

**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**

**Rezumatul tezei 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).

**Componența 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

INTRODUCERE.....	4
METODOLOGIA CERCETĂRII.....	5
SINTEZA CAPITOLELOR.....	7
CAPITOLUL 1.....	7
CAPITOLUL 2.....	8
CAPITOLUL 3.....	10
CAPITOLUL 4.....	11
CONCLUZIILE GENERALE.....	15
BIBLIOGRAFIE (selectivă).....	16
LISTA PUBLICAȚIILOR LA TEMA TEZEI.....	18

## INTRODUCERE

### 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 rețracția 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 [5].

Pentru a rezolva unele dintre aceste neajunsuri, 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 fixării spinale 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 (figura 1). 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 [21].



Figura 1. Artrodeza MIDLIF cu șuruburi cortico-pediculare

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

- Disecția și rețracția 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 [15]. De atunci au fost publicate multiple studii preclinice (biomecanice, morfometrice, anatomice, radiologice) și studii clinice, care au căutat să demonstreze superioritatea sau non-inferioritatea șuruburilor cortico-pediculare față de șuruburile transpediculare tradiționale. Din păcate, majoritatea acestor studii au fost retrospective, fără randomizare, 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 osteosinteză cu șuruburi CoPd.

## **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, comparându-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).

**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 cazul artrodezei MIDLIF. Stabilirea unei configurații intraoperatorii optimale 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).

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 spondilozideză, 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 (BrainLab). 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 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 metodei de evaluare a fuziunii intervertebrale cu ajutorul tomografiei computerizate în baza protocolului Williams și a clasificării Brantigan-Steffee-Fraser.
- 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, Spania, România, Ucraina și Rusia, inclusiv la al XVI Congres Mondial de Neurochirurgie, WFNS 2017 și Congresul Asociației Europene a Societăților de Neurochirurgie, EANS 2023 Barcelona.

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

## SINTEZA CAPITOLELOR

**CAPITOLUL 1** include o analiză profundă a materialelor științifice relevante la tema tezei, existente la ora actuală.

Traiectul cortico-pedicular (CoPd) a fost conceput inițial cu scopul de a ameliora eficiența mecanică a șuruburilor pediculare la pacienții cu osteoporoză. Santoni și colegii săi (2009) au demonstrat o densitate crescută a țesutului osos în care este ancorat șurubul CoPd, ceea ce a dus la creșterea cu 30% a rezistenței sale la smulgere și o rigiditate echivalentă cu cea a șuruburilor pediculare tradiționale [21]. Matsukawa et al. au demonstrat ulterior un cuplu de inserție de 1.7 ori mai mare în cazul șuruburilor transcorticale și o rezistență superioară a construcțiilor CoPd la probele de flexie și extensie ale testelor de duranță [12-14]. Alți autori au reconfirmat o eficiență biomecanică similară șuruburilor transpediculare (TPd) în cazul utilizării șuruburilor mai scurte și cu diametru mai mic, implantate pe traiect CoPd [16]. Li et al. (2018) au constatat că șuruburile CoPd au fost superioare șuruburilor pediculare tradiționale în ceea ce privește cuplul de inserție, rezistența la smulgere, rezistența la uzură și forța necesară pentru dislocarea șurubului într-un țesut osos osteoporotic [10].

Până în prezent există doar un singur studiu prospectiv randomizat care compară eficacitatea clinică a șuruburilor CoPd cu cele TPd. Lee et al. (2015) au demonstrat pentru grupul CoPd valori semnificativ mai mici pentru hemoragia intraoperatorie (360 vs. 450 ml,  $p = 0.04$ ), a duratei operației (2.1 vs. 2.6 h,  $p = 0.03$ ) și a lungimii inciziei (73 vs. 107 mm,  $p = 0.03$ ) [8]. Multe alte studii comparative au demonstrat micșorarea semnificativă a valorii parametrilor asociați morbidității chirurgicale (pierderile de sânge, lungimea inciziei, timpul operator, durata spitalizării) în caz de aplicare a rahisintezii CoPd [2, 11, 20, 23].

