Su BW, Kim PD, Cha TD, et al. An anatomical study of the mid-lateral pars relative to the pedicle footprint in the lower lumbar spine. *Spine.* 2009; 34(13): 1355-1362. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a4f3a9. PMID: 19478655.
259. Takata Y, Matsuura T, Higashino K, et al. Hybrid technique of cortical bone trajectory and pedicle screwing for minimally invasive spine reconstruction surgery: a technical note. *J Med Invest.* 2014; 61(3-4): 388-392. ISSN 1343-1420. PMID: 25264059.
260. Takenaka S, Mukai Y, Tateishi K, et al. Clinical Outcomes After Posterior Lumbar Interbody Fusion: Comparison of Cortical Bone Trajectory and Conventional Pedicle Screw Insertion. *Clin Spine Surg.* 2017; 30(10): E1411-e1418. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000000514. PMID: 28266955.
261. Tan Q-C, Huang J-F, Bai H, et al. Effects of Revision Rod Position on Spinal Construct Stability in Lumbar Revision Surgery: A Finite Element Study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* 2022; 9. ISSN 2296-4185. doi: 10.3389/fbioe.2021.799727.
262. Tan Z, McLachlin S, Whyne C, et al. Validation of a freehand technique for cortical bone trajectory screws in the lumbar spine. *J Orthop Surg Res.* 2019; 1-8. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2019.1.spine181402. PMID: 31003218.
263. Teles AR, Khoshhal KI, Falavigna A. Why and how should we measure outcomes in spine surgery? *Journal of Taibah University Medical Sciences.* 2016; 11(2): 91-97. ISSN 1658-3612. doi: 10.1016/j.jtumed.2016.01.003.
264. Terai H, Tamai K, Takahashi S, et al. Clinical Comparison of Combined Cortical Bone Trajectory and Transarticular Surface Screw Versus Standard Pedicle Screw Insertion by Wiltse Approach for L5 Isthmic Spondylolisthesis. *Clin Spine Surg.* 2021; 34(10): E580-e587. ISSN 2380-0186. doi: 10.1097/bsd.0000000000001170. PMID: 33769975.
265. Tobing S, Wisnubaroto RP. Pull-Out Strength Comparison Among Conventional Pedicle Screw, Cortical Infero-Superior, and Cortical Supero-Inferior Trajectories in Yorkshire Porcine Lumbar Spines: A Biomechanical Study. *International journal of spine surgery.* 2020; 14(4): 580-584. ISSN 2211-4599. doi: 10.14444/7077. PMID: 32986581.
266. Tong Z, Xiao B, Yan K, et al. Biomechanical Evaluation of the Transcortical and Transpedicular Trajectories for Pedicle Screw Insertion in Thoracolumbar Fracture Fixation for Ankylosing Spondylitis. *Frontiers in Surgery.* 2021; 8. ISSN 2296-875X. doi: 10.3389/fsurg.2021.706597.
267. Ueno M, Imura T, Inoue G, et al. Posterior corrective fusion using a double-trajectory technique (cortical bone trajectory combined with traditional trajectory) for degenerative lumbar scoliosis with osteoporosis: technical note. *J Neurosurg Spine.* 2013; 19(5): 600-607. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2013.7.spine13191. PMID: 24010899.
268. Ueno M, Sakai R, Tanaka K, et al. Should we use cortical bone screws for cortical bone trajectory? *J Neurosurg Spine.* 2015; 22(4): 416-421. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.9.spine1484. PMID: 25594731.
269. Vicol V. Particularitățile de tratament în spondilolistezele lombare asociat cu sindrom radicular. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei Științe Medicale.* 2009; 22(3): 125-132.

270. Wang C, Zhang L, Zhang H, et al. Sequential endoscopic and robot-assisted surgical solutions for a rare fungal spondylodiscitis, secondary lumbar spinal stenosis, and subsequent discal pseudocyst causing acute cauda equina syndrome: a case report. *BMC Surg.* 2022; 22(1): 34. ISSN 1471-2482. doi: 10.1186/s12893-022-01493-3. PMID: 35090437.
271. Wang J, He X, Sun T. Comparative clinical efficacy and safety of cortical bone trajectory screw fixation and traditional pedicle screw fixation in posterior lumbar fusion: a systematic review and meta-analysis. 2019. ISSN 0940-6719. doi: 10.1007/s00586-019-05999-y. PMID: 31087165.
272. Wang K, Zhang ZJ, Chen JX, et al. Design and Application of Individualized, 3-Dimensional-Printed Navigation Template for Placing Cortical Bone Trajectory Screws in Middle-Upper Thoracic Spine: Cadaver Research Study. *World Neurosurg.* 2019. ISSN 1878-8750. doi: 10.14444/6005. PMID: 30703596.
273. Wang L, Zhao YH, Cai XB, et al. Feasibility of cortical bone trajectory screws for bridging fixation in revision surgery for lumbar adjacent segment degeneration. *Medicine (Baltimore).* 2021; 100(28): e26666. ISSN 0025-7974. doi: 10.1097/md.00000000000026666. PMID: 34260574.
274. Wang TN, Wu BL, Duan RM, et al. Treatment of Thoracolumbar Fractures Through Different Short Segment Pedicle Screw Fixation Techniques: A Finite Element Analysis. *Orthop Surg.* 2020; 12(2): 601-608. ISSN 1757-7853. doi: 10.1111/os.12643. PMID: 32124568.
275. Wang Y, Liu C, Liu H, et al. A Novel Calcium Phosphate-Based Nanocomposite for Augmentation of Cortical Bone Trajectory Screw Fixation. *Int J Nanomedicine.* 2022; 17: 3059-3071. ISSN 1176-9114. doi: 10.2147/ijn.s365149. PMID: 35844971.
276. Wang Y, Yang L, Li C, et al. A Biomechanical Study on Cortical Bone Trajectory Screw Fixation Augmented With Cement in Osteoporotic Spines. *Global Spine J.* 2022; 21925682211070826. ISSN 2192-5682. doi: 10.1177/21925682211070826. PMID: 35042407.
277. Ware JE, Jr. SF-36 health survey update. *Spine.* 2000; 25(24): 3130-3139. ISSN 0362-2436 doi: 10.1097/00007632-200012150-00008. PMID: 11124729.
278. Weinstein JN, Lurie JD, Tosteson TD, et al. Surgical compared with nonoperative treatment for lumbar degenerative spondylolisthesis. four-year results in the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT) randomized and observational cohorts. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91(6): 1295-1304. ISSN 0021-9355. doi: 10.2106/jbjs.h.00913. PMID: 19487505.
279. Williams AL, Gornet MF, Burkus JK. CT evaluation of lumbar interbody fusion: current concepts. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005; 26(8): 2057-2066. ISSN 0195-6108 PMID: 16155160.
280. Winn HR. *Youmans and Winn Neurological Surgery: 4 - Volume Set: Elsevier Health Sciences;* 2022.
281. Wochna JC, Marciano R, Catanescu I, et al. Cortical Trajectory Pedicle Screws for the Fixation of Traumatic Thoracolumbar Fractures. *Cureus.* 2018; 10(6): e2891. ISSN 2168-8184 doi: 10.7759/cureus.2891. PMID: 30167347.
282. Wray S, Mimran R, Vadapalli S, et al. Pedicle screw placement in the lumbar spine: effect of trajectory and screw design on acute biomechanical purchase. *J Neurosurg Spine.* 2015; 22(5): 503-510. ISSN 1547-5646. doi: 10.3171/2014.10.spine14205. PMID: 25679236.

