

Diplomarbeit

**Effekte der Regionalanästhesie auf das postoperative
Sturzrisiko nach KTEPs**

eingereicht von

Max Eissner

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie

unter der Anleitung von

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. et scient. med. Patrick Sadoghi

Dr. med. univ. René Schrödter

Graz, am 01.03.2026

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 01.03.2026

Max Eissner eh.

Danksagungen

Zu Beginn möchte ich Herrn Primarius Univ.-Prof. Dr. med. univ. Andreas Leithner, Vorstand der Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie Graz, meinen herzlichen Dank aussprechen, insbesondere für die Möglichkeit, meine Abschlussarbeit an dieser Abteilung verfassen zu dürfen.

Ein großer Dank gilt außerdem meinen beiden Betreuern, Assoz. Prof. Priv. Doz. Dr. med. univ. et scient. med. Patrick Sadoghi und Dr. med. univ. René Schrödter. Mit ihrer fachlichen Expertise, ihrer konstruktiven Kritik und ihrer kontinuierlichen Unterstützung haben sie mich während der Erstellung dieser Arbeit bestmöglich begleitet.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinem Bruder. Sie standen und stehen mir jederzeit bedingungslos zur Seite, haben mich motiviert und mich in jeder Hinsicht unterstützt. Ihre Geduld, ihr Vertrauen und ihr Rückhalt haben mich durch alle Phasen meines Ausbildungswegs getragen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei all meinen Freunden sowie meinen Studienkollegen bedanken, die mich während meiner gesamten Ausbildung begleitet haben. Für die gemeinsame Zeit, das Miteinander durch „dick und dünn“ und für all die positiven wie auch herausfordernden Erfahrungen bin ich sehr dankbar.

Allen, die mich auf dem Weg zur Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben und hier nicht namentlich genannt wurden, möchte ich ebenfalls herzlich danken.

Zusammenfassung

Hintergrund

Periphere Nervenblockaden (PNB) sind ein zentraler Bestandteil multimodaler Analgesiekonzepte nach Knie-Totalendoprothese (KTEP), um Schmerzen zu lindern, den Opioidbedarf zu reduzieren und die frühe Mobilisation zu unterstützen. Klinisch gebräuchlich sind vor allem der Adduktorenkanal-Block, Femoralisnerv-Block, Ischiadikus- und Obturatorius-Block. Intrahospitale Stürze nach KTEP sind sicherheitsrelevant und können mit periprothetischen Frakturen, Wundkomplikationen, Mobilisationsverzögerungen und längerer stationärer Aufenthaltsdauer assoziiert sein. Femoralbasierte Blockaden können die Kniestreckkraft reduzieren und damit Transfers und Standphasen in der Frühmobilisierung beeinträchtigen. Ziel der Studie war die konfigurationsspezifische Analyse des intrahospitalen Sturzrisikos nach primärer KTEP in Abhängigkeit von Anästhesieart und PNB-Strategie.

Material und Methoden

Es handelt sich um eine monozentrische retrospektive beobachtende Kohortenstudie (Juni 2017 bis Dezember 2022) nach Genehmigung durch das lokale Ethikkomitee. Die Fälle wurden über ICD-Kodierung aus dem Krankenhausregister identifiziert und mit elektronischen Patientenakten sowie der Anästhesiedokumentation verknüpft. Stürze wurden aus dem standardisierten Sturzmeldesystem der Station erhoben. Von 1802 identifizierten primären KTEP-Fällen wurden 383 ausgeschlossen (u. a. unvollständige Historien, unikompartimentelle Arthroplastik, Revisionsoperation), sodass 1419 primäre KTEP-Eingriffe analysiert wurden. Das primäre Outcome war ein dokumentierter Sturz vom Operationsende bis zur Entlassung. Expositionen waren Anästhesieart (Allgemein- vs. Spinalanästhesie) und die PNB-Konfiguration. PNB wurden ausschließlich als Single-Shot durchgeführt. Analysiert wurden keine PNB (NO_PNB), alleiniger Femoralisblock (FEM) und kombinierter Femoralis-Ischiadikus-Block (FEM+ISCH). Seltene Konfigurationen ohne Ereignisse wurden deskriptiv berichtet. Univariable Vergleiche erfolgten mittels exaktem Fisher-Test, Mann-Whitney-U-Test oder Kruskal-Wallis-Test. Unabhängige Zusammenhänge wurden mit binärer logistischer Regression (Adjustierung für Alter, BMI, Geschlecht, Anästhesieart und ASA 3-4 vs. 1-2) geschätzt.

