

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE "CAROL DAVILA" BUCUREȘTI
DISCIPLINA DE ORTOPEDIE ȘI TRAUMATOLOGIE**

**Corelațiile anatomice dintre ligamentul încrucișat anterior și
structurile de vecinătate: notch-ul intercondilian și ligamentul
încrucișat posterior**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Conducător de doctorat:
PROF. UNIV. DR. G-RAL[r] BARBILIAN ADRIAN GHEORGHE**

**Student-doctorand:
CERNAT EDUARD MARCEL**

**BUCUREȘTI
2024**

CUPRINS

Introducere.....	Error! Bookmark not defined.
1. Ligamentul încrucișat anterior.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Anatomia ligamentului încrucișat anterior.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rolul ligamentului încrucișat anterior	Error! Bookmark not defined.
1.3 Leziunea LIA.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.1 Incidența leziunii LIA	Error! Bookmark not defined.
1.3.2 Incidența diferențelor de gen.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.3 Diferența de incidență raportată la vârstă	Error! Bookmark not defined.
1.3.4 Diferența de incidență în funcție de tipul de sport și sex	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tipuri de leziuni LIA.....	Error! Bookmark not defined.
1.4.1 Leziuni asociate.....	Error! Bookmark not defined.
1.4.2 Impactul leziunii LIA	Error! Bookmark not defined.
1.5 Factori de risc pentru leziuni LIA.....	Error! Bookmark not defined.
1.5.1 Factori de risc anatomici.....	Error! Bookmark not defined.
1.5.2 Factori neuromusculari.....	Error! Bookmark not defined.
1.5.3 Factori hormonalii	Error! Bookmark not defined.
1.5.4 Factori de mediu	Error! Bookmark not defined.
1.5.5 Factori biomecanici	Error! Bookmark not defined.
1.6 Mecanismul potențial al leziunilor ligamentului încrucișat anterior	Error! Bookmark not defined.
2. Geometria notch-ului intercondilian	Error! Bookmark not defined.
2.1 Anatomia notch-ului intercondilian.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Tipuri de fosă intercondiliană	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 A - fosa intercondiliană în formă de A	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Comorbidități și forma fosei intercondiliene .	Error! Bookmark not defined.
2.3 Geometria fosei intercondiliene.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Metode de măsurare a NWI	Error! Bookmark not defined.
2.4 Asocierea dintre morfologia notch-ului și leziunea LIA	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Forma notch-ului, notch-ul îngust și notch-ul stenotic ca factor de risc pentru leziunea LIA.....	Error! Bookmark not defined.
3. Ligamentul încrucișat posterior	Error! Bookmark not defined.
3.1. Anatomia ligamentului încrucișat posterior	Error! Bookmark not defined.
3.2 Structura ligamentului încrucișat posterior.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Biomecanica ligamentului încrucișat posterior	Error! Bookmark not defined.

3.4 Leziunile ligamentului încrucișat posterior	Error! Bookmark not defined.
4. Scopul și obiectivele generale.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Scopul cercetării	Error! Bookmark not defined.
4.2 Principalele obiective.....	Error! Bookmark not defined.
5. Metodologia generală	Error! Bookmark not defined.
5.1 Populația studiată	Error! Bookmark not defined.
5.2 Criteriile de excludere	Error! Bookmark not defined.
5.3 Achiziția RMN	Error! Bookmark not defined.
5.4 Analiza datelor	Error! Bookmark not defined.
5.5 Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
5.6 Etica	Error! Bookmark not defined.
6. Geometria notch-ului intercondilian anterior în raport cu dimensiunea ligamentului încrucișat anterior nativ	Error! Bookmark not defined.
6.1 Introducere.....	Error! Bookmark not defined.
6.2 Materiale și metode	Error! Bookmark not defined.
6.2.1 Lotul studiat	Error! Bookmark not defined.
6.2.2 Achiziția RMN	Error! Bookmark not defined.
6.2.3 Variabile și măsurători	Error! Bookmark not defined.
6.2.4 Măsurători.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.5 Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
6.2.6 Etica	Error! Bookmark not defined.
6.3 Rezultate	Error! Bookmark not defined.
6.3.1. Date descriptive. Caracteristici generale ale grupului studiat	Error! Bookmark not defined.
6.3.2. Relația formei notch-ului intercondilian cu aria LIA și alte leziuni ale genunchiului.....	Error! Bookmark not defined.
6.3.3. Asocierea ariei ligamentului încrucișat anterior cu leziunile obiectivate	Error! Bookmark not defined.
6.4 Discuții	Error! Bookmark not defined.
6.4.1. Notch-ul de tip U.....	Error! Bookmark not defined.
6.4.2 Notch-ul de tip A/W.....	Error! Bookmark not defined.
6.5 Limitările studiului.....	Error! Bookmark not defined.
6.6 Concluzii.....	Error! Bookmark not defined.
7. Aria notch-ului antero-superior pentru cele 3 tipuri geometrice, o abordare individualizată pentru alegerea dimensiunii grefei în reconstrucția LIA.	Error! Bookmark not defined.
7.1 Introducere.....	Error! Bookmark not defined.
7.2 Materiale și metode	Error! Bookmark not defined.
7.2.1 Lotul studiat	Error! Bookmark not defined.

7.2.2 Achiziția RMN	Error! Bookmark not defined.
7.2.3 Variabile și măsurători	Error! Bookmark not defined.
7.2.4 Măsurarea dimensiunii	Error! Bookmark not defined.
7.2.5 Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
7.2.6 Etica	Error! Bookmark not defined.
7.3 Rezultate	Error! Bookmark not defined.
7.3.1 Date descriptive. Caracteristici generale ale grupului studiat	Error! Bookmark not defined.
7.3.2 Mărimea notch-ului intercondilian antero-superior în fiecare tip de notch	Error! Bookmark not defined.
7.3.3 Corelația înălțimii pacientului cu dimensiunea și forma notch-ului intercondilian antero-superior	Error! Bookmark not defined.
7.4 Discuții	Error! Bookmark not defined.
7.4 Limitările studiului	Error! Bookmark not defined.
7.5 Concluzii	Error! Bookmark not defined.
8. Balansul ligamentelor încrucișate anterior și posterior la adulți....	Error! Bookmark not defined.
8.1 Introducere	Error! Bookmark not defined.
8.2 Materiale și metode	Error! Bookmark not defined.
8.2.1 Populația studiată	Error! Bookmark not defined.
8.2.2 Achiziția RMN	Error! Bookmark not defined.
8.2.3 Variabile și măsurători	Error! Bookmark not defined.
8.2.4 Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
8.2.5 Etica	Error! Bookmark not defined.
8.3 Rezultate	Error! Bookmark not defined.
8.4 Discuții	Error! Bookmark not defined.
8.5 Limitările studiului	Error! Bookmark not defined.
8.6 Concluzii	Error! Bookmark not defined.
9. Nota tehnică în alegerea punctului izometric de implantare a grefei în reconstrucția ligamentului încrucișat anterior	Error! Bookmark not defined.
9.1 Introducere	Error! Bookmark not defined.
9.2. Tehnica chirurgicală	Error! Bookmark not defined.
9.3 Concluzii	Error! Bookmark not defined.
10. Descoperiri incidentale în analiza imaginilor RMN.	Error! Bookmark not defined.
10.1 Introducere	Error! Bookmark not defined.
10.2 Descoperirile incidentale	Error! Bookmark not defined.
10.3 Concluzii	Error! Bookmark not defined.
11. Concluzii și contribuții personale	Error! Bookmark not defined.

11.1 Concluzii	Error! Bookmark not defined.
11.2 Contribuții personale	Error! Bookmark not defined.
Bibliografie	Error! Bookmark not defined.

Reconstrucția ligamentului încrucișat anterior (LIA) a evoluat foarte mult în ultimele 3 decade. Acest lucru se datorează în mare parte unei mai bune înțelegeri a anatomiei LIA, precum și a descrieri explicite a punctelor de inserție, femurale și tibiale, ale celor două fascicule din care este format, anteromedial (AM) și posterolateral (PL). În perioada 1950-1960, diagnosticul rupturii de ligament încrucișat anterior era mai greu de observat, ca urmare a testelor clinice limitate existente la acea dată. Odată cu introducerea altor parametrii în diagnosticul rupturii LIA, medicii au putut să pună un diagnostic clinic mai detaliat, ceea ce a ajutat, ulterior, la îmbunătățirea tehnicilor chirurgicale.

Ipoteza principală de la care a pornit lucrarea actuală a fost stabilirea relațiilor dintre cele două ligamente încrucișate ale genunchiului, anterior și posterior, și anatomia notch-ului intercondilian, și în ce măsură aceste relații pot impacta tratamentul chirurgical, astfel ca eșecul grefei să fie cât mai mic. Optimizarea dimensiunii grefei se bazează în cea mai mare parte pe anatomia LIA și a notch-ului intercondilian, și dacă parametrii fosei intercondiliene pot fi mășurați cu precizie, se pot anticipa dificultățile chirurgicale, cum ar fi atunci când avem de-a face cu grefe mari [1] evitându-se astfel o notchplastie.