Aplicarea șuruburilor cu traiect CoPd pare să aibă rezultate clinice și radiologice similare cu cele ale șuruburilor TPd, atât pe termen scurt cât și pe termen lung. Lee et al. (2018) au demonstrat o rată identică de reușită a fuziunii pentru șuruburile CoPd și șuruburile TPd ( $p > 0.99$ ) la 2 ani postoperatoriu. Intensitatea durerii lombare pe scala analog vizuală (VAS) a fost semnificativ mai mică doar la 1 săptămână postoperatoriu la pacienții supuși osteosintezii CoPd în comparație cu TPd, în timp ce durerea de picior, indicele de invaliditate Oswestry (ODI) și calitatea vieții (SF-12) au fost similare la toate etapele de supraveghere clinică. Complicațiile perioperatorii, inclusiv slăbirea eficienței biomecanice a șurubului, infecția plăgii și recurența durerilor radiculare au fost similare pentru ambele grupuri [9].

Multiple meta-analize au demonstrat pentru traiectul CoPd o lungime mai mică a inciziei, o spitalizare mai scurtă și un volum mai mic al hemoragiei intraoperatorii [4, 24]. De asemenea, studiile cu o calitate înaltă a dovezilor științifice au concluzionat că șuruburile CoPd și TPd au fost similare în privința ratei de fuziune, de reoperații, a complicațiilor perioperatorii și a scorurilor VAS pentru durerea lombară și radiculară, în timp ce unul din studii a demonstrat un

scor ODI mai bun și o incidență mai joasă a degenerării segmentului adiacent în cazul aplicării șuruburilor transcorticale [24].

Deși există cu siguranță beneficii teoretice ale traiectului CoPd, o analiză atentă a literaturii de specialitate relevă limitări clare în ceea ce privește cunoștințele existente despre caracteristicile biomecanice și rezultatele clinice asociate aplicării șuruburilor transcorticale [6].

Spre exemplu, Perez-Orribo et al. (2013) au constatat că șuruburile CoPd sunt semnificativ mai puțin rigide decât șuruburile transpediculare în flexie laterală și rotație, ceea ce duce la apariția micro-mișcărilor și la scăderea eficienței mecanice a acestora [17]. Mai mulți autori au citat această logică pentru a explica rata mai joasă de reușită a artrodezei și rezultatele clinice timpurii mai slabe pe care le-au înregistrat în urma aplicării rahisintezei CoPd [3, 19]. Pe baza mai multor studii biomecanice, se consideră că șuruburile CoPd sunt echivalente cu șuruburile TPD din punct de vedere a stabilității doar când sunt combinate cu un dispozitiv intersomatic.

O analiză sistematică recentă a scos la iveală diferențe contradictorii în ceea ce privește durerea postoperatorie, durata operației și rata complicațiilor. Doar volumul pierderilor sangvine a fost în favoarea traiectului CoPd [18]. Literatura de specialitate actuală abundă de dovezi contradictorii și de studii de calitate joasă a dovezilor științifice, ceea ce îi descurajează pe mulți dintre chirurghi să aplice în practică noua tehnică de rahisineză cortico-pediculară.

**CAPITOLUL 2** include descrierea metodologiei cercetării.

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

**Lotul de cercetare** L<sub>1</sub> a inclus pacienți tratați chirurgical prin tehnica experimentală de Artrodeză Intersomatică Lombară Mediană (MIDLIF).

**Lotul de control** L<sub>0</sub> a fost prezentat de pacienții tratați chirurgical prin metoda tradițională de Artrodeză Intersomatică Lombară Posterioară (PLIF) sau Transforaminală (TLIF).

Volumul lotului de cercetare a fost apreciat prin aplicarea formulei de calcul a mărimii eșantionului în cazul studiilor experimentale și a rezultat într-un număr de 56 subiecți.