Ergebnisse

Insgesamt traten in der untersuchten Kohorte 52 intrahospitale Stürze auf (3,7%). Alter, BMI, Geschlecht, Anästhesieart und ASA-Status unterschieden sich zwischen der Sturz- und Nicht-Sturz-Gruppe nicht signifikant. PNB-Exposition war unter Sturzfällen häufiger. Die Sturzinzidenz betrug 6/471 (1,27%) ohne PNB, 11/230 (4,8%) nach FEM und 35/702 (5,0%) nach FEM+ISCH. In seltenen Konfigurationen (nur Ischiadicus n=9; andere PNB n=7) traten keine Stürze auf. Univariabel waren die Odds-Ratio für Sturz erhöht für FEM vs. NO_PNB (OR 3,89; 95%-KI 1,42-10,66; Bonferroni-p=0,022) und für FEM+ISCH vs. NO_PNB (OR 4,07; 95%-KI 1,70-9,75; Bonferroni-p=0,0015). FEM+ISCH vs. FEM unterschied sich nicht signifikant (OR 1,04; 95%-KI 0,52-2,09). Im multivariablen Modell blieben femoralbasierte Strategien unabhängig assoziiert: FEM aOR 3,72 (95%-KI 1,35-10,23; p=0,011) und FEM+ISCH aOR 4,45 (95%-KI 1,70-11,65; p=0,002). ASA 3-4 zeigte einen nicht signifikanten Trend zugunsten eines erhöhten Sturzrisikos (aOR 1,78; p=0,065). Alter, BMI, Geschlecht und Anästhesieart waren nicht signifikant. Die Modelltrennschärfe war moderat (AUC 0,663; 95%-KI 0,594-0,730).

Schlussfolgerungen

In der untersuchten Kohorte waren femoralbasierte Single-Shot-PNB (mit oder ohne zusätzliche Ischiadikusblockade) mit einem klinisch relevanten, etwa vierfach erhöhten intrahospitalen Sturzrisiko nach primärer KTEP verbunden. Die Ergebnisse sprechen für konfigurationsspezifische Effekte und sind mit der Hypothese einer motorischen Beeinträchtigung durch femoralbasierte Blockaden vereinbar. Klinisch sollten bei Einsatz femoralbasierter Blockaden strukturierte Sturzprävention und engmaschige Supervision in der Frühmobilisation priorisiert sowie motorikschonende Analgesiealternativen geprüft werden.

Abstract

Background

Peripheral nerve blocks (PNBs) are a key component of multimodal analgesia protocols after total knee arthroplasty (TKA) to relieve pain, reduce opioid requirements, and facilitate early mobilization. Commonly used techniques include the adductor canal block, femoral nerve block, sciatic nerve block, and obturator nerve block. In-hospital falls after TKA are a patient-safety concern and may be associated with periprosthetic fractures, wound complications, delayed mobilization, and longer length of stay. Femoral-based blocks can reduce knee extensor strength and thereby impair transfers and stance phases during early rehabilitation. The aim of this study was a configuration-specific analysis of in-hospital fall risk after primary TKA depending on anesthesia type and PNB strategy.

Materials and Methods

This was a single-center retrospective observational cohort study (June 2017 to December 2022) conducted after approval by the local ethics committee. Cases were identified via ICD coding from the hospital registry and linked with electronic patient records and anesthesia documentation. Falls were extracted from the ward's standardized fall reporting system. Of 1,802 identified primary TKA cases, 383 were excluded (including incomplete records, unicompartmental arthroplasty, and revision surgery), leaving 1,419 primary TKA procedures for analysis. The primary outcome was a documented fall from the end of surgery to discharge. Exposures were anesthesia type (general vs spinal anesthesia) and the PNB configuration. PNBs were performed exclusively as single-shot injections. The analyzed groups were no PNB (NO_PNB), femoral block alone (FEM), and combined femoral-sciatic block (FEM+SCI). Rare configurations without events were reported descriptively. Univariable comparisons were performed using Fisher's exact test, the Mann-Whitney U test, or the Kruskal-Wallis test. Independent associations were estimated using binary logistic regression (adjusted for age, BMI, sex, anesthesia type, and ASA 3-4 vs 1-2).