283. Wu FL, Dang L, Zhou H, et al. Two-Year Outcomes of Midline lumbar Fusion Versus Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion in the Treatment of L4-L5 Degenerative Disease. *Biomed Environ Sci.* 2020; 33(11): 839-848. ISSN 0895-3988. doi: 10.3967/bes2020.114. PMID: 33771237.
284. Xuan J, Chen J, He H, et al. Cortical bone trajectory screws placement via pedicle or pedicle rib unit in the pediatric thoracic spine (T9-T12): A 2-dimensional multiplanar reconstruction study using computed tomography. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96(5): e5852. ISSN 0025-7974. doi: 10.1097/md.0000000000005852. PMID: 28151859.
285. Xuan J, Xie CL, Wu Y, et al. Cortical Bone Trajectory Screw Fixation in the Upper and Middle Thoracic Spine (T1-T8): An Anatomic and Radiographic Assessment. *World Neurosurg.* 2018; 116: e1023-e1031. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.152. PMID: 29859359.
286. Yanai Y, Matsukawa K, Kato T, et al. Factors important in bone union after posterior lumbar interbody fusion using the cortical bone trajectory technique. *J Spine Surg.* 2020; 6(4): 713-720. ISSN 2414-469X. doi: 10.21037/jss-20-608. PMID: 33447673.
287. Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W. Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature. *Spine.* 2019; 44(4): E239-e244. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000002813. PMID: 30063528.
288. Zapuhliu G, **Borodin S**, Bostan A. The first year experience in the spinal instrumentation neurosurgery - from microneurosurgery to the spinal neurosurgery. *Romanian Neurosurgery Selected abstracts of the 39th Congress of the Romanian Society of Neurosurgery with International Participation.* 2013; 20(4): 412-413. ISSN 1220-8841.
289. Zhang H, Ajiboye RM, Shamie AN, et al. Morphometric measurement of the lumbosacral spine for minimally invasive cortical bone trajectory implant using computed tomography. *Eur Spine J.* 2016; 25(3): 870-876. ISSN 0940-6719. doi: 10.1007/s00586-015-4224-3. PMID: 26342703.
290. Zhang HQ, Wang CC, Zhang RJ, et al. Predictors of accurate intrapedicular screw placement in single-level lumbar (L4-5) fusion: robot-assisted pedicle screw, traditional pedicle screw, and cortical bone trajectory screw insertion. *BMC Surg.* 2022; 22(1): 284. ISSN 1471-2482. doi: 10.1186/s12893-022-01733-6. PMID: 35871659.
291. Zhang L, Li HM, Zhang R, et al. Biomechanical Changes of Adjacent and Fixed Segments Through Cortical Bone Trajectory Screw Fixation versus Traditional Trajectory Screw Fixation in the Lumbar Spine: A Finite Element Analysis. *World Neurosurg.* 2021; 151: e447-e456. ISSN 1878-8750. doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.061. PMID: 33895371.
292. Zhang P, Ye J, Huang L, et al. Comparison of Affected-Vertebra Fixation of Cortical Bone Trajectory Screw and Pedicle Screw for Lumbar Tuberculosis: A Minimum 3-Year Follow-Up. *Biomed Res Int.* 2022; 2022: 6312994. ISSN 2314-6133 (Print). doi: 10.1155/2022/6312994. PMID: 35909489.
293. Zhang R, Gao H, Li H, et al. Differences in bone mineral density of trajectory between lumbar cortical and traditional pedicle screws. *Eur Spine J.* 2019; 14(1): 128. ISSN 1749-799x. doi: 10.1007/s00586-019-05999-y. PMID: 31072395.
294. Zhang RJ, Li HM, Gao H, et al. Cortical bone trajectory screws used to save failed traditional trajectory screws in the osteoporotic lumbar spine and vice versa: a human cadaveric

- biomechanical study. *J Neurosurg Spine*. 2019; 1-8. ISSN 1547-5646. doi: 10.1016/j.wneu.2019.03.121. PMID: 30849746.
295. Zhang RJ, Zhou LP, Zhang L, et al. The Rates and Risk Factors of Intra-Pedicular Accuracy and Proximal Facet Joint Violation for Single-Level Degenerative Lumbar Diseases: Cortical Bone Trajectory Versus Traditional Trajectory Pedicle Screw. *Spine*. 2021; 46(23): E1274-e1282. ISSN 0362-2436. doi: 10.1097/brs.0000000000004083. PMID: 33907083.
296. Zhang S, Liu Z, Lu C, et al. Oblique lateral interbody fusion combined with different internal fixations for the treatment of degenerative lumbar spine disease: a finite element analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022; 23(1): 206. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-022-05150-x. PMID: 35246101.
297. Zhang Y-H, Zhao C-Q, Jiang L-S, et al. Modic changes: a systematic review of the literature. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2008; 17(10): 1289-1299. ISSN 1432-0932. doi: 10.1007/s00586-008-0758-y. PMID: 18751740.
298. Zhao Y, Liang J, Luo H, et al. Double-trajectory lumbar screw placement guided by a set of 3D-printed surgical guide templates: a cadaver study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021; 22(1): 296. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-021-04149-0. PMID: 33752641.
299. Zhao YH, Ma YL, Wang L, et al. Anatomical study of the ideal cortical bone trajectory in the lumbar spine. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100(2): e24099. ISSN 0025-7974. doi: 10.1097/md.00000000000024099. PMID: 33466177.
300. Ветрилэ МС. Оперативное лечение спондилолистеза с применением транспедикулярных фиксаторов: Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии.; 2004.
301. Капрош НФ. Тактика лечения комбинированным методом больных с неосложнённым метастатическим поражением позвоночника (начальный опыт). *Revista științifico-practică” Info-Med”*. 2013; 21(1): 12-13.

INFORMAȚII PRIVIND VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII
LISTA PUBLICAȚIILOR ȘI PARTICIPĂRIILOR LA FORUMURI ȘTIINȚIFICE

a dlui **Borodin Serghei**, Catedra de neurochirurgie,
realizate la teza de doctor în științe medicale,
cu tema „Artrodeza Intersomatică Lombară Mediană în tratamentul spondilolistezisului
degenerativ. Studiu comparativ al eficienței clinice”, specialitatea 321.21 Neurochirurgie,
Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie ”Nicolae Testemițanu” din Republica Moldova

LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE

- **Articole în reviste științifice naționale acreditate:**
 - ✓ **articole în reviste de categoria B**
 - 1. **Borodin, S.** Fixarea segmentară internă a coloanei vertebrale cu șuruburi pediculare transcorticale. Revista literaturii. În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științe Medicale*. 2017, vol. 3(55), pp. 198-205. ISSN 1857-0011
 - 2. **Borodin, S.** Clinical efficacy of midline lumbar interbody fusion arthrodesis with neuronavigation-guided cortical bone trajectory screws in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis: a prospective randomized controlled trial. În: *Revista de Științe ale Sănătății din Moldova*. 2023, vol. 10, nr. 1, pp. 9-15. ISSN 2345-1467. DOI: 10.52645/MJHS.2023.1.02
 - 3. **Borodin, S.** Delayed successful interbody fusion after initially failed midline lumbar interbody fusion spinal arthrodesis in a patient with degenerative lumbar spondylolisthesis and severe osteoporosis. În: *Revista de Științe ale Sănătății din Moldova*. 2023, vol. 10, nr. 2, pp. 54-60. ISSN 2345-1467.
- **Articole în culegeri științifice internaționale:**
 - 4. **Borodin, S.** Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) with Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws, Used in The Treatment of Degenerative Disk Disease. *OMI - Salzburg Medical Seminars Online Case Library and OMI Handbook Online*. Disponibil la: https://mhb.openmedicalinstitute.org/media/2017/608/main/data/lectures/608_bo/index.html. Publicație în biblioteca electronică a OMI - Salzburg Medical Seminars (Online Case Library) și în cartea OMI Handbook Online
- **Rezumate/abstracte/teze în lucrările conferințelor științifice naționale și internaționale**
 - 5. **Borodin, S.; Sumleanski, A.; Bodi, A.** Early Clinical Results with the Midline Lumbar Interbody Fusion Using Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws. In: *Turk Neurosurg.* 2017; 27 (Supplement), p. 259. ISSN 1019-5149 - NLM ID 9423821
 - 6. **Borodin, S.; Sumleanski, A.; Bodi, A.** Первичный опыт применения транскортикальной костной траектории транспедикулярных винтов с использованием спинальной нейронавигации при хирургическом лечении поясничного дегенеративного спондилолистеза. In: *The 1st Russian Congress of Functional and Stereotactic Surgeons Abstract Book*. 2016, p. 16.
 - 7. **Bodi, A.; Borodin, S.; Sumleanski, A.** Our early experience with the use of BrainLab Curve neuronavigation system in the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) procedure, for the surgical treatment of the degenerative spondylolisthesis. In: *Ukrainian Neurosurgery Conference “Traumatic injuries of the central and peripheral nervous system” Abstract Book*, 2016, p. 118.