Așadar, pentru cercetarea au fost create două loturi: lotul de cercetare L<sub>1</sub> 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 L<sub>0</sub> care a inclus nu mai puțin de 56 de pacienți cu spondilolistezis degenerativ la care a fost aplicată tehnica chirurgicală tradițională.

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 degenerativ de grad mic (grad I-II), asociat cu stenoză foraminală, degenerarea discului intervertebral și instabilitate vertebrală de origine degenerativă.
- Pacientul este competent să acorde un consimțământ informat
- Acceptarea participării la cercetare.

**Criteriile de excludere** din studiu au fost:

- Spondilolistezis cu grad înalt 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
- Deficit neurologic permanent, nerelatat la patologia coloanei vertebrale lombare



- Antecedente de abuz de alcool sau droguri
- Osteoporoză vertebrală severă
- Prezența contraindicațiilor pentru tratamentul chirurgical: comorbidități medicale severe, administrarea tratamentului de imunosupresie, infecție activă sistemică sau locală
- Lipsa unei adrese permanente de reședință în Republica Moldova, emigranți
- Gravidele sau graviditate planificată pentru următorii 1-2 ani
- Pacient incapabil să acorde un consimțământ voluntar: ex. demență, retard intelectual
- Refuzul pacientului de a participa la cercetare.

### **Design-ul studiului**

Pacienții cu spondilolistezis degenerativ recrutați pentru tratamentul chirurgical sunt inițial supuși unui examen clinic și radio-imagistic complex. Examenul clinic include colectarea amplă a anamnezei bolii, colectarea datelor demografice de bază și efectuarea unui examen neurologic desfășurat. Se pune accentul pe identificarea factorilor de risc care ar favoriza apariția pseudartrozei spinale postoperatoriu, cum ar fi vârsta și sexul pacientului, deprinderile vicioase (fumatul, abuzul cronic de alcool), consumul cronic de glucocorticoizi și AINS, diabetul zaharat, hepatitele virale și intervențiile chirurgicale la nivelul coloanei vertebrale suportate anterior.

În plus, pacientului îi sunt oferite pentru a fi completate preoperatoriu chestionarele de autoevaluare a intensității durerii de spate și a durerii radiculare iradiante (Visual Analog Scale, VAS), a gradului de dizabilitate funcțională (Oswestry Disability Index, ODI) și a calității vieții asociate stării de sănătate fizică și mintală a pacientului (12-Item ShortForm Survey, SF-12).

Examenul radio-imagistic preoperatoriu include obligatoriu imagistica prin rezonanță magnetică nucleară (IRM), tomografia computerizată (CT) în regim de fereastră osoasă, radiografia coloanei vertebrale în ortostatism și / sau radiografia funcțională a coloanei vertebrale. De asemenea, toți pacienții au fost investigați prin intermediul osteodensitometriei DEXA a coloanei vertebrale lombare și a colului femural, pentru evaluarea calității țesutului osos vertebral și excluderea prezenței osteoporozei.

Ulterior, se aplică criteriile de includere și excludere din studiu. Dacă pacientul se încadrează în cel puțin unul din criteriile de excludere, el nu este acceptat pentru participarea în cercetare și în acest caz este aplicat tratamentul standard pentru patologia de care suferă (artrodeză tradițională sau decompresie osoasă fără instrumentare).

Dacă sunt îndeplinite toate criteriile de includere și nu este împlinit nici unul din criteriile de excludere, pacientului i se propune participarea în studiul clinic randomizat și îi este solicitată acordarea consimțământului informat. Dacă din anumite motive pacientul refuză participarea la studiu, pacientul este exclus din cercetare, nu este supus randomizării și este tratat prin una din metodele chirurgicale standard.

Pacienții care au fost incluși în studiul clinic, sunt supuși randomizării prin metoda plicurilor sigilate, fiind distribuiți aleatoriu în unul din cele două loturi de studiu.