Results

Overall, 52 in-hospital falls occurred in the cohort (3.7%). Age, BMI, sex, anesthesia type, and ASA status did not differ significantly between the fall and no-fall groups. PNB exposure was more common among fall cases. Fall incidence was 6/471 (1.27%) without PNB, 11/230 (4.8%) after FEM, and 35/702 (5.0%) after FEM+SCI. No falls occurred in rare configurations (sciatic only n=9; other PNB n=7). In univariable analyses, the odds of falling were higher for FEM vs NO_PNB (OR 3.89; 95% CI 1.42-10.66; Bonferroni p=0.022) and for FEM+SCI vs NO_PNB (OR 4.07; 95% CI 1.70-9.75; Bonferroni p=0.0015). FEM+SCI vs FEM did not differ significantly (OR 1.04; 95% CI 0.52-2.09). In the multivariable model, femoral-based strategies remained independently associated: FEM aOR 3.72 (95% CI 1.35-10.23; p=0.011) and FEM+SCI aOR 4.45 (95% CI 1.70-11.65; p=0.002). ASA 3-4 showed a non-significant trend toward an increased risk of falls (aOR 1.78; p=0.065). Age, BMI, sex, and anesthesia type were not significant. Model discrimination was moderate (AUC 0.663; 95% CI 0.594-0.730).

Conclusion

In this cohort, femoral-based single-shot PNBs (with or without additional sciatic blockade) were associated with a clinically relevant, approximately fourfold increased in-hospital fall risk after primary TKA. The findings suggest configuration-specific effects and are consistent with the hypothesis of motor impairment caused by femoral-based blocks. Clinically, when femoral-based blocks are used, structured fall prevention and close supervision during early mobilization should be prioritized, and motor-sparing analgesic alternatives should be considered.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Danksagungen	III
Zusammenfassung	IV
Abstract.....	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abkürzungen und deren Erklärung.....	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
Einleitung.....	4
Anatomie	6
Knöchernen Strukturen.....	6
Gelenkkapsel.....	7
Menisci	8
Bandapparat des Kniegelenks.....	12
1.1.1 Kapsulärer Bandapparat	12
1.1.2 Extrakapsuläre Bänder.....	16
1.1.3 Kreuzbänder.....	19
Muskulatur des Kniegelenks	22
Innervation des Kniegelenks	25
Funktionelle Anatomie	27
Gonarthrose	29
Epidemiologie.....	29
Ätiologie und Pathogenese	30
Klinik und Diagnostik	32
Therapie.....	35
1.1.4 Nicht-medikamentöse Therapie.....	35
1.1.5 Medikamentöse Therapie	37
1.1.6 Operative Therapie	39
Periphere Nervenblöcke und Stürze nach KTEP.....	42
Material und Methoden	44
Studiendesign, Setting und Ethik.....	44

Teilnehmende und Datenquellen	44
Perioperatives Management und Definitionen	44
Statistische Analyse	45
Ergebnisse.....	46
Sturzinzidenz nach PNB und univariable Zusammenhänge.....	48
Multivariable Analyse	50
Diskussion	52
Stärken und Limitationen	54
Fazit	54
Literaturverzeichnis	55

Abkürzungen und deren Erklärung

KTEP	Knie-Totalendoprothese
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
N.	Nervus
ALL	anterolateral ligament
LPML	lateral patellomeniscal ligament
dMCL	deep medial collateral ligament
sMCL	superficial collateral ligament
PMC	posteromedial capsule
POL	posterior oblique ligament
OPL	oblique popliteal ligament
MPFL	medial patellofemoral ligament
LPFL	lateral patellofemoral ligament
ACL	anterior cruciate ligament
PCL	posterior cruciate ligament
ACB	Adductor canal block/Adduktorenkanal-Block
FNB	femoral nerve block/Femoralisnerv-Block
iPACK	Infiltration between the popliteal artery and the capsule of the knee
SNB	sciatic nerve block/Ischiadicusnerv-Block
ONB	obturator nerve block/Obturatoriusnerv-Block
PAI	periartikuläre Infiltration
LAST	Lokalanästhetikatoxizität
OR	Odds Ratio
95%-KI	95%-Konfidenzintervall