8. **Borodin, S.;** Bodi, A.; Eftodiev, E.; Sumleanski, A.; Cotorcea, I. Clinical and radiological features of cortical bone trajectory pedicle screw fixation of lumbar spine. In: *The Moldovan Medical Journal*. 2018, vol. 61, RMI Congress Issue, p. 70. ISSN 2537-6381
 9. **Borodin, S.;** Sumleanski, A. Early clinical results with the cortical bone trajectory pedicle screw fixation of the lumbar spine, used for the surgical treatment of the degenerative spondylolisthesis. In: *MedEspera: the 6th Internat. Medical Congress for Students and Young Doctors: abstract book*. Chişinău: S. n., 2016, pp. 169-170.
 10. **Borodin, S.;** Bobeico, S.; Sumleanski Alexandru. The lumbar interbody fusion using cortical bone trajectory pedicle screws: clinical results of the lumbar degenerative spondylosis surgical treatment. In: *MedEspera International Medical Congress for Students and Young Doctors: abstract book*. Chisinau: 2018, pp. 117-118.
 11. **Borodin, S.;** Sumleanski, A.; Bezer, M. Clinical and radiological outcomes comparison of the posterior lumbar interbody fusion with cortical bone trajectory screw fixation (MIDLIF) and conventional pedicle screw fixation for low-grade degenerative spondylolisthesis. In: *MedEspera International Medical Congress for Students and Young Doctors: abstract book*. Chisinau: 2020, pp. 72-73. ISBN 978-9975-151-11-5.
 12. Zapuhli, G.; **Borodin, S.;** Bostan A. The first year experience in the spinal instrumentation neurosurgery - from microneurosurgery to the spinal neurosurgery. In: *Romanian Neurosurgery. Selected abstracts of the 39th Congress of the Romanian Society of Neurosurgery with International Participation*. 2013, vol. 20(4), pp. 412-413. ISSN 1220-8841.
- **Brevete de invenții, patente, certificate de înregistrare, materiale la saloanele de invenții**
 13. **Borodin, S.;** Bodi, A. Implementarea tehnicii de artrodeză intersomatică lombară cu șuruburi cortico-pediculare (MIDLIF) în tratamentul chirurgical al afecțiunilor degenerative ale coloanei vertebrale. Certificat de Inovator Nr. 5806 din 14.12.2020
 14. **Borodin, S.;** Bodi A. Tehnica de inserție a șuruburilor cu traiect transpedicular și cortico-pedicular, ghidată de neuronavigație stereotaxică. Certificat de Inovator Nr. 5813 din 20.12.2020.
 15. **Borodin, S.;** Bodi, A. Implementarea tehnicii de monitorizare neurofiziologică intraoperatorie în cadrul operațiilor de artrodeză intervertebrală lombară cu șuruburi pediculare. Certificat de Inovator Nr. 5817 din 04.01.2021.
 16. **Borodin, S.;** Bodi A.; Bobeico, S. Implementarea tehnicii minimal invazive de decompresie transtubulară bilaterală („over the top”) a canalului rahidian stenozat, prin laminotomie unilaterală, în tratamentul chirurgical al spondilolistezisului lombar degenerativ. Certificat de Inovator Nr. 5832 din 09.03.2021
 17. **Borodin, S.;** Bodi, A. Optimizarea procedurii de fixare a cadrului de referință al sistemului de neuronavigație, în intervențiile chirurgicale de artrodeză lombară intersomatică MIDLIF. Certificat de înregistrare a obiectelor dreptului de autor și drepturilor conexe. Seria O Nr. 6916 din 02.06.2021.
 18. **Borodin, S.;** Bodi, A.; Șumleanski, A.; Gherman, I.; Eftodiev, E. Implementarea traiectului transcortical al șuruburilor pediculare în fixarea internă segmentară a coloanei vertebrale lombare. Certificat de Inovator Nr. 02/19 din 23.12.2019.
 19. **Borodin, S.;** Bodi, A.; Șumleanski, A.; Gherman, I.; Eftodiev, E. Ghidajul imagistic intraoperator al șuruburilor pediculare transcorticale prin intermediul neuronavigației stereotaxice spinale. Certificat de Inovator Nr. 03/19 din 23.12.2019
 20. **Borodin, S.;** Bodi, A.; Șumleanski, A.; Gherman, I.; Eftodiev, E. Implementarea tehnicii de Fuziune Intervertebrală Lombară Mediană utilizată în tratamentul chirurgical al spondilolistezisului degenerativ. Certificat de Inovator Nr. 01/19 din 23.12.2019

- **Participări cu comunicări la foruri științifice:**

- ✓ **internaționale**

21. **Borodin, S.** The first year experience in the spinal instrumentation neurosurgery - from microneurosurgery to the spinal neurosurgery. *The 39th Congress of the Romanian Society of Neurosurgery with International Participation*. Bucharest, Romania. September 18-21, 2013.
22. **Borodin, S.** Первичный опыт применения транскорткальной костной траектории транспедикулярных винтов с использованием спинальной нейронавигации при хирургическом лечении поясничного дегенеративного спондилолистеза. *The 1st Russian Congress of Functional and Stereotactic Surgeons*. Moscow, Russian Federation. March 17-18, 2016.
23. **Borodin, S.** Our early experience with the use of BrainLab Curve neuronavigation system in the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) procedure, for the surgical treatment of the degenerative spondylolisthesis. *Ukrainian Neurosurgery Conference "Traumatic injuries of the central and peripheral nervous system"*. Kamianets-Podilskyi, Ukraine. September 15-16, 2016.
24. **Borodin, S.** Early clinical results with the cortical bone trajectory pedicle screw fixation of the lumbar spine, used for the surgical treatment of the degenerative spondylolisthesis. *MedEspera: the 6th Internat. Medical Congress for Students and Young Doctors*. Chișinău, May 12-14, 2016.
25. **Borodin, S.** Early Clinical Results with the Midline Lumbar Interbody Fusion Using Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws. *XVI WFNS World Congress of Neurosurgery, Istanbul, Turkey. August 20-25, 2017*.
26. **Borodin, S.** Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) with Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws, Used In The Treatment of Degenerative Disk Disease". *Open Medical Institute Salzburg Weill Cornell Neurosurgery (Spine) Seminar*. Salzburg, Austria. June 4 - 10, 2017.
27. **Borodin, S.** The lumbar interbody fusion using cortical bone trajectory pedicle screws: clinical results of the lumbar degenerative spondylosis surgical treatment. *MedEspera: the 7th International Medical Congress for Students and Young Doctors*. Chisinau, May 3-5, 2018.
28. **Borodin, S.** Clinical and radiological outcomes comparison of the posterior lumbar interbody fusion with cortical bone trajectory screw fixation (MIDLIF) and conventional pedicle screw fixation for low-grade degenerative spondylolisthesis. *MedEspera: the 8th International Medical Congress for Students and Young Doctors*. Chisinau, September 24-26, 2020.