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, care a fost elaborată pentru evaluarea fuziunii

intervertebrale prin cuștile din fibră de carbon (figura 2). Conform acestei clasificări se disting 3 tipuri de fuziune intersomatică. Tipul BSF-1 include pseudartroza radiografică veritabilă, indicată prin semnele imagistice de pierdere a eficienței mecanice a sistemului de fixare spinală, cum ar fi apariția zonelor de radiolucență la periferia cuștii intersomaticice și în jurul șuruburilor pediculare, resorbția semnificativă a grefei osoase, dislocarea și subsidența cuștilor intervertebrale cu pierderea înălțimii spațiului discal, fractura de stres a șuruburilor, pierderea corecției alunecării vertebrale. Tipul BSF-2 sau „pseudartroză blocată”, este indicată de fuziunea osoasă la nivelul ambelor platouri vertebrale, dar cu prezența unei linii orizontale de radiolucență care traversează mijlocul grefei osoase. Tipul BSF-3 reprezintă fuziunea radiografică solidă, grefa osoasă luând forma unor punți neîntrerupte de țesut osos, care fuzionează viguros cu ambele platouri vertebrale adiacente.

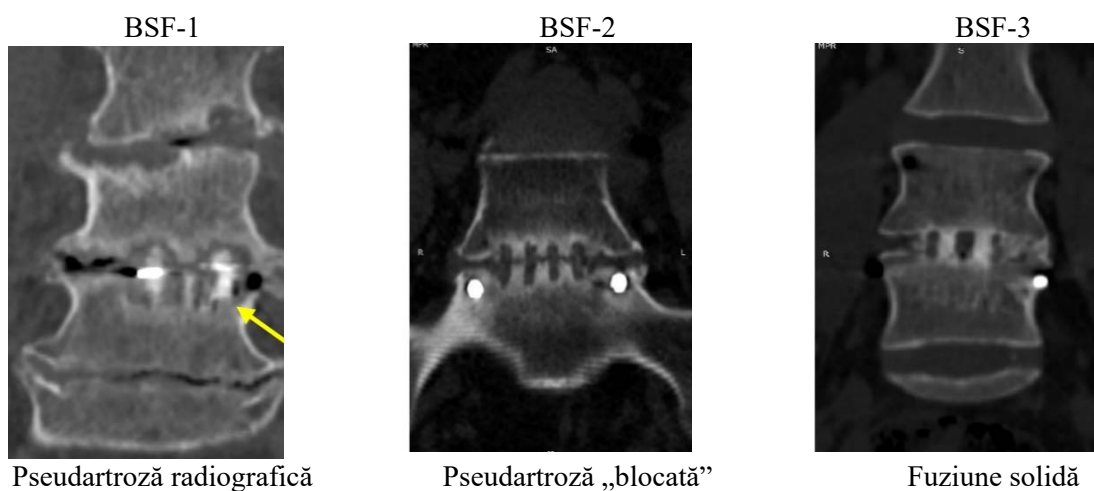


Figura 2. **Tipurile de fuziune intersomatică conform clasificării Brantigan-Steffee-Fraser**

În plus, au fost înregistrați prospectiv parametrii intra și postoperatorii asociați morbidității chirurgicale, cum ar fi lungimea inciziei, hemoragia intraoperatorie, necesitatea de hemotransfuzie, durata operației, traumatismul chirurgical al țesutului muscular (creșterea CK serice postoperatoriu), expoziția la radiația ionizantă, durata spitalizării și rata complicațiilor perioperatorii.

Datele demografice, gradul de reușită a artrodezei intersomaticice, 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 2003. 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 variabilele continue și a testelor Fisher exact și Pearson Chi-Square ( $\chi^2$ ) 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.