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Articulatio genus dexter	6
Abbildung 2: Ausdehnung der Membrana synovialis	8
Abbildung 3: Druckverteilung im medialen und lateralen Kompartiment.....	8
Abbildung 4: Menisci eines rechten Knies von proximal	11
Abbildung 5: Dorsaler Kapselkomplex eines rechten Knies.....	15
Abbildung 6: Kreuzbänder eines linken Knies von ventral.....	21
Abbildung 7: Mikulicz-Linie.....	28
Abbildung 8: Schema der inflammatorischen Reaktion bei Gonarthrose	31
Abbildung 9: Gonarthrose	34
Abbildung 10: KTEP eines rechten Knies.....	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Muskulatur des Kniegelenks	24
Tabelle 2: Radiologische Klassifikation der Gonarthrose nach Kellgren&Lawrence	34
Tabelle 3: Basischarakteristika nach Sturzstatus	47
Tabelle 4: Sturzinzidenz nach PNB-Konfiguration	48
Tabelle 5: Vergleiche zwischen verschiedenen PNBs	49
Tabelle 6: Vergleiche zwischen Gruppen.....	50

Einleitung

Die Gonarthrose zählt weltweit zu den häufigsten chronisch-degenerativen Gelenkerkrankungen des Erwachsenenalters und stellt aufgrund der demografischen Entwicklung sowie der hohen funktionellen Einschränkung eine wachsende gesundheitliche und gesundheitsökonomische Herausforderung dar. (1–3) Für Mitteleuropa wurde zuletzt eine relevante Krankheitslast mit hohen Inzidenzraten beschrieben. Auch für Österreich liegen im internationalen Vergleich erhöhte Inzidenzraten vor. (4) Mit zunehmendem Alter steigt die Prävalenz deutlich an, wobei Frauen häufiger und oft schwerer betroffen sind. (1,2,5,6) Bei fortgeschrittener, symptomatischer Arthrose und nach Ausschöpfung konservativer Therapien ist die Knie-Totalendoprothese (KTEP) ein etabliertes Standardverfahren mit dem Ziel einer nachhaltigen Schmerzreduktion und Verbesserung der Gelenksfunktion sowie der Lebensqualität. (1,2,7,8)

Ein wesentlicher Faktor für den frühen postoperativen Verlauf nach KTEP ist die adäquate Schmerztherapie. Neben systemischen Analgetika haben sich Regionalanästhesieverfahren, insbesondere periphere Nervenblockaden (PNB), als zentrale Bausteine multimodaler Analgesiekonzepte etabliert. Ziel ist eine effektive Schmerzlinderung bei gleichzeitiger Reduktion des Opioidbedarfs und Förderung der frühen Mobilisation. (9,10) Klinisch relevante Verfahren umfassen unter anderem den Adduktorenkanal-Block (ACB), den Femoralisnerv-Block (FNB), den iPACK-Block, den Ischiadikusnerv-Block (SNB) sowie den Obturatoriusnerv-Block (ONB). (9–11) Während der ACB als motorikschonend gilt und damit potenziell die Frühmobilisation unterstützt, ist der FNB zwar analgetisch zuverlässig, kann jedoch durch Quadrizepsschwäche die Mobilität beeinträchtigen. Ergänzende Techniken wie iPACK zielen darauf ab, posteriore Schmerzanteile zu adressieren, ohne eine klinisch relevante motorische Blockade zu induzieren. (9,10)

Vor diesem Hintergrund rückt das postoperative Sturzrisiko als sicherheitsrelevantes Outcome in den Fokus. Intrahospitale Stürze nach KTEP sind klinisch bedeutsam, da sie mit potenziell schwerwiegenden Konsequenzen wie periprothetischen Frakturen, Wundkomplikationen, Mobilisationsverzögerungen und verlängerter stationärer Aufenthaltsdauer assoziiert sein können. (12)