Ligamentul încrucișat anterior (LIA) este o bandă de țesut conjunctiv dens care leagă femurul de tibie, situat în centrul genunchiului. Ca structură cheie a genunchiului, rolul său este de a oferi stabilitate împotriva translației tibiale anterioare și a rotației interne. Are originea la platoul tibial anterior și între eminentele intercondiliene și continuă posterior fiind atașat de porțiunea posteromedială a condilului femural lateral [2-5].

Anatomia LIA a fost studiată intens în ultimii ani, cercetările focusându-se pe diferențele dintre grupuri specifice de pacienți, structura, numărul de fascicule, dar și caracteristicile macroscopice sau microscopice. O diferență notabilă a morfologiei LIA este cea dintre genuri; aria secțiunii transversale a LIA la femei este aproximativ 30% mai mică decât la bărbați. Tot la femei găsim și o lățime a notch-ului femural mai mică [6].

Cele două fascicule din structura LIA, care au roluri diferite în stabilizarea antero-posterioară și complex rotațională [2], au și o izometrie diferită. Atunci când genunchiul este extins, fasciculul PM este tensionat în timp ce fasciculul AL este relaxat. Când genunchiul este flexat, cele două fascicule își vor inversa funcția [7] iar la 110 grade de flexie, acestea nu mai sunt paralele [3]. O altă diferență între cele două fascicule este lungimea acestora când genunchiul este în extensie completă, cu fasciculul AM mai mare decât PL măsurând 22,5 mm [8].

Duphton și colab., susțin ipoteza că atașamentul osos al LIA este situat în partea posterioară a suprafeței interioare a condilului femural lateral și nu la acoperișul notch-ului intercondilian, așa cum era menționat uneori [3]. Un aspect important asupra căruia autorii atrag atenția este că LIA ocupă 66% din partea superioară din aspectul lateral al notch-ului atunci când genunchiul flexat este privit dinspre anterior, dimensiunea atașamentului osos variind de la 11 la 24 mm [3].

LIA joacă un rol crucial în stabilizarea articulației genunchiului și împreună cu ligamentul încrucișat posterior (LIP) asigură stabilizarea părții din spate și din față a genunchiului. Acționând ca un element de stabilizare primară, LIA împiedică tibia să se depărteze de femur, fiind și un stabilizator secundar împotriva rotației externe a tibiei și a angulației în valgus a genunchiului, în special la pacienții obezi sau supraponderali [3].

Ruptura de LIA are loc atunci când ligamentul este supraîntins sau întrerupt și poate fi clasificată ca ușoară sau severă și poate fi leziune de contact și fără contact. Dintre acestea cele mai frecvente sunt leziunile fără contact [9]. Incidența leziunilor de LIA variază în funcție de populația studiată; la sportivi riscul poate fi de 0,062 leziuni la 1000 de expuneri [10] iar la adolescenți poate fi de 2,98 leziuni la 10.000 de expuneri atletice, la nivel global [11].

Printre factorii care contribuie la incidența leziunilor de LIA se numără: genul, vârsta, dar și tipul de sport. Analiza acestor factori arată că femeile sunt mai predispuse decât bărbații de dezvoltarea unei rupturi de LIA, cu un risc de 1,5 ori mai mare la sporturile de sex feminin decât la cei de sex masculin [12]. La categoria de vârstă, incidența în rândul tinerilor a crescut considerabil în ultimii ani, cu o analiză efectuată în țările nordice care arată că din

10.000 de sportivi, 76 de fete și 47 de băieți au suferit o intervenție chirurgicală de reconstrucție a LIA, anuală [13].

În funcție de tipul de severitate, leziunile LIA sunt clasificate pe grade. Avem astfel leziuni de:

- grad I- unde nu există ruptura, fibrele sunt întinse,
- grad II- ligamentul este parțial rupt.
- grad III- ligamentul este rupt complet [14].

Leziunea LIA apare adesea în asociere cu traumatisme ale structurilor din vecinătate, cum ar fi rupturi meniscale sau leziuni ale cartilajului [15-19]. Cel mai frecvent mecanism de leziune a LIA este un traumatism fără contact prin valgus combinat cu rotație internă a genunchiului [20]. Corelația lor și semnificația clinică potențială pot avea un impact asupra modului în care este gestionată leziunea LIA, prin urmare este necesar un diagnostic precoce și cuprinzător.

Incidența altor leziuni asociate cu leziunea LIA variază în funcție de structura lezată. Diverse studii arată o corelație între ruptura de menisc medial și leziunea LIA în până la 54% din cazuri [2, 21, 22]. O altă leziune concomitentă este leziunea ligamentului colateral medial. Incidența rupturii ligamentului colateral medial a fost raportată între 20% și 38% din toate leziunile LIA [23].

Frecvent întâlnită în sport, leziunea LIA afectează persoane tinere și active, femeile având un risc mai mare decât bărbații [13, 24, 25]. Impactul acestora este unul destul de mare asupra pacienților și societății, putând avea consecințe devastatoare asupra activității zilnice și a calității vieții pacientului [18, 26]. De asemenea, riscul de a dezvolta artroză de genunchi este semnificativ mai mare, ceea ce duce la impotență funcțională pe termen lung, mai ales la sportivii tineri [27-30].

În ultimul deceniu, mai multe studii au încercat să demonstreze factorii de risc pentru leziunea LIA, fiind împărțiți în factori de risc intrinseci și extrinseci. Acești factori de risc acționează cel mai probabil în combinație pentru a influența riscul de leziune a LIA [31].

Un factor de risc anatomic important asociat cu leziunea de LIA este indicele de lățime a notch-ului (NWI=notch wide index), iar pentru leziunile LIA asociate cu NWI factorii de risc sunt notch-ul stenotic și mai îngust [32-35].

În ceea ce privește mecanismul potențial al leziunilor de LIA, acesta este probabil multifactorial, cu multiple studii care încearcă să explice mecanismele de bază ale leziunii de LIA, iar factorii prezentați fiind modificabili și nemodificabili. Leziunile de LIA sunt leziuni de contact (30%) și fără contact (70%)[36]. Leziunea de LIA fără contact este rezultată în timpul decelerării bruște [37] sau din impactul forței de încărcare asupra LIA.

Format din 3 oase, genunchiul acționează ca o articulație de tip balama, cu LIA unul dintre principalii săi stabilizatori. LIA este atașat la condilul lateral al femurului și eminența intercondiliană a tibie [38]. Fosa intercondiliană cunoscută și sub denumirea de notch intercondilian este un spațiu deschis adânc găsit între condilul medial și lateral al femurului și adăpostește ligamentele importante ale genunchiului: LIA și LIP.

Fosa intercondiliană este o parte nearticulată a genunchiului și are un acoperiș și o podea, acoperișul său poate fi estimat radiografic ca linia Blumensaat, în timp ce podeaua este formată din zona intercondiliană a platoului tibial și conține inserțiile ligamentelor încrucișate [30]. Conform studiilor radiografice, fosa intercondiliană este supusă modificării de-a lungul vieții, îngustându-se distal și lărgindu-se proximal. De asemenea, forma să suferă modificări de-a lungul vieții. În stadiul timpuriu al vieții, are forma A și apoi în etapele ulterioare, are forma Ω [40].

Având în vedere numeroasele structuri găsite în notch, modificările fosei intercondiliene ar putea influența sănătatea acestor structuri, în special LIA. Studiile arată că femeile au un notch mai mic decât bărbații [41-43] dar și un volum mai mic [44]. Factorii patologici, precum artroza, modifică fosa intercondiliană, influențând structurile din interior [45, 46].

Este bine-cunoscut faptul că fosa intercondiliana joacă un rol important în biomecanica leziunilor la genunchi, conținând cele mai importante ligamente al genunchiului responsabile pentru menținerea stabilității. Spațiul disponibil pentru aceste ligamente este determinat de dimensiunile fosei, inclusiv adâncimea, lățimea și forma [47].

Literatura de specialitate a identificat trei categorii principale de formă de notch: în formă de A, U și W [48-50]. Un studiu mai recent realizat de Hirtler și colab., a introdus o clasificare în funcție de vârstă în formă de A, U inversă și în formă de Ω [40].

Forma A de fosă este definită ca o formă care s-a îngustat de la bază la secțiunea mediană până la vârf prin inspecție vizuală [47]. Un studiu de cohortă clinic care a evaluat forma fosei folosind un coeficient Kappa, a constatat că fosele „în formă de A” erau mai înguste la baza, mijloc și vârf decât fosele „în formă de U”, o informație importată în prevenție, dar și în tehnica chirurgicală [48].

Forma fosei intercondiliene suferă modificări de-a lungul vieții [40] fiind și cazul pacienților care suferă de comorbidități, cum ar fi artroza, studiile efectuate arătând că forma fosei este semnificativ diferită la pacienții cu osteoartrită decât la cei din grupul de control [51]. Un notch femural mai îngust este, de asemenea, asociat cu leziunile de LIA [52]. Morfologia pacienților cu leziuni de LIA a evidențiat o fosă de tip A la 60% și o fosă de tip B la 40% și niciuna de tip C. În comparație, în grupul de control 45% aveau fosă de tip A, 45% au avut tip B și 10% au avut tip C [52].