- ✓ **naționale**

29. **Borodin, S.** Tratatamentul chirurgical contemporan al spondilolistezisului lombar. *Conferința științifico-practică cu genericul: „Managementul Modern În Reabilitarea Medicală Neurologică”*. Bălți, 6 Februarie 2017.

ANEXE

Anexa 1. Orarul de colectare a datelor

Anexa 2. Scala Analog Vizuală de Apreciere a Durerii

Anexa 3. Chestionarul Oswestry Disability Index

Anexa 4. Chestionarul 12-Item Short Form Survey (SF-12)

Anexa 5. Certificat de corespundere a versiunii în limba română a chestionarului SF-12

Anexa 6. Licența pentru utilizarea gratuită a chestionarului SF-12 v.2 și a programului software de calcul, obținută de la compania OptumInsight Life Sciences Inc.

Anexa 7. Rezultatele clinice ale tratamentului chirurgical

Anexa 8. Certificat de Înregistrare a Dreptului de Autor

Anexa 9. Algoritmul de diagnostic și tratament al pacienților cu SPLD

Anexa 10. Certificate de inovator

Anexa 11. Prezentarea rezultatelor tezei la Congresul Mondial (WFNS 2017) și European (EANS 2023) de Neurochirurgie

Anexa 12. Translația și angularea dinamică a vertebrelor la nivelul spondilolistezisului, măsurată pe radiografia în ortostatism în comparație cu IRM sau CT în decubit dorsal.

Anexa 1. Orarul de colectare a datelor

Măsurări	Preop	Intraop	3 zile	7 zile	1 lună	3 luni	6 luni	12 luni
Examnul clinic complex	√							
Examen neurologic	√		√	√	√	√	√	√
Evaluarea prezenței criteriilor de includere și excludere	√							
Acordul informat	√							
Alocarea aleatorie la unul din grupurile de tratament	√							
VAS lombalgie	√			√	√	√	√	√
VAS durere radiculară iradiantă	√			√	√	√	√	√
Chestionarul ODI	√			√	√	√	√	√
Chestionarul SF1-12v2	√			√	√	√	√	√
CK serică	√		√					
Durata operației		√						
Hemoragia		√						
Lungimea inciziei		√						
Doza de radiație ionizantă		√						
Complicații		√		√	√	√	√	√
Evaluarea fuziunii vertebrale							√	√
Radiografie simplă	√			√	√	√		
Radiografie dinamică	√						√	√
Tomografie computerizată	√						√	√
Osteodesitometria DEXA	√							
IRM	√							

Anexa 2. Scala Analog Vizuală de Apreciere a Durerii

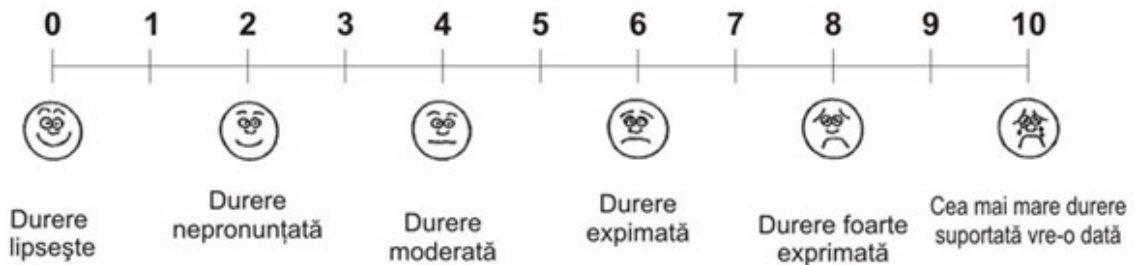
Durere de spate pînă la operație



Durere în picior pînă la operație



Durere de spate după operație



Durere în picior după operație



Anexa 3. Chestionarul Oswestry Disability Index

Oswestry Disability Index (ODI)

Instrucțiuni

Acest chestionar este predestinat pentru a determina cum și în ce măsură durerea în spate sau în picior(picioare) Vă afectează capacitatea de a efectua activități cotidiene. Vă rugăm să răspundeți la întrebările din toate secțiunile și să alegeți varianta care cel mai aproape descrie starea Dumeavoastră actuală. Înțelegem, că în fiecare secțiune pot fi 2 sau mai multe afirmații apropiate, dar Vă rugăm să alegeți doar o singură variantă de răspuns în fiecare secțiune. Vă mulțumim pentru colaborare!

Secțiunea I Intensitatea durerii

- La momentul de față nu am dureri
- La momentul de față durerea este prezentă, dar este neînsemnată
- La momentul de față durerea este moderată
- La momentul de față durerea este destul de exprimată
- La momentul de față durerea este foarte exprimată
- La momentul de față durerea este insuportabilă

Secțiunea II Autodeservirea (spălare, îmbrăcare etc.)

- Sunt capabil să mă auto servesc, aceasta nu îmi provoacă durere suplimentară
- Sunt capabil să mă auto deservesc, dar aceasta îmi provoacă durere suplimentară
- Auto deservirea îmi provoacă durere și sunt nevoit(ă) să fac mișcări lente și atente
- Am nevoie de careva ajutor în auto deservire, dar în majoritatea cazurilor mă descurc singur
- Am nevoie de ajutor în auto deservire în majoritatea cazurilor
- Nu mă pot autodeservi, mă spăl cu greu și sunt nevoit să stau la pat

Secțiunea III Ridicarea greutăților

- Sunt în stare să ridic greutate fără ajutorul cuiva
- Sunt în stare să ridic greutate fără ajutorul cuiva, dar aceasta îmi provoacă durere suplimentară
- Durerea nu îmi permite să ridic greutate, dar sunt capabil să o fac dacă greutatea este comod amplasată (ex. pe masa)
- Durerea nu îmi permite să ridic greutate mai mari, dar sunt capabil să ridic o greutate medie saunică dacă ea este comod amplasată (ex. pe masa)
- Durerea nu îmi permite să ridic greutate mai mari, doar ceva ușor
- Nu sunt capabil să ridic și să duc ceva

Secțiunea IV Mersul

- Pot merge fără durere cât doresc
- Din cauza durerilor nu pot merge mai mult de 1,5km
- Din cauza durerilor nu pot merge mai mult de 700m
- Din cauza durerilor nu pot merge mai mult de 400m
- Din cauza durerilor pot merge numai cu ajutorul bastonului sau castelelor
- Din cauza durerilor stau mai mult în pat, iar pentru autodeservire mă deplasez „în 4 labe”

Secțiunea V Șezut

- Pot sta în orice scaun pe șezute cât doresc
- Pot sta în scaunul meu preferat pe șezute cât doresc
- Din cauza durerilor nu pot sta pe șezute mai mult de 1 oră
- Din cauza durerilor nu pot sta pe șezute mai mult de 30 min
- Din cauza durerilor nu pot sta pe șezute mai mult de 15 min
- Din cauza durerilor nu pot sta pe șezute deloc

Secțiunea VI Ortostațiune

- Pot sta în picioare fără durere cât este nevoie
- Pot sta în picioare fără durere cât este nevoie, dar aceasta agravează durerea
- Din cauza durerilor nu pot sta în picioare mai mult de 1 oră
- Din cauza durerilor nu pot sta în picioare mai mult de 30 min
- Din cauza durerilor nu pot sta în picioare mai mult de 15 min
- Din cauza durerilor nu pot sta în picioare deloc

Secțiunea VII Somnul

- Durerea nu îmi influențează somnul
- Durerea brusc a modificat calitatea și durata somnului
- Din cauza durerilor dorm mai puțin de 6 ore
- Din cauza durerilor dorm mai puțin de 4 ore
- Din cauza durerilor dorm mai puțin de 2 ore
- Durerea nu îmi permite să adorm