Pathophysiologisch erscheint eine Verbindung zwischen bestimmten Regionalanästhesieverfahren und Stürzen plausibel: Insbesondere femoralbasierte Blockaden können die Kniestreckkraft reduzieren und damit Transfers und Standphasen in der Frührehabilitation negativ beeinflussen. (12,13) Gleichzeitig ist das Sturzgeschehen multifaktoriell. Neben motorischen Defiziten tragen patientenbezogene Faktoren (z. B. Alter, Geschlecht, Komorbiditäten) sowie perioperative Rahmenbedingungen, wie Anästhesieverfahren oder Delirrisiko, zur Risikoentstehung bei. Die Evidenzlage zum Zusammenhang von PNB und postoperativen Stürzen ist jedoch uneinheitlich. Ein groß angelegtes systematisches Review und eine Metaanalyse berichten keinen signifikanten Anstieg des Sturzrisikos durch PNB insgesamt und betonen alternative Risikotreiber sowie potenzielle Unterschiede zwischen Spinal- und Allgemeinanästhesie. (14) Demgegenüber weisen neuere Arbeiten darauf hin, dass insbesondere ein FNB mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert sein könnte. (15) Diese Diskrepanz unterstreicht die Relevanz, block- und konfigurationsspezifische Effekte (z. B. femoralbasiert vs. motorikschonend) getrennt zu untersuchen und dabei zentrale klinische Kovariaten zu berücksichtigen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, den Einfluss unterschiedlicher peripherer Nervenblockade-Strategien auf das intrahospitale postoperative Sturzrisiko nach primärer KTEP in einem monozentrischen Setting retrospektiv zu evaluieren. Untersucht werden dabei sowohl die Anästhesieart (Allgemein- vs. Spinalanästhesie) als auch das Vorliegen und die Konfiguration von PNB (z. B. keine PNB, femoralbasierte Strategien, Kombinationen). Durch die Analyse soll ein Beitrag zur risikoadaptierten Wahl perioperativer Analgesiestrategien geleistet und die patientensicherheitsrelevante Dimension der Frühmobilisation nach KTEP evidenzbasiert eingeordnet werden.

Anatomie

Knöcherne Strukturen

Das Kniegelenk, *Articulatio genus*, wird durch das distale Femur, die proximale Tibia und die Patella gebildet. Es wird als ein zusammengesetztes Gelenk beschrieben, welches Ober- und Unterschenkel verbindet. Es unterscheiden sich zwei Teilgelenke. Zum einen das Femoropatellargelenk (*Articulatio femoropatellaris*), welches von der *Facies patellaris* des Oberschenkelknochens und der *Facies articularis patellae* gebildet wird. Zum anderen artikulieren im Femorotibialgelenk (*Articulatio femorotibialis*) die *Condylus medialis et lateralis femoris* und die *Condylus medialis et lateralis tibiae*, welche das sogenannte Tibiaplateau bilden, miteinander. (16,17)