Notch wide index (NWI), face parte din geometria fosei intercondiliene și a fost prezentat de Souryal și colab., ca factor predispozant pentru rupturi bilaterale de LIA. NWI este folosit pentru a măsura și compara lățimea fosei intercondiliene folosind radiografia „tunnel view” [8] fiind definit ca raportul dintre lățimea fosei intercondiliene la nivelul șanțului popliteu împărțit la lățimea bicondiliană la același nivel, măsurat pe o radiografie „notch view” cu genunchiul în flexie de 45°. Un minus al acestei formule este că nu ia în calcul greutatea corporală.

Un alt parametru morfometric al fosei intercondiliene este indicele formei notch-ului (NSI) și indicele ariei notch-ului (NAI), NSI fiind determinat prin împărțirea lățimii notch-ului intercondilian la înălțimea notch-ului, iar NAI prin împărțirea ariei notch-ului intercondilian la aria condililor [53]. Corelația dintre geometria notch-ului intercondilian, cum ar fi dimensiunile notch-ului intercondilian și leziunea LIA, a fost studiată pe larg în ultimele două-trei decenii [54, 55] cu toate acestea putem specula că sunt necesare mai multe informații cu privire la geometria fosei intercondiliene pentru a standardiza chirurgia LIA.

Cel de al doilea ligament încrucișat din articulația genunchiului este ligamentul încrucișat posterior (LIP) și în afara de relația cu LIA, mai are relații și cu meniscurile, dar

și alte ligamente, medicul necesitând, prin urmare, o bună cunoaștere și înțelegere a anatomiei sale complexe pentru a putea evalua leziunile de LIP [56].

Este format din două fascicule fibroase, AL și PM, având ca punct de inserție femurală aspectul lateral al condilului medial și aspectul posterior al platoului tibial, la aproximativ 1 cm distal de linia articulară [57]. Fasciculul AL se tensionează când genunchiul este în flexie și relaxează în extensie, iar fasciculul PL se tensionează când genunchiul este în extensie și relaxează în flexie [58].

O diferență notabilă între cele două fascicule este lungimea lor; cu fasciculul AL mai mare decât fasciculul PM. Distincte, inseparabile și cu amprente diferite la nivelul anexelor femurale și tibiale, fasciculul PM este partea mai slabă și mai diversă din punct de vedere anatomic a LIP [59].

Este cel mai puternic ligament al genunchiului datorită rezistenței mari pe care o are la tracțiune, care variază între 739 la 1627 N, în funcție de unghiul genunchiului, cu cele două fascicule având o rezistență de 1620 N pentru fascicul AL respectiv 258 N pentru fascicul PM [57, 60].

Rezultatele studiilor de biomecanica efectuate în ultimii 30 de ani arată că în translația tibială posterioară LIP este stabilizatorul principal, aceasta având, de asemenea, și rol de stabilizator secundar [57]. Aceste funcții sunt îndeplinite de către cele două fascicule, care funcționează independent, AL având rol în timpul flexiei iar PM cu rol în timpul extensiei [59].

Leziunile LIP pot apărea în urma unei traume directe, precum accidente sportive și de circulație, având o incidență de până la 44% cele mai multe fiind cauzate de accidente de circulație, când genunchii sunt lipiți de bordul autovehiculului, iar în sport leziunea se produce când genunchiul lovește solul în flexie [61].

În ciuda acestui cumul de informații, există încă lipsuri cu privire la relațiile dintre aceste structuri ale genunchiului, acestea fiind vizibile în tratamentul chirurgical al rupturii de LIA. În ultimii ani incidența rupturii de LIA a crescut considerabil, ca urmare a mai multor factori, printre care schimbarea stilului de viață, așadar ne putem aștepta ca numărul de

operații să fie în creștere. De asemenea, este cunoscut faptul că rezultatele nu sunt tot timpul satisfăcătoare, ceea ce lăsa loc de analiză a motivelor anatomice pentru care grefa eșuează.

Scopul principal al acestei cercetări este de a defini relația strânsă dintre ligamentul încrucișat anterior (LIA) și anatomia notch-ului intercondilian anterior, precum și alte structuri care ar putea ajuta la înțelegerea profundă a tratamentului leziunilor LIA. Folosind datele recente un chirurg ortoped poate planifica poziționarea corectă a unui LIA reconstruit, însă un LIA bine reconstruit rămâne într-o relație corectă anatomic cu notch-ul intercondilian anterior, ca LIA nativ.

Analiza studiilor despre diferitele tipuri de notch m-a făcut să reflectez asupra dimensiunii grefei. Putem anticipa că o fosa intercondiliană nativă stenotică nu poate găzdui o greă grosă în timpul reconstrucției LIA, astfel, atunci când se întâmplă acest lucru, chirurgul trebuie să accepte conflictul os-grefă și poate lipsa extensiei complete a genunchiului sau să ajusteze anatomia prin notchplastie.

Personal consider ambele tratamente suboptimale, deoarece un conflict os-grefă poate duce la eșecul grefei, dar și pentru că modificarea anatomiei nu ar trebui să fie scopul nostru chirurgical. Înțelegerea profundă a LIA nativ și a relației sale cu țesuturile din jur poate ajuta chirurgul să optimizeze alegerea și poziționarea grefei pentru a obține rezultate mai bune. Toate aceste țesuturi sunt ușor de analizat pe RMN preoperator și sub vizualizare directă în timpul intervenției chirurgicale.

Obiectul acestei teze este o mai bună înțelegere a relațiilor dintre aceste structuri și cum pot influența ele tratamentul chirurgical: Am urmărit trei obiective:

- găsirea corelațiilor de dimensiune între LIA nativ și dimensiunea notch-ului intercondilian anterior la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / istoric de intervenție chirurgicală anterioară, pe RMN-ul nativ.
- găsirea corelației între diferitele tipuri de notch și diferitele leziuni descoperite pe RMN-ul nativ la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / antecedente de intervenție chirurgicală anterioară.
- găsirea corelației de mărime dintre LIA nativ și LIP nativ pe RMN-ul nativ la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / istoric de intervenție chirurgicală anterioară.

Studii derulate în cadrul cercetării doctorale

În cursul cercetării doctorale au fost realizate 3 studii:

Primul studiu a analizat geometria notch-ului intercondilian anterior în raport cu dimensiunea ligamentului încrucișat anterior nativ, evidențiind faptul ca forma notch-ului a fost asociată cu leziuni de menisc intern și extern, dar și faptul ca aria secțiunii ligamentului încrucișat anterior este puternic corelată cu aria notch-ului antero-superior atunci când forma notch-ului este de tip A sau W.

Al doilea studiu a analizat aria notch-ului antero-superior pentru cele 3 tipuri geometrice. Este o abordare individualizată pentru alegerea dimensiunii grefei în reconstrucția LIA și a concluzionat ca suprafața fosei intercondiliene anterioare variază semnificativ pentru fiecare tip de notch și nu se corelează cu înălțimea, aspect care ar trebui luat în considerare în alegerea grefei.

Al treilea studiu a studiat balansul ligamentelor încrucișate anterior și posterior la adulți, iar concluziile au arătat ca corelația dintre LIA și LIP ajută la înțelegerea echilibrului pivotului central al genunchiului.

Studiul este o cercetare retrospectivă, transversală, efectuată într-un singur centru, pe un lot de 63 de participanți, dintre care 31 de femei și 32 de bărbați. În total cei 63 de participanți la studiu au avut 65 de examinări RMN (doi participanți de sex masculin având RMN bilateral al genunchiului). Pacienții au fost supuși examenului RMN la genunchi în departamentul nostru, durata fiind de 4 ani, începând cu Septembrie 2019 și până în Septembrie 2022. Pacienții care au luat parte la studiu au semnat consimțământul informat. Toate etapele fiind realizate în conformitate cu ghidurile de bune practici ale Declarației de la Helsinki. Comitetul de etică al Spitalului a aprobat cercetarea (nr. 404 / 17.09.2020).

După examinarea fiecărui dosar medical, am inclus într-o manieră secvențială toți participanții adulți, cu vârsta peste 18 ani, care au raportat un disconfort de genunchi fără contact. Criteriile de excludere care au fost utilizate:

- un istoric de traumatism;
- un istoric de intervenție chirurgicală anterioară
- antecedente de fractură în regiunea genunchiului
- vârsta mai mare de 50 de ani la momentul evaluării
- prezența unor anomalii morfologice precum artroză;
- lungimea femurului și tibiei a fost mai mică de 5 cm;

Variabilele calitative nominale au fost prezentate sub formă de procente, număr (%), în timp ce variabilele continue au fost prezentate ca mediană cu abatere standard în cazul distribuțiilor normale și mediană cu interval (min – max) pentru cele cu distribuții anormale. Pentru o analiză bivariată s-a folosit coeficientul rho Spearman pentru variabilă continuă pentru a identifica asocieri precum cea dintre notch-ul intercondilian și aria LIA. Testul rho Spearman este un test neparametric care compară relațiile dintre două variabile

De asemenea, testul Mann-Whitney a fost utilizat pentru a compara două subgrupuri ale unei variabile dihotomice. Când s-au analizat mai mult de două subgrupuri, a fost efectuat un test Kruskal Wallis cu analiză ANOVA post-hoc (de exemplu, forma notch-ului: formă A, W sau U). În toate testele, valorile p mai mici de 0,05 au fost considerate semnificative statistic. S-a folosit software-ul IBM SPSS Statistics, versiunea 25.0 pentru Windows (Armonk, NY, IBM Corp.).