**CAPITOLUL 3** a fost dedicat descrierii aspectelor tehnice ale artrodezei intersomaticice MIDLIF. Sunt redați desfășurat pașii operatori esențiali, dar și dificultățile tehnice care au dus inițial la apariția unor complicații specifice acestui tip de artrodeză, cum ar fi fractura *de pars interarticularis* și pedicul în timpul inserției șurubului CoPd din cauza rezecției insuficiente a

bazei apofizei spinoase. O atenție deosebită este oferită aspectelor tehnice ale utilizării sistemului de neuronavigație spinală (BrainLab Curve) pentru ghidarea șuruburilor pe traiect CoPd. Sunt conturate limitările și dificultățile tehnice asociate aplicării neuronavigației în cadrul operațiilor de artrodeză MIDLIF și sunt propuse modalități de rezolvare a acestor impedimente. Spre exemplu, este subliniat faptul că configurația neuronavigației utilizată pentru ghidarea inserției șuruburilor transpediculare convenționale nu este valabilă în cazul rahisintezei cu șuruburi CoPd. Este recomandată implementarea unei configurații optimale ale sistemului de neuronavigație, ce presupune un procedeu ajustat, de fixare a cadrului dinamic de referință pe apofiza spinoasă localizată supraiacent nivelului fuzionat, prin intermediul unei mici contra-incizii adiționale și plasarea camerei în infra-roșu la capul pacientului. Cadrul de referință este orientat în direcție craniană, pentru a fi în câmpul vizual direct al camerei în infraroșu.

Totodată, este descrisă tehnica de canulare a pediculelor cu ajutorul drill-ului electric ghidat de neuronavigație, pentru a evita balansarea coloanei vertebrale în raport cu cadrul de referință, care tipic apare în timpul preparării manuale a pediculelor, în special în timpul penetrării țesutului osos cortical cu densitate foarte înaltă din regiunea *pars interarticularis* prin impactarea mecanică a sondei pediculare. Mișcarea indezirabilă a vertebrelor în raport cu sistemul de referință poate duce la apariția erorilor de localizare spațială a instrumentului chirurgical ghidat de neuronavigație.

În final, sunt descrise unele variații tehnice ale traiectului CoPd pentru șuruburile caudale cum ar fi traiectul paralel și traiectul trans-fațetar (tehnica hibrid de fixare CoPd), cât și tehnica de penetrare a platoului vertebral pentru șuruburile sacrale S1.

**CAPITOLUL 4** este dedicat evaluării eficacității tratamentului chirurgical, prin analiza rezultatelor aplicării tratamentului pacienților cu spondilolistezis degenerativ prin metoda experimentală și compararea cu rezultatele clinice ale tehnicilor tradiționale de artrodeză intersomatică.

#### **Caracteristica pacienților**

O sută douăsprezece (112) pacienți au fost repartizați în mod aleatoriu în două loturi de studiu: lotul de control L<sub>0</sub> (56 pacienți) și lotul de studiu L<sub>1</sub> (56 pacienți). Pacienții din ambele loturi au fost similari în privința caracteristicilor demografice cum ar fi vârsta, sexul, statutul de fumător, înălțime, greutate, IMC, patologia lombară și bolile sistemice asociate ( $p > 0.05$ ).

De asemenea, loturile au fost omogene ce ține de valoarea preoperatorie a scorurilor VAS pentru durerea lombară, VAS pentru durerea radiculară iradiantă, gradul dizabilității funcționale (scorul ODI), cât și de componentele PCS și MCS ale scorului SF-12 ( $p > 0.05$ ).

#### **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 L<sub>0</sub> și 50 de pacienți (89.3%) din lotul L<sub>1</sub> 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 L<sub>0</sub> și 6 pacienți (10.7%) din lotul L<sub>1</sub>. Nici un caz de pseudartroză veritabilă (BSF-1) nu a fost confirmat radiologic în vreunul din loturile de studiu (tabelul 1).

Tabelul 1. Rata de reușită a fuziunii intersomatice

Gradul de fuziune	Lotul L <sub>0</sub>		Lotul L <sub>1</sub>		$\chi^2$ , gl = 1, p	Fisher exact
Pseudartroză BSF-1	0	0	0	0	p = 0.405	p = 0.580
Pseudartroză încuiată BSF-2	16.1%	9	10.7%	6		
Fuziune solidă BSF-3	83.9%	47	89.3%	50		

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 ( $p = 0.580$ ).