Secțiunea VIII Viața socială

- Viața mea socială este normală și nu îmi provoacă durere suplimentară
- Duc o viață socială normală, dar aceasta îmi provoacă durere suplimentară
- Durerea nu are o influență majoră asupra vieții mele sociale, dar mă limitează în efectuarea unor activități mai energice (sport, dansuri etc.)
- Durerea a influențat semnificativ viața mea socială, din cauza durerilor am redus mult comunicarea cu prietenii, colegii, familia etc.
- Din cauza durerii viața mea socială se petrece doar în limitele casei/apartamentului unde stau
- Practic nu iau parte la viața socială din cauza durerilor

Secțiunea IX Viața sexuală (dacă este posibilă)

- Viața mea sexuală este normală și nu-mi provoacă durere suplimentară
- Duc o viață sexuală normală, dar aceasta puțin îmi intensifică durerile
- Viața mea sexuală este aproape că normală, dar aceasta îmi intensifică considerabil durerile
- Durerile îmi limitează considerabil viața sexuală
- Din cauza durerilor aproape că nu am relații sexuale.
- Durerea complet mă împiedică să am relații sexuale.

Secțiunea X Evoluția durerii

- Durerea se ameliorează rapid
- Durerea este când mai mult exprimată, când mai puțin, dar cu siguranță este cu ameliorare
- Durerea pare a fi mai slabă, dar ameliorarea este foarte lentă
- Durerea nu se ameliorează, iar uneori îmi pare că se intensifică
- Durerea se intensifică progresiv
- Durerea se înrăutățește rapid

Starea dumneavoastră de sănătate

Acest chestionar vă solicită opiniile în legătură cu sănătatea dvs. Această informație va contribui la verificarea stării dvs. de sănătate și a capacității de a vă practica activitățile obișnuite. *Vă mulțumim pentru completarea chestionarului!*

Pentru fiecare dintre următoarele întrebări, vă rugăm să marcați un în cea casuță care descrie cel mai bine răspunsul dvs.

1. În general, ați putea afirma că starea dvs. de sănătate este:

Excelentă	Foarte bună	Bună	Nu prea bună	Proastă
▼	▼	▼	▼	▼
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

2. Următoarele întrebări se referă la activități pe care le-ați putea efectua într-o zi obișnuită. Starea prezentă a sănătății dvs. vă limitează în efectuarea acestor activități? Dacă da, în ce măsură?

Mă limitează foarte mult	Mă limitează puțin	Nu mă limitează deloc
▼	▼	▼

- a. Activități moderate, precum mutarea unei mese, folosirea aspiratorului, mersul cu bicicleta sau dansul 1 2 3
- b. Urcarea pe jos a mai multor etaje..... 1 2 3

3. În cursul ultimelor 4 săptămâni, cât de mult timp ați avut vreuna din următoarele probleme la lucru sau în cadrul altor activități zilnice regulate, ca urmare a sănătății dvs. fizice?

	Tot timpul	Majoritatea timpului	O parte din timp	Puțin timp	Niciodată
a. <u>Ați realizat mai puțin decât ați fi dorit</u>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
b. Ați fost limitat în ceea ce privește <u>tipul</u> de lucru sau de alte activități	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

4. În cursul ultimelor 4 săptămâni, cât de mult timp ați avut vreuna din următoarele probleme la lucru sau în cadrul altor activități zilnice regulate, ca rezultat al unor probleme emoționale (cum ar fi o senzație de deprimare sau de neliniște)?

	Tot timpul	Majoritatea timpului	O parte din timp	Puțin timp	Niciodată
a. <u>Ați realizat mai puțin decât ați fi dorit</u>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
b. Ați lucrat sau ați efectuat alte activități cu <u>mai puțină atenție decât de obicei</u>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

5. În cursul ultimelor 4 săptămâni, în ce măsură a fost afectat de durere lucrul dvs. normal (inclusiv în activitatea din afara casei și în activitățile casnice)?

Deloc	Puțin	Moderat	Destul de mult	Extrem de mult
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

6. Aceste întrebări se referă la felul în care vă simțiți și la starea dvs. în cursul ultimelor 4 săptămâni. Pentru fiecare întrebare, vă rugăm să dați răspunsul cel mai apropiat față de felul în care v-ați simțit. Cât de mult timp în cursul ultimelor 4 săptămâni...

	Tot timpul	Majoritatea timpului	O parte din timp	Puțin timp	Niciodată
a. V-ați simțit calm și liniștit?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
b. Ați fost plin de energie?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
c. V-ați simțit abătut și deprimat?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

7. În cursul ultimelor 4 săptămâni, cât de mult timp v-au fost afectate activitățile sociale (precum vizitarea prietenilor, rudelor etc.) de sănătatea dvs. fizică sau de problemele emoționale?

Tot timpul	Majoritatea timpului	O parte din timp	Puțin timp	Niciodată
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

Vă mulțumim că ați răspuns la aceste întrebări!

Anexa 5. Certificat de corespundere a versiunii în limba română a chestionarului SF-12



February 24th, 2012

RE: Document of Certification for the revision of text strings for the Romanian (Romania) SF-12v2 and SF36v2 Self-Administered Form (Standard & Acute) Paper-Pencil

To whom it may concern:

HRA is providing this document of attestation to certify that the Romanian (Romania) SF-12v2 and SF36v2 Self-Administered Form (Standard & Acute) Paper-Pencil are appropriately reflective and matches the content in the English versions of the questionnaire. The revised text strings for the Self-Administered Form Paper-Pencil versions of the SF-36v2 and SF-12v2 (Standard & Acute) were adapted from previously accepted changes from the existing Romanian (Romania) Modified Hip Fracture versions for the SA and IS. The remaining items were retained without alteration from the fully linguistically validated existing paper-pencil versions. The corrections that were identified and approved were categorized for this project into 4 different codes and differentiated the types of changes and determined whether a developer review was necessary.

HRA recruited appropriate translation consultants experienced in the preparation of cross-cultural adaptation of outcomes research measures. HRA organized, coordinated and supervised the activities of the translation consultants during all phases of the adaptation. This included performing the evaluation of the suggestions for appropriate content matching and monitoring the paste-up check of the revised Romanian (Romania) versions and producing the final documentation.

HRA further certifies that the appropriate standards of cross-cultural adaptation techniques were used to develop this version of the measure. These include:

- Identification and review of corrections accepted in the existing Romanian (Romania) Modified Hip Fracture versions for the SA and IS
- Evaluation of the suggestions for the revised text strings for content equivalence
- Developer review of the suggestions for the revised text strings if necessary
- Incorporation of accepted changes, final formatting of translation
- Paste-up check of all the measures

A comprehensive report and documentation on the cross-cultural adaptation process will follow delivery of this certification letter.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink that reads 'Valeska Kantzer'. The signature is written in a cursive style.

Valeska Kantzer
Language Department Manager

Anexa 6. Licența pentru utilizarea gratuită a chestionarului SF-12 v.2 și a programului software de calcul, obținută de la compania OptumInsight Life Sciences Inc.