Examinările RMN au fost efectuate de două aparate 1,5-T cu protocoale similare, ambele creează secțiuni de 3 mm ale genunchiului obținute în tehnica standard cu trei axe ortogonale (axială, coronală și sagitală), cu o combinație de secvențe sensibile la fluid, fie ponderate T2 (T2W) non fat-saturated (NFS) fie ponderate cu densitate de protoni (PDW), și secvențe ponderate T1 (T1W) NFS. Secvențele ponderate PD cu și fără saturație de grăsime sunt de obicei baza. Examinarea uneori a inclus secvența T2 NFS ca înlocuitor pentru secvența PD fat-saturated (FS) în plan axial.

Pentru studiul nostru, am folosit în principal imagini axiale reale T2W NFS sau PDW FS, folosind instrumente de postprocesare pentru a crea două planuri personalizate prin aplicarea referințelor din planurile sagital și coronal.

1. Primul plan personalizat este orientat de-a lungul axei LIA (ușor angulat față de acoperișul intercondilar al liniei lui Blumensaat) în plan sagital și de-a lungul unei linii paralele cu linia intercondiliană femurală posterioară în plan coronal. Ca urmare, planul este perpendicular pe axa LIA și paralel cu linia intercondiliană posterioară.
2. Al doilea plan personalizat este orientat de-a lungul axei LIA în primele 2 treimi în planul sagital și de-a lungul unei linii paralele cu axa inter-epicondiliană în planul coronal. Ca urmare, planul este perpendicular pe axa LIP și paralel cu linia inter-epicondiliană.

Imaginile prelucrate au fost analizate de doi medici primar: chirurg ortoped și radiolog, iar în urma evaluării și măsurării aspectelor LIA și ale notch-ului intercondilian, notch-ul intercondilian a fost alocat într-una din cele trei categorii:

- în formă de A
- în formă de U
- în formă de W

S-a trecut apoi la măsurarea lățimii maxime a notch-ului și suprafeței acestuia. Măsurarea ariei s-a făcut prin desenarea unui cerc înscris de os cortical de pe 3 din 4 laturi (anterosuperior, stânga și dreapta). Aria celor două ligamente în plan a fost măsurată prin marcarea conturului său cu instrumentul poligon închis în vizualizatorul DICOM. Când a fost posibil, aria LIA a fost măsurată în aceeași secțiune ca și cercul; dacă nu a fost posibil, s-a măsurat pe o secțiune diferită la o diferență de maxim 3 secțiuni (cranial sau caudal).

Celelalte secvențe au fost folosite pentru a observa și a evalua cantitativ leziunile asociate ale genunchiului, fiind contorizate următoarele leziuni asociate:

- condropatia internă, externă sau patelară,
- rupturi ale meniscului intern sau extern,
- patella alta și displazia trohleară.

Rezumatul studiului 1: Geometria notch-ului intercondilian anterior în raport cu dimensiunea ligamentului încrucișat anterior nativ.

Unul dintre factorii de risc propuși pentru leziunile de LIA fără contact este anatomia morfometrică a genunchiului, caracterizată în principal prin aspectul ligamentului încrucișat anterior (LIA) și notch-ul intercondilian (ICN) [62]. Leziunile de menisc, care sunt una dintre cele mai frecvente probleme ortopedice la nivel mondial, sunt într-o relație strânsă în morfometria fiziologică a genunchiului [63].

Scopul acestui studiu a fost să evalueze asocierile dintre aria secțiunii transversale a fosei intercondiliene și aria secțiunii transversale a ligamentului încrucișat anterior în diferite forme de notch, precum și asocierea formei notch-ului cu modificările structurale la pacienții care au efectuat imagistica prin rezonanță magnetică a genunchiului (RMN), pentru durerile de genunchi fără contact.

Din câte știm, acesta este primul studiu care își propune să coreleze partea anterioară a notch-ului intercondilian (ICN) cu dimensiunea LIA. Studiile anterioare s-au concentrat pe aspectul global al notch-ului sau pe lățimea notch-ului și corelarea acestuia cu riscul de leziune sau cu anatomia LIA.

Examinările RMN au fost efectuate de două aparate 1,5-T. Pentru acest studiu, am folosit în principal imagini axiale reale T2W NFS sau PDW FS, folosind instrumente de postprocesare pentru a crea un plan personalizat prin aplicarea referințelor din planurile sagital și coronal, care a fost orientat de-a lungul axei LIA în plan sagital și de-a lungul unei linii paralele cu linia condiliană femurală posterioară în plan coronal. Planul a fost numit planul axial personalizat. (CAP) (fig. 6.1).

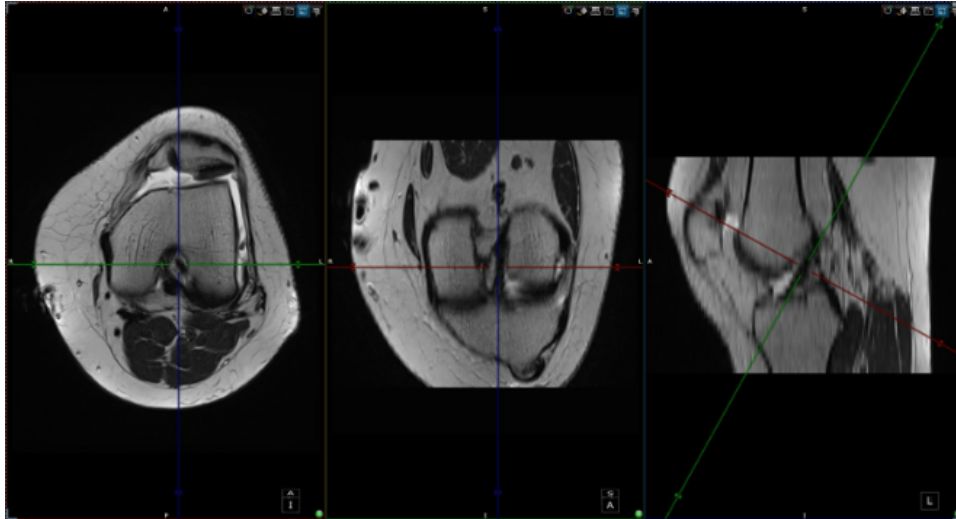


Fig. 6.1 Plan axial personalizat (CAP) definit pentru măsurători.

Am repartizat notch-ul intercondilian într-una din cele trei categorii: în formă de A, în formă de U și în formă de W, și ulterior am măsurat lățimea maximă și a suprafeței în aspect antero-superior al notch-ului. Măsurarea ariei s-a făcut prin desenarea unui cerc circumscris de os cortical pe 3 din 4 puncte cardinale (anterosuperior, stânga și dreapta), și a fost definită ca aria notch-ului antero-superior (aICN). Aria LIA în CAP a fost realizată prin conturarea sa cu instrumentul poligon închis din soft. Alte măsurători care au fost efectuate în toate cazurile: lățimea notch-ului intercondilian (ICN), aria LIA, indicele Insall-Salvati și înclinarea trohleară laterală (LTI).

S-a analizat un număr de 65 de cazuri, (33 bărbați și 32 femei), aria LIA a fost de 0,48 cm² (0,2-0,8), cu valori mai mari la sexul masculin comparativ cu cel feminin, 0,55 cm² vs 0,41 cm², $p=0,002$. De asemenea, aria aICN și lățimea ICN sunt semnificativ mai mari la bărbați în comparație cu femeile, 0,96 cm² vs 0,52 cm², $p=0,0008$ și respectiv 23,87 mm vs 20,53 mm, $p<0,0001$, respectiv.

Tabel VI.1: Statistici descriptive

Parametru	Total N=65	Sex masculin N1=33	Sex feminin N2=32	p

Vârsta, ani	35 (13-52)	34 (13-51)	35 (15-52)	0,680
Aria LIA, cm ²	0,48 (0,2-0,8)	0,55 (0,3-0,8)	0,41 (0,2-0,7)	0,0002
Aria aICN, cm ²	0,75 (0,15-3,60)	0,96 (0,22-3,60)	0,52 (0,15-1,68)	0,0008
Lățimea ICN, mm	22.23 (12.80-31.00)	23.87 (19.00-31.00)	20.53 (12.80-28.00)	<0,0001
ICN forma A, N (%)	23 (35,38%)	6 (26,09%)	17 (73,91%)	0,004
ICN Forma W, N (%)	17 (26,15%)	8 (47,05%)	9 (52,95%)	0,720
ICN Forma U, N (%)	25 (38,46%)	19 (76%)	6 (24%)	0,020
LTI, °	19.15 (3.00-31.00)	21.58 (10.00-30.00)	16.66 (3.00-31.00)	0,0009
Abrevieri : LIA – ligament încrucișat anterior; ICN = notch-ul intercondilian; LTI – înclinație trohleară laterală; aICN = notch-ul intercondilian antero-superior; O valoare p mai mică de 0,05 a fost considerată semnificativă statistic.				