### Măsurarea rezultatelor clinice 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  $7.18 \pm 2.22$  pre-op la  $3.48 \pm 1.57$  la 1 an post-op în lotul L<sub>0</sub> și de la  $7.3 \pm 1.9$  la  $1.82 \pm 1.34$  în lotul L<sub>1</sub>. Scorul VAS pentru durerea de spate a fost semnificativ mai mic în lotul L<sub>1</sub> ( $p < 0.001$ ) la 1 an după operație. De asemenea, scorul VAS al durerii lombare a fost semnificativ mai mic în lotul L<sub>1</sub> comparativ cu lotul L<sub>0</sub> la 1 lună și 6 luni postoperatoriu ( $p < 0.05$ ), dar această diferență nu a fost identificată și la 3 luni post-op.

La fel și scorul VAS pentru durerea iradiantă în membrele inferioare s-a ameliorat semnificativ în ambele loturi, scorul mediu diminuând de la  $7.34 \pm 2.08$  preoperatoriu la  $2.27 \pm 1.61$  la 1 an postoperatoriu în lotul L<sub>0</sub> și de la  $7.54 \pm 2.18$  preoperatoriu la  $0.73 \pm 1.29$  la 1 an post-op. 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.

Scorul ODI de asemenea s-a ameliorat semnificativ în ambele grupuri de studiu postoperatoriu, de la  $51.79 \pm 15.22$  pre-op la  $24.06 \pm 12.28$  la 1 an post-op în lotul L<sub>0</sub> și de la  $46.45 \pm 15.77$  la  $11.51 \pm 8.66$  în lotul L<sub>1</sub>, diferența având o puternică semnificație statistică ( $p < 0.001$ ) (figura 3). 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 L<sub>1</sub> (figura 3).

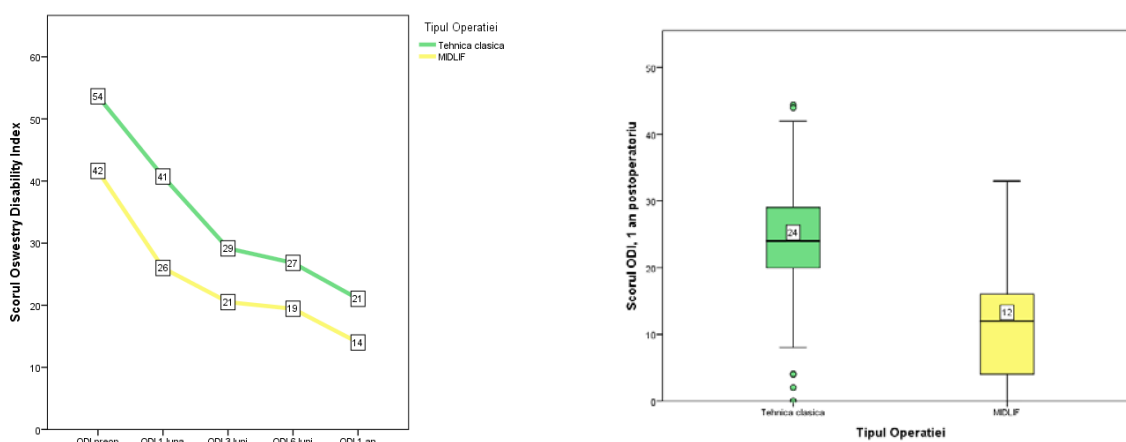


Figura 3. Ameliorarea postoperatorie a dizabilității ( $p < 0.05$  la 1 lună, 6 luni și 1 an post-op)

Calitatea vieții asociată stării de sănătate fizică și mintală a pacientului a fost apreciată prin intermediul chestionarului de autoevaluare SF-12. Sumarul componentei mintale (MCS) a scorului SF-12 s-a ameliorat de la  $39.15 \pm 10.89$  preoperatoriu la  $51.05 \pm 9.2$  la 1 an post-op în lotul L<sub>0</sub> și de la  $42.01 \pm 12.19$  la  $54.84 \pm 7.15$  la 1 an postoperatoriu în lotul L<sub>1</sub>, 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  $27.15 \pm 7.33$  pre-op la  $37.41 \pm 8.09$  în lotul L<sub>0</sub> și de la  $27.58 \pm 7.43$  preoperatoriu la  $46.34 \pm 7.39$  la 1 an postoperatoriu în lotul L<sub>1</sub>, diferența între loturi fiind statistic semnificativă ( $p < 0.001$ ). Ameliorarea componentei fizice a scorului SF-12 a fost semnificativ mai mare în lotul L<sub>1</sub> și la distanța de 1, 3 și 6 luni după operație ( $p < 0.05$ ).