**NON-COMMERCIAL LICENSE AGREEMENT
Office of Grants and Scholarly Research (OGSR)**

License Number: QM036347
Licensee Name: Serghei Borodin c/o USMF Nicolae Testemitanu
Licensee Address: Grenoble 259/8 str., ap. 17, Chisinau MD-2072 MD
Approved Purpose: Optimization of the midline lumbar interbody fusion technique for the treatment of the degenerative lumbar spine spondylolisthesis
Study Name: PhD Thesis/Dissertation
Study Type: Non-commercial academic research and/or thesis – Unfunded Student
Data Collection Method: Paper and Interview
Therapeutic Area: Bones, Joints and Muscles
Indication: Back Pain

Royalty Fee: None, because this License is granted in support of the non-commercial Approved Purpose

A. Effective Date: This Non-Commercial License Agreement (the "Agreement") from the Office of Scholarly Grants and Research (OGSR) is made by and between OptumInsight Life Sciences, Inc. (f/k/a QualityMetric Incorporated) ("Optum"), 24 Albion Road, Building 400, Lincoln, RI 02865 and Licensee. This Agreement is entered into as of the date of last signature below and is effective for the Study Term set forth on Appendix B.

B. Appendices: Capitalized terms used in this Agreement shall have the meanings assigned to them in Appendix A and Appendix B. The appendices attached hereto are incorporated into and made a part of this Agreement for all purposes.

C. Grant of License: Subject to the terms of this Agreement, Optum grants to Licensee a non-exclusive, non-transferable, non-sublicensable worldwide license to use, solely for the Approved Purpose and during the Study Term, the Licensed Surveys, Software, SMS Scoring Solution, and all intellectual property rights related thereto ("Survey Materials"), in the authorized Data Collection Method, Modes of Administration, and Approved Languages indicated on Appendix B, and to administer the Licensed Surveys only up to the total number of Administrations (and to make up to such number of exact reproductions of the Licensed Surveys necessary to support such Administrations) in any combination of the specific Licensed Surveys and Approved Languages, Data Collection Method, and Modes of Administration.

EXECUTED by the duly authorized representatives as set forth below.

OptumInsight Life Sciences, Inc.

Sergiu Borodin
(Licensee)

Signature: *Michelle White*
Name: Michelle White
Title: Director of Consulting Science
Date: 01 Aug 2016

Signature: *S Borodin*
Name: Serghei Borodin
Title: Dr
Date: 28.07.2016

Anexa 7. Rezultatele clinice ale tratamentului chirurgical

Scorul clinic	Parametrii	Lotul L0 (n=56)	Lotul L1 (n=56)	χ^2 , gl = 1, p
Scorul VAS pentru durerea lombară, preoperatoriu	Media	7.18	7.30	0.75
	DS	2.225	1.906	
	Mediana	8.0	8.0	
	IIQ	3	2	
Scorul VAS pentru durerea lombară, 1 lună postoperatoriu	Media	4.09	2.68	0.08
	DS	1.99	1.80	
	Mediana	4.0	2.50	
	IIQ	4	3	
Scorul VAS pentru durerea lombară, 3 luni postoperatoriu	Media	3.73	3.07	0.157
	DS	1.98	1.59	
	Mediana	4.0	4.0	
	IIQ	3	2	
Scorul VAS pentru durerea lombară, 6 luni postoperatoriu	Media	3.75	2.68	0.04
	DS	1.62	1.54	
	Mediana	4.0	2.0	
	IIQ	3	2	
Scorul VAS pentru durerea lombară, 1 an postoperatoriu	Media	3.48	1.82	0.000
	DS	1.57	1.34	
	Mediana	4.0	2.0	
	IIQ	2	2	
Scorul VAS pentru durerea iradiantă, preoperatoriu	Media	7.34	7.54	0.627
	DS	2.08	2.182	
	Mediana	8.0	8.0	
	IIQ	2	2	
Scorul VAS pentru durerea iradiantă, 1 lună postoperatoriu	Media	2.22	1.21	0.47
	DS	1.93	1.78	
	Mediana	2.0	0	
	IIQ	4	2	
	Media	1.97	1.33	0.140

Scorul VAS pentru durerea iradiantă, 3 luni postoperatoriu	DS	1.60	1.66	
	Mediana	2.0	1.0	
	IIQ	4	2	
Scorul VAS pentru durerea iradiantă, 6 luni postoperatoriu	Media	2.42	1.61	0.17
	DS	1.68	1.22	
	Mediana	2.0	2.0	
	IIQ	3	2	
Scorul VAS pentru durerea iradiantă, 1 an postoperatoriu	Media	2.27	0.73	0.000
	DS	1.61	1.29	
	Mediana	2.0	0	
	IIQ	1	1	
Scorul ODI preoperatoriu	Media	51.79	46.45	0.71
	DS	15.22	15.77	
	Mediana	51.0	43.0	
	IIQ	20	25	
Scorul ODI la 1 lună preoperatoriu	Media	39.87	23.76	0.000
	DS	13.44	14.67	
	Mediana	40.0	22.0	
	IIQ	21	22	
Scorul ODI la 3 luni preoperatoriu	Media	31.89	23.47	0.2
	DS	15.14	11.81	
	Mediana	32.0	24.0	
	IIQ	27	14	
Scorul ODI la 6 luni preoperatoriu	Media	28.22	18.29	0.000
	DS	13.25	10.52	
	Mediana	30.0	20.0	
	IIQ	19	14	
Scorul ODI la 1 an preoperatoriu	Media	24.06	11.51	0.000
	DS	12.28	8.66	
	Mediana	24.0	12.0	
	IIQ	10	12	
Scorul SF-12 PCS preoperatoriu	Media	27.15	27.58	0.754
	DS	7.33	7.43	

	Mediana	26.20	26.85	
	IIQ	9.41	10.27	
Scorul SF-12 PCS 1 lună postoperatoriu	Media	29.25	35.86	0.007
	DS	8.08	9.21	
	Mediana	26.0	34.60	
	IIQ	10.97	15.11	
Scorul SF-12 PCS 3 luni postoperatoriu	Media	32.51	37.43	0.022
	DS	8.39	7.62	
	Mediana	32.84	37.15	
	IIQ	13.68	12.03	
Scorul SF-12 PCS 6 luni postoperatoriu	Media	35.07	41.41	0.000
	DS	7.36	6.75	
	Mediana	33.94	42.84	
	IIQ	10.85	8.84	
Scorul SF-12 PCS 1 an postoperatoriu	Media	37.41	46.34	0.000
	DS	8.09	7.39	
	Mediana	37.19	48.53	
	IIQ	11.10	11.11	
Scorul SF-12 MCS preoperatoriu	Media	39.15	42.01	0.193
	DS	10.89	12.19	
	Mediana	36.70	42.45	
	IIQ	14.48	20.12	
Scorul SF-12 MCS 1 lună postoperatoriu	Media	46.72	51.35	0.065
	DS	9.31	9.00	
	Mediana	46.85	55.07	
	IIQ	14.22	14.72	
Scorul SF-12 MCS 3 luni postoperatoriu	Media	48.34	52.68	0.071
	DS	9.26	8.81	
	Mediana	48.12	55.21	
	IIQ	16.90	12.19	
Scorul SF-12 MCS 6 luni postoperatoriu	Media	49.23	53.66	0.021
	DS	8.87	7.56	
	Mediana	49.06	54.73	

	IIQ	17.05	12.38	
Scorul SF-12 MCS 1 an postoperatoriu	Media	51.05	54.84	0.018
	DS	9.20	7.15	
	Mediana	54.05	57.42	
	IIQ	14.23	6.47	

Anexa 8. Certificat de Înregistrare a Dreptului de Autor



REPUBLICA MOLDOVA

Agenția de Stat pentru
Proprietatea Intelectuală

CERTIFICAT
DE ÎNREGISTRARE A OBIECTELOR
DREPTULUI DE AUTOR ȘI DREPTURILOR CONEXE

SERIA O NR. 6916
DIN 02.06.2021

Eliberat în temeiul Legii nr.139/2010 privind dreptul de autor
și drepturile conexe, obiectul de pe verso a fost înregistrat în Registrul
de Stat al obiectelor protejate de dreptul de autor și drepturile conexe