Folosind analiza bivariată, am aflat ca aria LIA era corelată cu aria aICN în toate grupurile ($\rho=0,66$, valoarea $p<0,0001$), precum și în subgrupul definit corespunzător formei notch-ului (A-, W- și U -, respectiv). Rezultatele arată că corelația dintre aria ACL și aria aICN a fost foarte puternică pentru forma A, puternică pentru forma W și doar moderată pentru forma U, **Tabelul VI.2.**

Tabel VI.2. Analiza bivariată pentru asocierile dintre aria notch-ului antero-superior și aria ligamentului încrucișat anterior

Notch-ul intercondilian	Aria LIA cm²	Aria aICN cm²	rho	valoarea p
Grup total (N = 65)				
Tip A (n ₁ = 23; 35,4%)	0,40 (0,20-0,80)	0,47 (0,15-0,95)	0,820	< 0,001
Tip W (n ₂ = 17; 26,2%)	0,40 (0,30-0,80)	0,37 (0,15-0,81)	0,608	0,010
Tip U (n ₃ = 25; 38,5%)	0,50 (0,20-0,80)	1,16 (0,57-3,60)	0,416	0,036
Abrevieri : LIA – ligament încrucișat anterior; aICN = notch-ul intercondilian antero-superior; rho = coeficientul rho Sperman O valoare p mai mică de 0,05 a fost considerată semnificativă statistic.				

Studiul a mai demonstrat și faptul că valorile ariei LIA, ariei aICN și lățimii ICN au fost semnificativ mai mari în cazurile cu notch în formă de U, în timp ce nu există nicio corelație pentru LTI. În ceea ce privește forma notch-ului, rezultatele arată că la bărbați forma U a fost forma predominantă. Analiza frecvenței leziunilor asociate în raport cu forma notch-ului, leziunile meniscale interne au fost mai frecvente pentru notch-ul de tip U, în timp ce leziunile meniscale externe au fost mai frecvente pentru notch tip W.

Analiza literaturii ne-a condus la concluzia că este primul studiu care analizează relația dintre LIA și anatomia notch-ului antero-superior. Această cercetare, poate fi condiționată de studii suplimentare de urmărire a acestor pacienți, pentru a evalua riscul de leziuni ulterioare. Acest lucru poate oferi șansa de a preveni unele dintre leziuni și de a anticipa modificări degenerative.

Un alt aspect important este utilizarea corelației neanticipate între grosimea LIA și leziunile de menisc intern pentru studii biomecanice care pot dovedi diferitele niveluri de constrângere a genunchilor cu un LIA gros probabil foarte rigid, protocoalele de prevenție putând fi elaborate în funcție de specificul genunchiului.

Rezultatele studiului arată că pentru notch-urile de tip A/W, aria LIA este puternică/foarte puternică corelată cu aria notch-ului antero-superior (aICN). Leziunile de menisc extern asociate sunt mai frecvente la notch-ul de tip W, în timp ce notch-ul de A nu a avut nicio leziune meniscală externă.

Considerăm că este important să observăm că un notch antero-superior îngust (A/W) este corelat cu o dimensiune mai mică a LIA nativ, iar acest lucru ar putea duce la conflict os-grefă și la necesitatea unei notchplastii în timpul reconstrucției LIA datorită unei grefe mai mari decât aria notch-ului antero-superior (aICN).

În cazul unui notch de tip U există o corelație scăzută între dimensiunea LIA și aria aICN, însă aria LIA rămâne mai mare la acest tip. De asemenea, leziunile de menisc intern sunt mai frecvente la notch-ul de tip U, iar acest tip de notch este mai frecvent la genul masculin.

Printre limitările studiului se află limitarea statistică dată de numărul mic de pacienți. De asemenea, acest studiu nu corelează măsurătorile morfologice cu fenotipurile genunchiului sau cu alinierea planului coronal al genunchiului, existând și o lipsă de corelație între înălțimea pacientului și aria notch-ului intercondilian antero-superior.

În rezumat, studiul nostru oferă dovezi că aria secțiunii ligamentului încrucișat anterior este puternic corelată cu aria notch-ului antero-superior atunci când forma notch-ului este de tip A sau W. Un ligament încrucișat anterior gros este corelat cu mai multe leziuni interne de menisc. Notch-ul de tip A are mai puține leziuni de menisc extern decât tipurile W și U. În viitor, studierea anatomiei notch-ului în relație cu alte aspecte morfologice ale genunchiului ar putea duce la o mai bună înțelegere a modelelor leziunilor și a deciziilor chirurgicale.

Rezumat studiu 2: Aria notch-ului antero-superior pentru cele 3 tipuri geometrice, o abordare individualizată pentru alegerea dimensiunii grefei în reconstrucția LIA.

În acest studiu am analizat 65 de cazuri folosind examinări RMN care au fost efectuate de două aparate 1,5-T. Prin acest studiu ne-am dorit să prezentăm dimensiunea medie a notch-ului antero-superior pentru fiecare tip geometric. Cunoscând intervalul de diametru pentru fiecare tip de notch, propunem de asemenea, și un model de planificare a mărimii grefei de LIA pentru fiecare tip de notch pentru a evita conflictul os-grefă.

Am folosit și în acest studiu planul axial personalizat, perpendicular pe axa LIA și paralel cu linia condiliană posterioară.

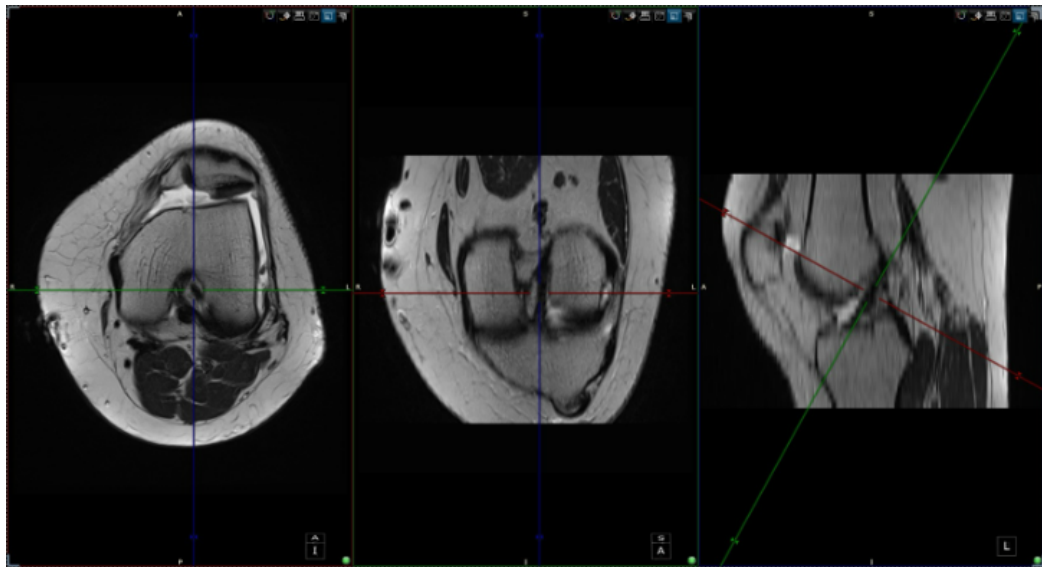


Figura 7.1. Plan axial personalizat (CAP)

Am împărțit notch-ul în una dintre cele 3 categorii și apoi am măsurat aria prin desenarea unui cerc circumscris de os cortical pe 3 din 4 puncte cardinale (anterosuperior, stânga și dreapta), și a fost definită aria notch-ului antero-superior (anterior intercondylar notch = aICN).