Satisfacția pacientului a fost evaluată la 1 an post-operatoriu. Treizeci și șapte pacienți (84,1%) din lotul L<sub>0</sub> și 48 de pacienți (96,0%) în lotul L<sub>1</sub>, s-au declarat satisfăcuți de tratament. Această diferență nu a fost statistic semnificativă conform testului Chi-Square ( $p = 0.050$ ) și a testului Fisher.

Analiza morbidității chirurgicale a inclus volumul hemoragiei intraoperatorii, necesitatea de transfuzie sanguină, durata operației, durata spitalizării, lungimea inciziei și creșterea concentrației serice a creatin kinazei (CK) musculare în perioada postoperatorie, ultima fiind un marker veridic al leziunii iatrogene a țesutului muscular. Lotul L<sub>1</sub> a fost asociat cu rezultate mai bune comparativ cu lotul L<sub>0</sub> 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 2).

Tabelul 2. Parametrii asociați cu morbiditatea chirurgicală

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

Complicațiile intra și postoperatorii înregistrate nu au variat semnificativ între loturi (tabelul 3). 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. 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 L<sub>1</sub> a scurgerii de LCR prin plaga postoperatorie, iar la un pacient din lotul L<sub>0</sub> a fost constatată infecția superficială a plăgii. Ambele complicații au fost rezolvate fără de a interveni chirurgical repetat. Câte un pacient din fiecare lot de studiu au dezvoltat boala nivelului adiacent fixării, la 5 ani post-op în lotul L<sub>1</sub> și la 2 ani după operație în lotul L<sub>0</sub>. Ambii pacienți au fost supuși unei intervenții chirurgicale de decomprimare minimal invazivă, fără de extinderea construcției de rahisinteză cu includerea nivelului adiacent. Ce ține de rata generală a complicațiilor, diferența între loturile de studiu nu a fost semnificativă statistic.

Tabelul 3. Rata de complicații intra și postoperatorii

Complicația	Lotul L <sub>0</sub>		Lotul L <sub>1</sub>		$\chi^2$ , 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
Reoperații	0	0	0	0	1.0
Tromboză venoasă profundă	2	3.6%	0	0	0.15
Boala nivelului adiacent	1	1.8%	1	1.8%	1.0

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·cm<sup>2</sup> și prin timpul de fluoroscopie (FT) în secunde. Datele obținute au fost comparate între loturile de studiu, 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 [7].

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·cm<sup>2</sup> și 102 secunde pentru timpul de fluoroscopie. Doza medie a DAP pentru pacienții din ambele loturi ale studiului nostru a fost de  $393.91 \pm 329.09$  cGy·cm<sup>2</sup>. Comparativ cu datele din literatură, a fost constatată o diferență de 369.08 cGy·cm<sup>2</sup>, această diferență fiind semnificativă statistic ( $p < 0.001$ ). Timpul de fluoroscopie mediu în studiul nostru a fost de  $30.83 \pm 26.68$  secunde, cu 71.17 secunde mai mic decât în studiul de referință, diferență semnificativă statistic ( $p < 0.001$ ).