Director General



CHIȘINĂU

Seria: O

Numărul de înregistrare: 6916

Data înregistrării: 14.05.2021

Numărul cererii: 1691

Denumirea obiectului: „OPTIMIZAREA PROCEDURELUI DE FIXARE
A CADRULUI DE REFERINȚĂ AL SISTEMULUI
DE NEURONAVIGAȚIE, ÎN INTERVENȚIILE
CHIRURGICALE DE ARTRODEZĂ LOMBARĂ
INTERSOMATICĂ MIDLIF”

Autori:

Borodin Serghei **IDNP:** 0992512322083

Bodiu Aureliu **IDNP:** 0971406038989

Titularii drepturilor patrimoniale:

Instituția Publică Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae

Testemițanu" din Republica Moldova **IDNO:** 1007600000794

INSTITUȚIA MEDICO-SANITARĂ PUBLICĂ SPITALUL CLINIC

REPUBLICAN "TIMOFEI MOȘNEAGA" **IDNO:** 1003600150783

EXTRAS

din Legea nr. 139/2010 privind dreptul de autor și drepturile conexe:

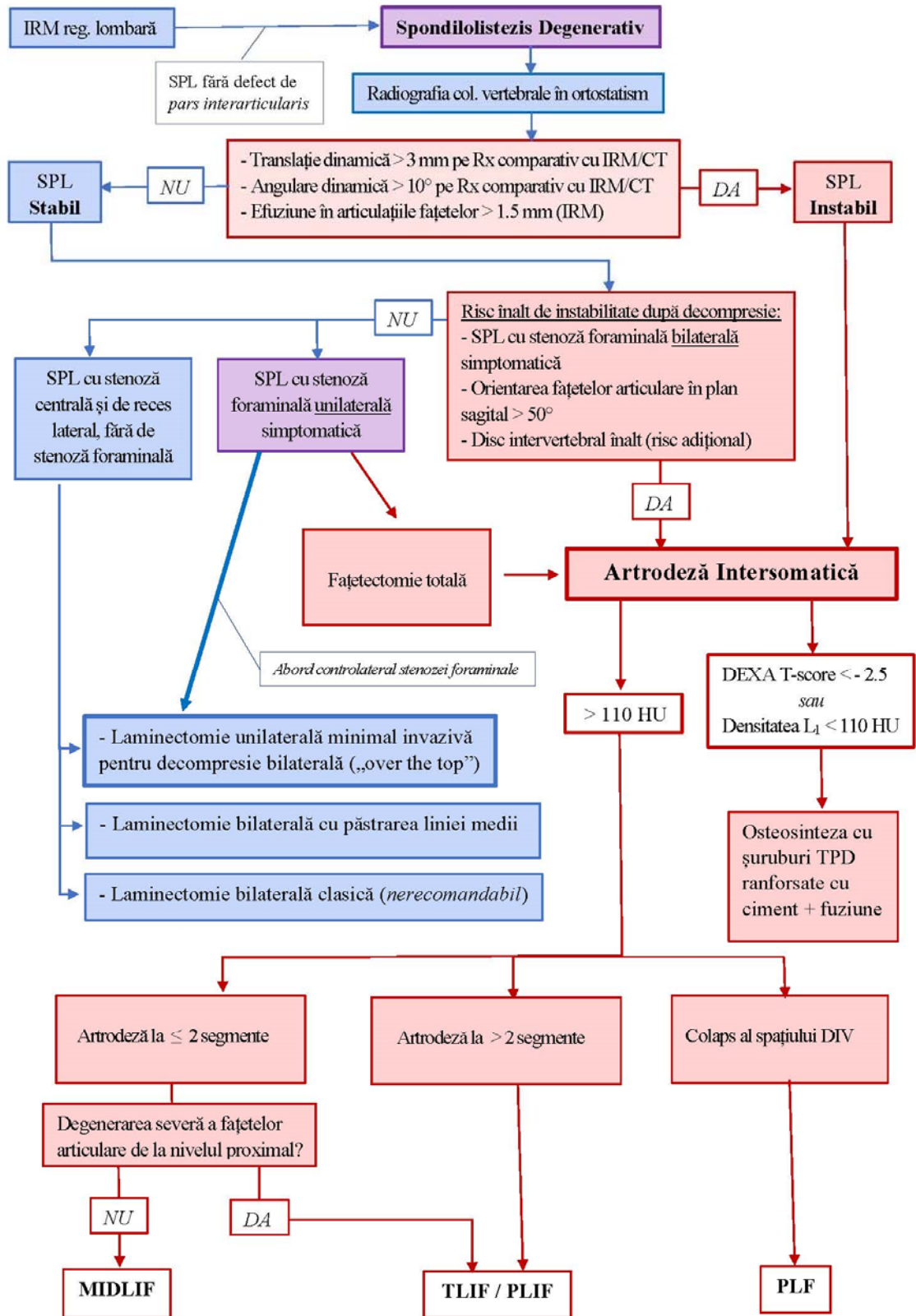
Art. 5 alin. (6): Protecția dreptului de autor se extinde asupra formei de exprimare, dar nu se extinde asupra ideilor, teoriilor, descoperirilor științifice, procedeelelor, metodelor de funcționare sau asupra conceptelor matematice ca atare și nici asupra invențiilor cuprinse într-o operă, oricare ar fi modul de preluare, explicare sau de exprimare.

L.Ș.



Sef Direcție Drept de Autor

Anexa 9. Algoritm de diagnostic și tratament al pacienților cu SPLD





Anexa 11. Prezentarea rezultatelor tezei la Congresul Mondial (WFNS 2017) și European (EANS 2023) de Neurochirurgie



Daily Program		Keynote Lectures, Oral Presentations	
Time : 14.00 - 14.30	Venue : Hall 13-83/89	KL-3/11 / Keynote Lectures-35	
		Moderators: Bizhan Aarabi / USA, Erdinc Civelek / Turkey	
14.00 - 14.15	Strategies of Percutaneous Pedicle Screwing in the Minimally Invasive Spine Surgery	<i>Hyeun-Sung Kim / South Korea</i>	
14.15 - 14.30	Safety and Efficacy of Percutaneous Screw Stabilization of Unstable Fractures of the Thoracolumbar Spine	<i>Altob Younus / South Africa</i>	
SP.16 / Oral Presentations-59			
14.30 - 14.40	OP-SP.16-01	Clinical Results After Surgical Treatment in Young Male Patients with Low Grade Isthmic Spondylolisthesis	<i>Ahmet Eroglu / Turkey Cem Atabey</i>
14.40 - 14.50	OP-SP.16-02	Maximizing Safety in Spine Surgery: O-Arm Based Navigation Combined to Pedicle Screws Stimulation	<i>Abdul Karim Msaddi / United Arab Emirates</i>
14.50 - 15.00	OP-SP.16-03	Accuracy of Consecutive Series of 1273 Pedicle Screws Placement in Thoracolumbar Spine with IONM and CT-Guided Navigation (O-arm) in 230 Patients	<i>Stanislaw Adamski / Poland Wojciech Kloc, Witold Libionka, Marek Rockawski, Rafal Pankowski, Patryk Kurland, Maciej Racinowski, Jakub Wisniewski, Piotr Murawski</i>
15.00 - 15.10	OP-SP.16-04	Interbody Fusion. Is It has a Rule in Broken Screws in Surgical Management of Lumbar Spondylolisthesis?	<i>Ahmed Mohamed Sawy / Egypt</i>
15.10 - 15.20	OP-SP.16-05	Foraminal, Disc Height and Lumbar Lordosis Changes: Comparison Study Following Stand Alone Anterior- Versus Instrumented Posterior Interbody Fusion For L5-S1 Degenerative Disc Disease	<i>Farid Yudoyono / South Korea Sevline Estethia Ompusunggu, Rully Hanafi Dahlan, Dong Ah Shin, Seong Yi, Yoon Ha, Do Heum Yoon, Keung Nyun Kim</i>
15.20 - 15.30	OP-SP.16-06	Evaluation of Clinical Outcomes of Sacral Double Screw Technique on Lumbosacral Posterior Fixation	<i>Ahmet Tolgay Akinci / Turkey Cumbur Kilerçer</i>
15.30 - 15.40	OP-SP.16-07	Early Clinical Results With The Midline Lumbar Interbody Fusion Using Cortical Bone Trajectory Pedicle Screws	<i>Serghei Borodin / Moldova Alexandru Sumlearschi, Aureliu Bodiu</i>
15.40 - 15.50	OP-SP.16-08	Interbody Fusion. Is It has A Rule in Broken Screws in Surgical Management of Lumbar Spondylolisthesis?	<i>Hamdi Nabawi Mostafa / Egypt Michael Zohrey Johnny, Ahmed Sawy, Nazeek Ahmed</i>
15.50 - 16.00	OP-SP.16-09	Clinical and Radiological Results of Dynamic Instrumentation in Lomber Degenerative Scoliosis and Degenerative Listhesis Surgery	<i>Orkun Koban / Turkey Ahmet Öğrenci, Onur Yaman, Mesut Yılmaz, Sedat Dalbayrak</i>