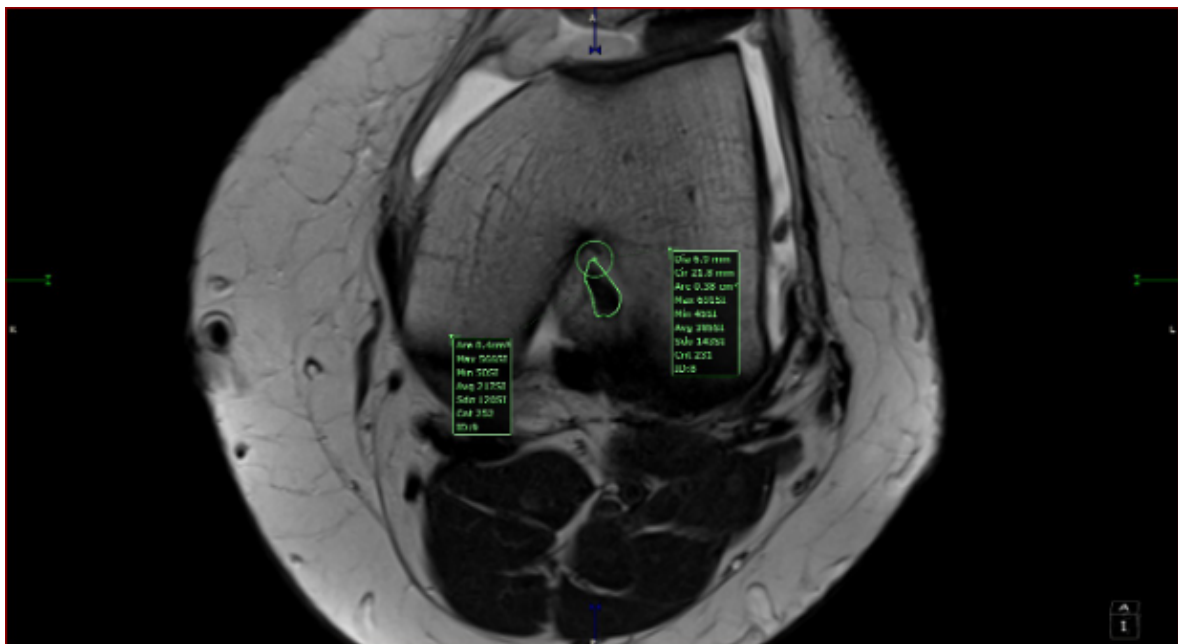


Figura 7.2. Măsurătorile ariei notch-ului intercondilian anterior (aICN) și ariei LIA în aceeași secțiune la un notch de tip A

Măsurătorile au fost realizate de un chirurg ortoped și un radiolog folosind definiția ariei aICN. În acest studiu unul dintre subiecți a avut un LIA circular în secțiune, care a fost măsurat intraoperator, cu ocazia tratamentului chirurgical al unei leziuni conexe. Aria LIA a fost măsurată ca fiind de 0,38 cm² pe RMN, iar diametrul a fost măsurat în vivo ca fiind de 7 mm. Aceasta corespunde unei suprafețe de 0,3848 cm² și unei raze de 3,5 mm.

În urma analizei, rezultatele au arătat că (aICN) este mai mare la bărbați decât la femei, cu valori de 0,75 cm² (0,2-0,8) comparativ 0,96 cm² vs 0,52 cm², p=0,002. De asemenea, valorile ariei notch-ului intercondilian antero-superior sunt semnificativ mai mari în cazurile cu notch în formă de U, forma U fiind mai frecventă la bărbați.

În cazul notch-ului de tip A, valorile au variat de la 0,15 cm² la 0,95 cm², LIA aflându-se în contact strâns cu pereții notch-ului antero-superior (aICN) în extensie. Așadar, utilizarea unei grefe de ischio-jambierii cu un diametru mai mare decât dimensiunea ariei aICN, va duce la conflict. În cazul notch-ului de tip W, valorile variază de la 0,15 cm² la 0,81 cm², aflându-se în contact strâns cu pereții aICN în extensie, dimensiunea grefei se poate face folosind măsurarea intraoperatorie a diametrului aICN. În notch-ul de tip U, valorile variază de la 0,56 la 3,6 cm², ceea ce oferă un interval de diametre de la 8,4 mm la 21,4 mm.

Limitarea acestui studiu este dată de lipsa acordului interobservator, tehnica de măsurare nefiind validată.

Un rezumat al rezultatelor acestui studiu arată ca aICN variază semnificativ pentru fiecare formă de notch și nu se corelează cu înălțimea, un aspect care luat în considerare în alegerea dimensiunii grefei pentru reconstrucția LIA.

Rezumat studiu 3: Balansul ligamentelor încrucișate anterior și posterior la adulți

Cele două ligamente încrucișate LIA și LIP sunt componente esențiale ale articulației genunchiului, oferind stabilitate în timpul mișcărilor, ambele fiind destul de frecvent lezate, mai ales în cazul sportivilor. Consider că o mai bună înțelegere a echilibrului dintre LIP și LIA este esențială pentru dezvoltarea unor strategii mai bune de tratament, prevenție și recuperare.

Studiul a fost realizat pe un lot de 62 de cazuri, folosind imagini RMN efectuate de două aparate 1,5-T. S-a realizat un plan axial personalizat pentru LIA și LIP.

Imaginile au fost evaluate de un chirurg ortoped și un radiolog, iar analiza s-a efectuat folosind statistica descriptivă, inclusiv mediana și abaterea standard. Alte modalități folosite au fost testul Shapiro-Wilk, testul Kruskal-Wallis cu corecția Bonferroni, iar pentru a determina magnitudinea diferenței dintre aria LIA în raport cu aria LIP, a fost utilizată formula $(\text{aria LIA} - \text{aria LIP})/\text{Aria LIP}$.

S-a constatat și că diferența mediană dintre aria LIA și aria LIP este semnificativă statistic ($p = 0,02$). O diferență semnificativă în aria ligamentului încrucișat anterior (LIA) a fost detectată între de tipurile A și U de notch ($p = 0,02$), în timp ce nu au fost găsite diferențe semnificative între tipul A și W sau între tipul W și U după corecțiile post-hoc ($p > 0,05$).

Studiul respectiv are o serie de limitări. Printre acestea enumerăm: lipsa acordul interobservator, tehnica de măsurare nefiind validată, număr mic de participanți, diversitatea rasială, majoritatea ligamentelor încrucișate posterioare din genunchii cu leziune de LIA sunt angulate. Rezumatul studiului arată că corelația dimensiunilor LIA-LIP ajută la înțelegerea echilibrului pivotului central al genunchiului. În studiul nostru, la mai mult de jumătate dintre pacienții studiați, aria LIA este nu mai puțin de 60% din aria PCL și nu mai mult de 120%.

Cercetarea conține de asemenea și o notă tehnică în alegerea punctului izometric de implantare a grefei în reconstrucția ligamentului încrucișat anterior. Rata de reconstrucție LIA a crescut semnificativ în ultimele decenii, existând constant adăugări noi în tehnicile chirurgicale, precum și modalități de “tips and tricks”, pentru tehnicile curente.

Ca în orice domeniu există divergențe de opinie, existând însă și un grad de consens privind legătura directă între optimizarea punctelor de inserție femural și tibial ale neoligamentului și rezultatul postoperator favorabil, iar modurile de determinare a punctului optim femural izometric, atât vizual cât și prin instrumentar dedicat sunt multiple.

Nota tehnică propune vizualizarea condilului posterior cu genunchiul în flexie amplă, pentru a identifica mai ușor porțiunea anterioară a zonei de izometrie a condilului femural extern. Tehnica este o metodă simplă și fiabilă de determinare a izometriei condilului

femural extern. Reperetele descrise pot fi folosite de orice chirurg ortoped cu experiență în reconstrucția LIA.

Concluzii și contribuții personale

Scopul acestei cercetări este de a defini relația strânsă dintre ligamentul încrucișat anterior (LIA) și anatomia notch-ului intercondilian anterior, precum și relația dintre LIA și LIP. Ideea a venit în timpul intervenției chirurgicale și avut ca obiective principale:

- Găsirea corelațiilor de dimensiune între LIA nativ și dimensiunea notch-ului intercondilian anterior la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / istoric de intervenție chirurgicală anterioară, pe RMN-ul nativ.
- Găsirea corelației între diferitele tipuri de notch și diferitele leziuni descoperite pe RMN-ul nativ la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / antecedente de intervenție chirurgicală anterioară.
- Corelația dintre diametrul notch-ului antero-superior și diametrul grefei folosite pentru reconstrucția LIA.
- Găsirea corelației de mărime dintre LIA nativ și LIP nativ pe RMN-ul nativ la genunchii fără istoric de traumatism / osteoartrită / istoric de intervenție chirurgicală anterioară.

Cele trei studii efectuate aduc dovezi importante pentru practica chirurgicală. Raportat la studiul unu, acesta oferă dovezi că aria secțiunii LIA anterior este puternic corelată cu aria notch-ului antero-superior atunci când forma notch-ului este de tip A sau W. De asemenea un LIA gros este corelat cu mai multe leziuni interne de menisc. Notch-ul de tip A are mai puține leziuni de menisc extern decât tipurile W și U.

În studiul doi am arătat că la un notch-ul mic de tip A și W, o grefă mică autologă/hibridă/artificială poate fi planificată și reconfirmată în timpul intervenției chirurgicale folosind măsurători în vivo, pe când pentru notch-ul de tip U poate fi planificată o grefă de cel puțin 8 mm datorită riscului scăzut de conflict os-grefă.

Studiul trei este primul studiu care analizează echilibrul LIA-LIP folosind aria secțiunii transversale. Studiul arată că la examinarea echilibrului LIA-LIP, folosind formula

aria LIA – aria LIP / aria LIP, nu a fost găsită nicio diferență semnificativă între mărimea ariei LIA în raport cu aria PCL în cele trei tipuri de notch, dar 68% din ariile LIA s-au dovedit a fi în $[-0,4 \text{ până la } +0,2] \times \text{aria LIP}$, în timp ce 95% din ariile LIA au fost în $[-0,7 \text{ până la } +0,6] \times \text{aria LIP}$, cu valori negative reprezentând o arie a LIA mai mică decât aria LIP iar valorile pozitive reprezentând contrariul.