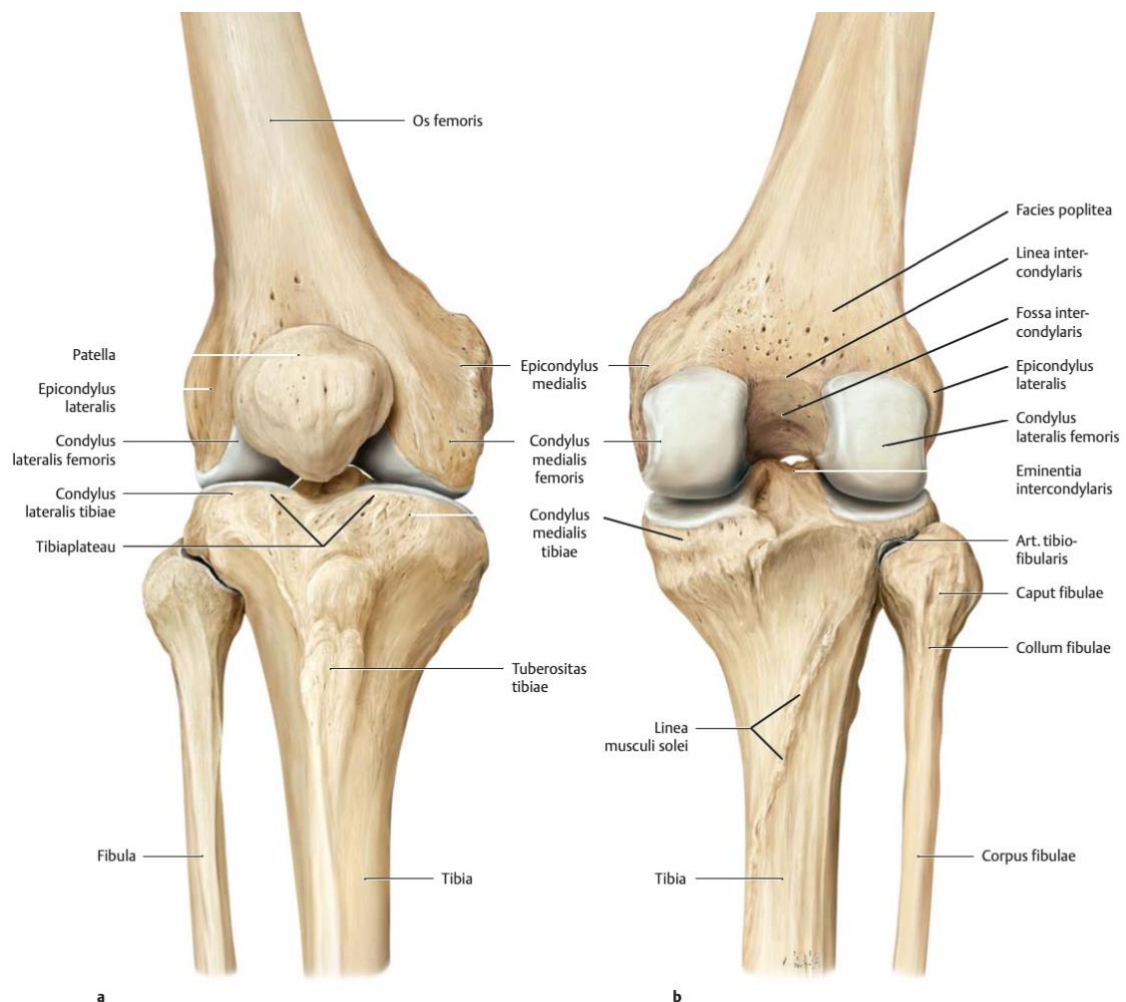


Abbildung 1: *Articulatio genus dexter*: a) von ventral b) von dorsal (18)

Gelenkscapsel

Beide oben genannten Teilgelenke sind von einer gemeinsamen Gelenkscapsel umgeben und liegen in einer durchgängigen Gelenkhöhle. Diese Gelenkscapsel ist eine bindegewebige Hülle, die aus einer äußeren fibrösen Schicht (Membrana fibrosa) und der inneren Schicht (Membrana synovialis) besteht. Der Ansatz der Membrana synovialis befindet sich an der Tibia und auch im Bereich der Femurkondylen nur wenige Millimeter distal bzw. proximal der Knorpel-Knochen-Grenze der Gelenksflächen. Die Umschlagstelle der Synovialmembran im Bereich des ventralen Femuranteiles befindet sich in einiger Entfernung proximal von der Knorpel-Knochen-Grenze. Dieser Abstand ist durch die mit dem Gelenkraum verbundene Bursa suprapatellaris bedingt, welche den Recessus suprapatellaris bildet. Diese Ausbuchtung der Gelenkscapsel kann sich über das gesamte distale Viertel des ventralen Oberschenkels erstrecken. (16,17)

Medial zieht die Membrana synovialis vor das vordere und hintere Kreuzband, sodass sich die Kreuzbänder zwar intrakapsulär, jedoch außerhalb des Gelenkraums befinden. (16,19)

Die beiden Menisici befinden sich intraatrikulär, kommen also innerhalb der Synovialmembran zu liegen. (16,17)

Als Rest einer embryonalen Scheidewand findet sich die Plica synovialis infrapatellaris. Es handelt sich um eine fetthaltige Bindegewebisfalte, welche vom Corpus adiposum infrapatellaris an den oberen Rand der Kreuzbänder zieht. Der infrapatellare Fettkörper liegt zwischen der Membrana synovialis und fibrosa, kommt also intraartikulär jedoch extrasynovial zu liegen. Topografisch befindet er sich kaudal der Patella, dorsal der Patellarsehne sowie ventral der Femurkondylen und des Tibiaplateaus. Die dorsale Fläche des Fettkörpers ist von der Synovialmembran bedeckt, sodass dieser mit dem Kniegelenk eine anatomisch-funktionelle Einheit bildet. Durch die Verbindung des infrapatellaren Fettkörpers mit dem synovialen Membran des vorderen Kreuzbandes über die Plica synovialis infrapatellaris wird die arterielle Versorgung des vorderen Kreuzbandes über Anastomosen mitunterstützt, die sich aus Ästen der A. poplitea zusammensetzen (A. genus superior lateralis und medialis, A. genus inferior lateralis und medialis, A. genus media). (16,20)