Tabelul 4. Expoziția la radiația ionizantă raportat la studiul de referință

Parametrul analizat	Studiul nostru	Studiul de referință	$\chi^2$ , gl = 1, p
DAP (cGy·cm <sup>2</sup> )	$178.79 \pm 151.99$	763	< 0.001
FT (secunde)	$12.64 \pm 11.38$	102	< 0.001

Luând în considerație că la începutul curbei de învățare exista o neîncredere în siguranța 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 radiosopia inițială, pentru determinarea nivelului operator și la radiografia finală, pentru evaluarea poziției șuruburilor și cuștii intersomatice. Evaluând datele studiului nostru colectate doar pentru ultimii 2 ani (2020 și 2021), a fost obținută o valoare medie a DAP de  $178.79 \pm 151.99$  cGy·cm<sup>2</sup> și o valoare FT de  $12.64 \pm 11.38$  secunde (tabelul 4). Comparativ cu datele din studiul de referință, doza medie de iradiere a pacientului a diminuat cu 584.20 cGy·cm<sup>2</sup>, 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 radioscopic, care este asociată cu o expoziție exagerat de mare a pacienților la radiațiile ionizante comparativ cu tehnicile tradiționale din cauza necesității controlului inserției șurubului simultan în 2 proiecții, beneficiile utilizării neuronavigației ar putea fi și mai exprimate.

## CONCLUZIILE 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.

## BIBLIOGRAFIE (selectivă)

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.



12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.

**LISTA PUBLICAȚIILOR LA TEMA TEZEI,  
A BREVETELOR ȘI A FORURILOR ȘTIINȚIFICE LA CARE AU FOST  
PREZENTATE REZULTATELE CERCETĂRII**

**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
  - 1. **Borodin, S.** Clinical efficacy of MIDLIF 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 (1), pp. 9-15. ISSN 2345-1467. DOI: 10.52645/MJHS.2023.1.02
  - 2. **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 (2), pp. 54-60. ISSN 2345-1467. DOI: 10.52645/MJHS.2023.2.09
- **Articole în culegeri științifice internaționale:**
  - 3. **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](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**
  - 4. **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
  - 5. **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 1<sup>st</sup> Russian Congress of Functional and Stereotactic Surgeons Abstract Book*. 2016, p. 16.
  - 6. 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.
  - 7. **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
  - 8. **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*. Chișinău: S. n., 2016, pp. 169-170.
9. **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, Republic of Moldova: 2018, pp. 117-118.
  10. **Borodin, S.**; Sumleanski, A.; Bezer, M. 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. In: *MedEspera International Medical Congress for Students and Young Doctors: abstract book*. Chisinau, Republic of Moldova: 2020, pp. 72-73. ISBN 978-9975-151-11-5.
  11. Zapuhlii, G.; **Borodin, S.**; Bostan A. The first year experience in the spinal instrumentation neurosurgery - from microneurosurgery to the spinal neurosurgery. Romanian Neurosurgery. In: *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**
    12. **Borodin, S.**; Bodiu, 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
    13. **Borodin, S.**; Bodiu 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.
    14. **Borodin, S.**; Bodiu, 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.
    15. **Borodin, S.**; Bodiu 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
    16. **Borodin, S.**; Bodiu, 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.
    17. **Borodin, S.**; Bodiu, 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.
    18. **Borodin, S.**; Bodiu, 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
    19. **Borodin, S.**; Bodiu, 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**
    20. **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.
21. **Borodin, S.** Первичный опыт применения транскортикальной костной траектории транспедикулярных винтов с использованием спинальной нейронавигации при хирургическом лечении поясничного дегенеративного спондилолистеза. *The 1<sup>st</sup> Russian Congress of Functional and Stereotactic Surgeons*. Moscow, Russian Federation. March 17-18, 2016.
  22. **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.
  23. **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*. Chişinău, May 12-14, 2016.
  24. **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*.
  25. **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.
  26. **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.
  27. **Borodin, S.** 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: the 8<sup>th</sup> International Medical Congress for Students and Young Doctors*. Chisinau, September 24-26, 2020.
- ✓ **național**
28. **Borodin, S.** Tratamentul chirurgical contemporan al spondilolistezisului lombar. *Conferința științifico-practică cu genericul: „Managementul Modern În Reabilitarea Medicală Neurologică”*. Bălți, 6 Februarie 2017.