Cercetarea actuală aduce noutăți semnificative de la care se poate pleca în crearea de alte studii. LIA este un subiect dezbătut în detaliu în ortopedie, datorită importanței sale în stabilitatea genunchiului. Iată câteva aspecte ce țin de contribuțiile personale la această cercetare. În primul studiu, am evaluat doar partea antero-superioară a notch-ului, cea care este în contact strâns cu LIA și m-am concentrat pe corelația dintre cele două structuri.

O altă noutate adusă de cercetarea actuală este introducerea conceptului de arie a notch-ului intercondilian anterior (aria aICN) ca un parametru anatomic diferit care pot fi investigat în raport cu dimensiunea LIA nativ. Consider că balansul dintre cele două structuri este intim și important în aprofundarea reconstrucției LIA.

Folosind imagini RMN axiale reale și folosind instrumente de postprocesare am creat un plan personalizat prin aplicarea referințelor din planurile sagital și coronal. Planul personalizat este orientat de-a lungul axei LIA (ușor angulat față de acoperișul intercondilar al liniei Blumensaat) în plan sagital și de-a lungul unei linii paralele cu linia condiliană femurală posterioară în plan coronal. Ca urmare, planul este perpendicular pe axa LIA și paralel cu linia condiliană posterioară. Am numit acest plan planul axial personalizat al LIA (aCAP).

Folosind același principiu, am creat un plan perpendicular pe treimea proximală a LIP. Am numit acest plan planul axial personalizat al LIP (pCAP). Folosind cele două planuri personalizate am putut măsura cu exactitate aria secțiunii transversale a celor două ligamente încrucișate.

Cercetarea actuală este una de interes internațional și are un caracter interdisciplinar. Deși studiile noastre au avut câteva limitări, dovezile rezultate din aceste studii sunt un punct de plecare pentru alte studii pe loturi mai mari de pacienți, care să aibă ca rezultat o mai bună înțelegere a acestor repere anatomice, necesare în optimizarea grefei în reconstrucția de LIA.

Bibliografie

1. Vaswani R, Meredith SJ, Lian J, Li R, Nickoli M, Fu FH, et al. Intercondylar Notch Measurement During Arthroscopy and on Preoperative Magnetic Resonance Imaging. *Arthrosc Tech* [Internet]. 2019 Sep 26;8(10):e1263–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32042582>
2. Domnick C, Raschke MJ, Herbort M. Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World J Orthop* [Internet]. 2016 Feb 18;7(2):82–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26925379>
3. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2005;14(3):204–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-005-0679-9>

4. Petersen W, Tillmann B. Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopade* [Internet]. 2002;31(8):710–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00132-002-0330-0>
5. Morales-Avalos R, Torres-González EM, Padilla-Medina JR, Monllau JC. ACL anatomy: Is there still something to learn? *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* [Internet]. 2024;68(4):422–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recot.2023.02.005>
6. Lipps DB, Oh YK, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. Morphologic characteristics help explain the gender difference in peak anterior cruciate ligament strain during a simulated pivot landing. *Am J Sports Med* [Internet]. 2011/09/14. 2012 Jan;40(1):32–40. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21917612>
7. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament with Regard to Its Two Bundles. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 2007;454:35–47. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/blo.0b013e31802b4a59>
8. Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* [Internet]. 1988;16(5):449–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/036354658801600504>
9. Junge A, Dvorak J. Injuries in female football players in top-level international tournaments. *Br J Sports Med* [Internet]. 2007 Aug;41 Suppl 1(Suppl 1):i3–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17646248>
10. Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL, Fabricant PD, Lawrence JT, Ganley TJ. Sport-Specific Yearly Risk and Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears in High School Athletes. *Am J Sports Med* [Internet]. 2016;44(10):2716–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546515617742>
11. Swenson DM, Collins CL, Best TM, Flanigan DC, Fields SK, Comstock RD. Epidemiology of knee injuries among U.S. high school athletes, 2005/2006-2010/2011. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2013 Mar;45(3):462–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23059869>

12. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2020;49(7):1962–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546520959619>
13. LaBella CR, Hennrikus W, Hewett TE, Brenner JS, Brookes MA, Demorest RA, et al. Anterior Cruciate Ligament Injuries: Diagnosis, Treatment, and Prevention. *Pediatrics* [Internet]. 2014;133(5):e1437–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2014-0623>
14. Ilkay Zihni Chirali. Traditional Chinese Medicine Cupping Therapy , p. 211–30. In: *Sports Injuries*. 2014.
15. Yoon KH, Yoo JH, Kim KI. Bone Contusion and Associated Meniscal and Medial Collateral Ligament Injury in Patients with Anterior Cruciate Ligament Rupture. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* [Internet]. 2011;93(16):1510–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.2106/jbjs.j.01320>
16. Bisson LJ, Kluczynski MA, Hagstrom LS, Marzo JM. A Prospective Study of the Association Between Bone Contusion and Intra-articular Injuries Associated With Acute Anterior Cruciate Ligament Tear. *Am J Sports Med* [Internet]. 2013;41(8):1801–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546513490649>
17. Yi Z, Jiang J, Liu Z, Wang H, Yi Q, Zhan H, et al. The Association Between Bone Bruises and Concomitant Ligaments Injuries in Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. *Indian J Orthop* [Internet]. 2022 Nov 14;57(1):20–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36660483>
18. Bates NA, McPherson AL, Rao MB, Myer GD, Hewett TE. Characteristics of inpatient anterior cruciate ligament reconstructions and concomitant injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2014/12/16. 2016 Sep;24(9):2778–86. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25510363>

19. Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *Br J Sports Med* [Internet]. 2007 Aug;41 Suppl 1(Suppl 1):i47–51. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17646249>
20. Yoo H MGR. *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee Anterior Cruciate Ligament*. StatPearls, Treasure Island (FL). 2023 Jul 24;
21. Gadeyne S, Besse JL, Galand-Desme S, Lerat JL, Moyen B. 43 - Analyse des lésions méniscales constatées lors de la reconstruction du ligament croisé antérieur : à propos d'une série continue de 156 patients. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* [Internet]. 2005;91(8):72–3. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0035-1040\(05\)84549-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0035-1040(05)84549-0)
22. Forkel P, Reuter S, Sprenker F, Achtnich A, Herbst E, Imhoff A, et al. Different patterns of lateral meniscus root tears in ACL injuries: application of a differentiated classification system. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2014;23(1):112–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-014-3467-6>
23. Zaffagnini S, Bonanzinga T, Muccioli GMM, Giordano G, Bruni D, Bignozzi S, et al. Does chronic medial collateral ligament laxity influence the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction? *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 2011;93-B(8):1060–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620x.93b8.26183>
24. Waldén M, Hägglund M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2010;19(1):3–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-010-1172-7>
25. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A Meta-analysis of the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears as a Function of Gender, Sport, and a Knee Injury–Reduction Regimen. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* [Internet]. 2007;23(12):1320-1325.e6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2007.07.003>

26. Filbay SR, Culvenor AG, Ackerman IN, Russell TG, Crossley KM. Quality of life in anterior cruciate ligament-deficient individuals: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2015;49(16):1033–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-094864>
27. Friel NA, Chu CR. The role of ACL injury in the development of posttraumatic knee osteoarthritis. *Clin Sports Med* [Internet]. 2013 Jan;32(1):1–12. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23177457>
28. Shelbourne KD, Stube KC. Anterior cruciate ligament (ACL)-deficient knee with degenerative arthrosis: treatment with an isolated autogenous patellar tendon ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 1997;5(3):150–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s001670050043>
29. Potter HG, Jain SK, Ma Y, Black BR, Fung S, Lyman S. Cartilage Injury After Acute, Isolated Anterior Cruciate Ligament Tear. *Am J Sports Med* [Internet]. 2011;40(2):276–85. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546511423380>
30. Feucht MJ, Bigdon S, Bode G, Salzmann GM, Dovi-Akue D, Südkamp NP, et al. Associated tears of the lateral meniscus in anterior cruciate ligament injuries: risk factors for different tear patterns. *J Orthop Surg Res* [Internet]. 2015 Mar 18;10:34. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25889148>
31. Williams JGP. Aetiological classification of injuries in sportsmen. *Br J Sports Med* [Internet]. 1971;5(4):228–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.5.4.228>
32. Domzalski M, Grzelak P, Gabos P. Risk factors for Anterior Cruciate Ligament injury in skeletally immature patients: analysis of intercondylar notch width using Magnetic Resonance Imaging. *Int Orthop* [Internet]. 2010/03/24. 2010 Jun;34(5):703–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20333378>
33. Silva L, Bernal N, Tuca M, Espinosa M, de la Fuente G. Una escotadura intercondílea estrecha favorece la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) en pacientes con esqueleto

inmaduro. Rev Esp Cir Ortop Traumatol [Internet]. 2021;65(3):201–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recot.2020.08.004>