Aug.
23
(Wed)



CERTIFICATE OF PRESENTATION

We hereby certify that the submitted abstract with the title:
Clinical and Radiological Efficacy of the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) in Treating Patients with Degenerative Spondylolisthesis: Final Results of a Prospective Randomized Controlled Trial
by

Dr Serghei Borodin, Prof. Aureliu Bodi, Dr Eduard Eftodiev, Dr Sergiu Bobeico, Dr. Igor Gherman,

was presented as Oral presentation

at **EANS2023, the Annual European Congress of Neurosurgery**

that took place at Palau de Congressos, in Barcelona, Spain
on 24 - 28 September 2023.

Jesus Lafuente
Congress President

Andreas Demetriades
President of the EANS

Claudius Thomé
EANS Board Member: Scientific Liaison

Thursday 28 September 2023

08:30 – 10:00: Parallel Sessions

Auditorium

08:30 - 10:00 Technologies in spine surgery (Spine Parallel Session)

Chairs: Nikolay Gabrovsky, Ehab Shiban

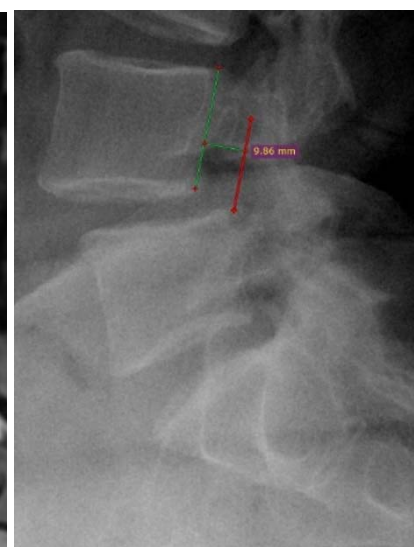
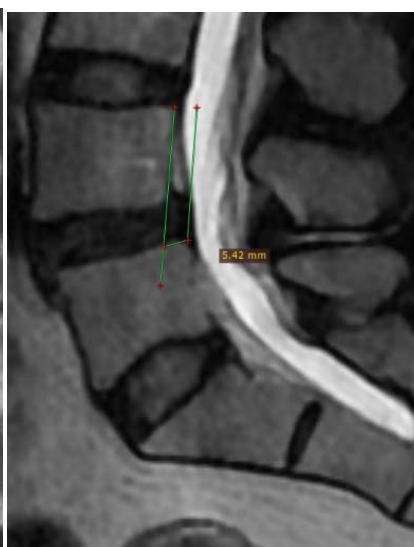
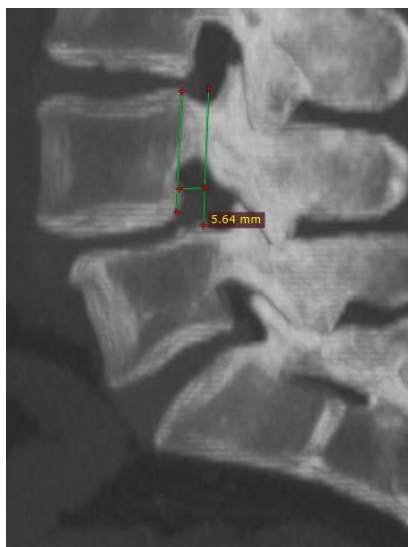
-
- 08:30 - 08:40 Navigation with intraoperative cone-beam CT for complex anterior cervical spine surgery – How do I do it
Ruben Martin-Laez
 - 08:40 - 08:50 AI-based clinical decision support fully integrated in the EHR - a novel approach to improving patient selection for spine surgery
Tor Ingebrigtsen
 - 08:50 - 09:00 Surgical spinal robotics. Overcoming the disadvantages of MISS
Peter Ilkov
 - 09:00 - 09:08 Clinical and Radiological Efficacy of the Midline Lumbar Interbody Fusion (MIDLIF) in Treating Patients with Degenerative Spondylolisthesis: Final Results of a Prospective Randomized Controlled Trial **85**
Serghei Borodin
 - 09:08 - 09:16 Deep Learning on Preoperative Radiographs for Clinical Success Prediction after Surgery for Cervical Degenerative Disease **796**
Caroline Goedmakers
 - 09:16 - 09:24 Stent-screw assisted internal fixation with apex pushing technique for kyphosing thoracolumbar fractures (SAIFAP) **503**
Stefan Motov

Anexa 12. Translația și angularea dinamică a vertebrelor la nivelul spondilolistezisului, măsurată pe radiografia în ortostatism în comparație cu IRM sau CT în decubit dorsal

CT

IRM

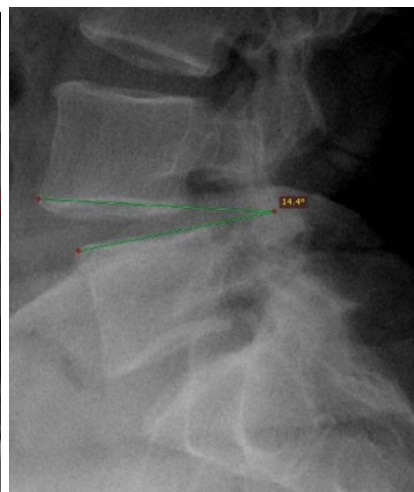
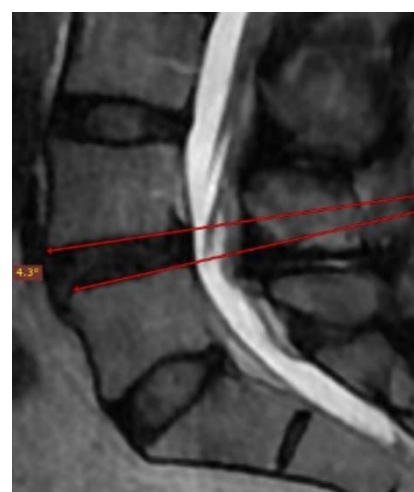
Rx în ortostatism



CT

IRM

Rx în ortostatism



Notă: O translație dinamică > 3 mm și o angulare dinamică > 10 grade sunt sugestive pentru instabilitate vertebrală segmentară.

DECLARAȚIE PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, declar pe răspundere personală, că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Borodin Serghei

Semnătura 

Data 3.11.2023

Declaration on accountability

I declare the personal responsibility that information presented in this thesis are the result of my own research and scientific achievements. I realize that, otherwise, will suffer the consequences in accordance with law.

Borodin Serghei

Signature 

Date 3.11.2023