34. Yellin JL, Parisien RL, Talathi NS, Farooqi AS, Kocher MS, Ganley TJ. Narrow Notch Width is a Risk Factor for Anterior Cruciate Ligament Injury in the Pediatric Population: A Multicenter Study. *Arthrosc Sports Med Rehabil* [Internet]. 2021 Mar 22;3(3):e823–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34195650>
35. Shelbourne KD, Facibene WA, Hunt JJ. Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 1997;5(4):229–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s001670050055>
36. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Risk Factors and Prevention Strategies. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* [Internet]. 2000;8(3):141–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.5435/00124635-200005000-00001>
37. Alan L. Zhang CRA 2019,. Chapter 32: Knee Arthroscopy. In: *The Basics Operative Techniques in Orthopaedics*. 2019. Lippincott Discovery.
- 38 Gupton M, Imonugo O, Black AC, Launico MV, Terreberry RR. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; November 5, 2023.
39. Crouser N, Wright J, DiBartola A, Flanigan D, Duerr R. Intercondylar Notch Pathology. *J Knee Surg* [Internet]. 2022;37(02):149–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1055/a-2001-6764>
40. Hirtler L, Röhrich S, Kainberger F. The Femoral Intercondylar Notch During Life: An Anatomic Redefinition With Patterns Predisposing to Cruciate Ligament Impingement. *American Journal of Roentgenology* [Internet]. 2016;207(4):836–45. Available from: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.16.16015>

41. Jha V, Azam MQ, Jain P, Bali SA. Does Femoral Intercondylar Notch Volume Differ in Anterior Cruciate Ligament-Injured Adult Patients Compared to the Uninjured?: A Meta-Analysis. *Clin Orthop Surg* [Internet]. 2021/11/24. 2022 Mar;14(1):76–89. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35251544>
42. Tillman MD, Smith KR, Bauer JA, Cauraugh JH, Falsetti AB, Pattishall JL. Differences in three intercondylar notch geometry indices between males and females: a cadaver study. *Knee* [Internet]. 2002;9(1):41–6. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0968-0160\(01\)00135-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0968-0160(01)00135-1)
43. Li M, Bai H, Zhang F, Zhou Y, Lin Q, Zhou Q, et al. Automatic segmentation model of intercondylar fossa based on deep learning: a novel and effective assessment method for the notch volume. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2022 May 6;23(1):426. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35524293>
44. Charlton WPH, John TA St., Ciccotti MG, Harrison N, Schweitzer M. Differences in Femoral Notch Anatomy between Men and Women. *Am J Sports Med* [Internet]. 2002;30(3):329–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/03635465020300030501>
45. Stein V, Li L, Guermazi A, Zhang Y, Kent Kwoh C, Eaton CB, et al. The relation of femoral notch stenosis to ACL tears in persons with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* [Internet]. 2009/10/02. 2010 Feb;18(2):192–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19835830>
46. Chen C, Ma Y, Geng B, Tan X, Zhang B, Jayswal CK, et al. Intercondylar Notch Stenosis of Knee Osteoarthritis and Relationship between Stenosis and Osteoarthritis Complicated with Anterior Cruciate Ligament Injury: A Study in MRI. *Medicine* [Internet]. 2016 Apr;95(17):e3439–e3439. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27124033>
47. Rakshit J, Agrawal A, Sakale H, Kar B, Raj M. Anatomical considerations of intercondylar notch dimensions of femur in cadavers with intact anterior cruciate ligament. *Journal of Orthopedics, Traumatology and Rehabilitation* [Internet]. 2021;13(1):38. Available from: http://dx.doi.org/10.4103/jotr.jotr_27_21

48. van Eck CF, Martins CAQ, Vyas SM, Celentano U, van Dijk CN, Fu FH. Femoral intercondylar notch shape and dimensions in ACL-injured patients. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2010;18(9):1257–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-010-1135-z>
49. Ireland ML, Ballantyne BT, Little K, McClay IS. A radiographic analysis of the relationship between the size and shape of the intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2001;9(4):200–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s001670100197>
50. Anderson AF, Lipscomb AB, Liudahl KJ, Addlestone RB. Analysis of the intercondylar notch by computed tomography. *Am J Sports Med* [Internet]. 1987;15(6):547–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/036354658701500605>
51. Shepstone L, Rogers J, Kirwan JR, Silverman BW. Shape of the intercondylar notch of the human femur: a comparison of osteoarthritic and non-osteoarthritic bones from a skeletal sample. *Ann Rheum Dis* [Internet]. 2001 Oct;60(10):968–73. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11557655>
52. Babalola OR, Oluwadiya KS, Akinyemi AB. Association of femoral intercondylar notch geometry with risk of anterior cruciate ligament injury in a black patient population. *Sci Afr* [Internet]. 2021;13:e00912. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00912>
53. Li Z, Zhang W, Ren S, Zhou R, Zhang X, You T, et al. Relationship Between Number of Lateral Intercondylar Ridges and Area of Denser Bone on the Lateral Intercondylar Wall. *Orthop J Sports Med* [Internet]. 2022 May 10;10(5):23259671221091332–23259671221091332. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35571965>
54. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynonn B, Fukubayashi T, Garrett W, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med* [Internet]. 2008 Jun;42(6):394–412. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18539658>

55. Miljko M, GM, KS, KM, & DI. Intercondylar notch width and inner angle of lateral femoral condyle as the risk factors for anterior cruciate ligament injury in female handball players in Herzegovina. . *Coll Antropol.* 2012;
56. Arthur JR, Haglin JM, Makovicka JL, Chhabra A. Anatomy and Biomechanics of the Posterior Cruciate Ligament and Their Surgical Implications. *Sports Med Arthrosc Rev* [Internet]. 2019;28(1):e1–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/jsa.0000000000000267>
57. Logterman SL, Wydra FB, Frank RM. Posterior Cruciate Ligament: Anatomy and Biomechanics. *Curr Rev Musculoskelet Med* [Internet]. 2018 Sep;11(3):510–4. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29855794>
58. Cox CF GSBABB. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Knee Posterior Cruciate Ligament. *StatPearls* [Internet] Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023;
59. Winkler PW, Zsidai B, Wagala NN, Hughes JD, Horvath A, Senorski EH, et al. Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 1: anatomy, biomechanics and diagnostics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2020/11/17. 2021 Mar;29(3):672–81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33201271>
60. LaPrade RF, Floyd ER, Falaas KL, Ebert NJ, Struyk GD, Carlson GB, et al. The Posterior Cruciate Ligament: Anatomy, Biomechanics, and Double-Bundle Reconstruction. *Journal of Arthroscopic Surgery and Sports Medicine* [Internet]. 2021;0:1–14. Available from: http://dx.doi.org/10.25259/jassm_3_2021
61. Sonin AH, Fitzgerald SW, Hoff FL, Friedman H, Bresler ME. MR imaging of the posterior cruciate ligament: normal, abnormal, and associated injury patterns. *RadioGraphics* [Internet]. 1995;15(3):551–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1148/radiographics.15.3.7624562>
62. Whitney DC, Sturnick DR, Vacek PM, DeSarno MJ, Gardner-Morse M, Tourville TW, et al. Relationship Between the Risk of Suffering a First-Time Noncontact ACL Injury and

Geometry of the Femoral Notch and ACL: A Prospective Cohort Study With a Nested Case-Control Analysis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2014/05/27. 2014 Aug;42(8):1796–805. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24866891>

63. Wang P, Gao F, Sun W, Li Z, Wu X, Shi L, et al. Morphometric characteristics of the knee are associated with the injury of the meniscus. *J Orthop Surg Res* [Internet]. 2022 Nov 19;17(1):498. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36403063>

LISTA DE LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE

1.Cernat E M, Neagu A, Betianu C, et al., Balancing Anterior and Posterior Cruciate Ligaments in Adults. *Cureus*, (May 05, 2024), 16(5): e59683. doi:10.7759/cureus.59683

Factor de impact: Total reads: 322. Article views, Cureus: 132, PMC:30. PDF downloads. Cureus: 130, PMC: 28. [Cureus](#).

Capitolul 8 (pag. 89-100)

2.Cernat EM, Dima A, Popescu C, Neagu A, Betianu C, Moga M, Manolescu LSC, Barbilian A. Anterior Intercondylar Notch Geometry in Relation to the Native Anterior Cruciate Ligament Size. *Journal of Clinical Medicine*. 2024; 13(2):309. Factor de impact: 962 views. Web of Science: 1. <https://doi.org/10.3390/jcm13020309>.

Capitolul 6 (pag. 56-73)

3.Cernat EM, Neagu A, Betianu C, Georgescu DE, Barbilian A, Cornelia LS. The Anterior Notch Area for 3 Types of Notch Geometry, an Individualized Approach for Choosing the ACL Graft Size. *Chirurgia (Bucur)*. 2024;119(eCollection):1-10.

[doi:10.21614/chirurgia.119.eC.2991](https://doi.org/10.21614/chirurgia.119.eC.2991)

Capitolul 7 (pag. 74-88)