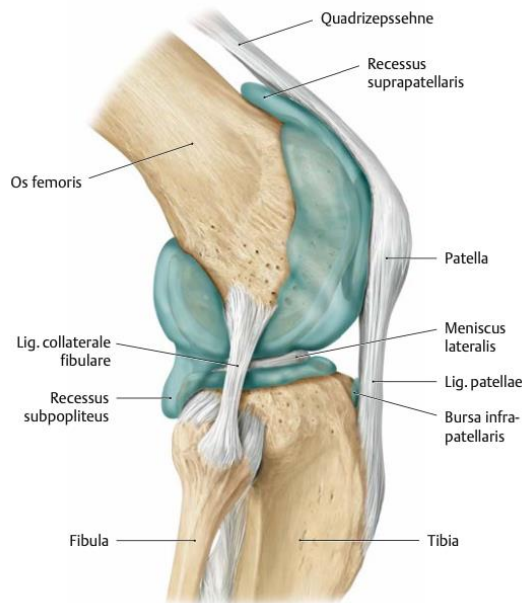


Abbildung 2: Ausdehnung der Membrana synovialis (18)

Menisci

Der hyaline Gelenksknorpel der Femur- und Tibiakondylen ist aufgrund der Tatsache, dass auf den Kniegelenken nahezu das gesamte Körpergewicht lastet, einem verhältnismäßig großen Druck ausgesetzt. Zusätzlich sind die Kontaktflächen zwischen den artikulierenden Knochen relativ gesehen klein, was zu einer noch höheren Druckbelastung führt. Hier ist zu betonen, dass die Druckverteilung auf das mediale Kompartiment des Knies in Extension deutlich höher als auf das laterale Kompartiment ist. Dies führt in weiterer Folge zu einer schnelleren Entstehung einer Arthrose im medialen Kompartiment. (21)

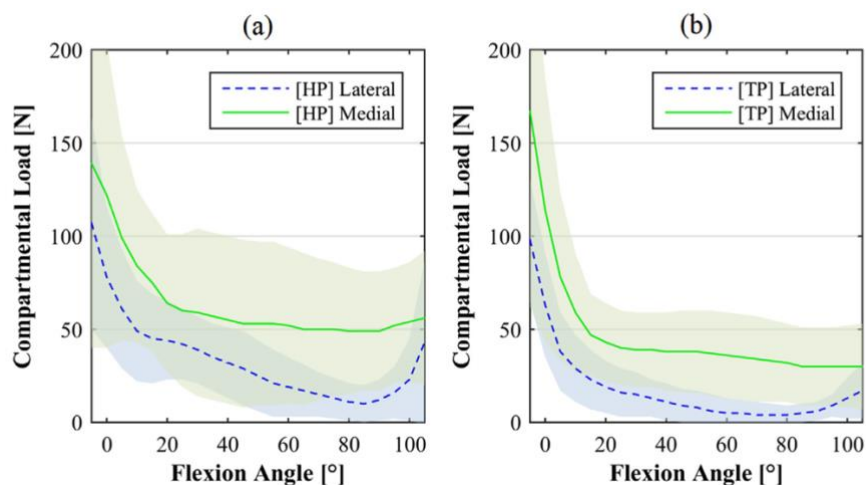


Abbildung 3: Druckverteilung im medialen und lateralen Kompartiment bei a) heel-push Test b) bei tigh-pull Test (21)

Dieser großen Druckbelastung wirken die Menisci entgegen. Diese Hilfsstrukturen im Gelenk bestehen aus Faserknorpel, gleichen Unebenheiten zwischen Gelenkflächen aus und sind nicht von der gut durchbluteten Synovialmembran überzogen. (16,17)

Der mediale Meniskus ist in der Regel in der anterior-posterioren Ausdehnung größer als der laterale Meniskus, sein Körper ist jedoch etwas dünner. Er weist eine Länge von etwa 40-45mm und eine Breite von ca. 27mm auf, wobei der posteriore Anteil deutlich breiter als der anteriore ist. Dem gegenüber steht der laterale Meniskus, welcher C-förmig ist und in der anterior-posterioren Ausdehnung, welche deutlich kleiner ist als die des medialen Meniskus, durchgehend etwa die gleiche Breite aufweist. Aufgrund der anterior-posterioren Konvexität des lateralen Tibiaplateaus ist der laterale Meniskus eher triangulär konfiguriert. Charakteristisch für den lateralen Meniskus ist zudem, dass zwischen dem mittleren und posterioren Drittel die peripheren Kapselanheftungen durch den Hiatus popliteus, in welchem die Sehne des M. popliteus in das Kniegelenk verläuft, unterbrochen sind. Dies und die Tatsache, dass das Vorder- und Hinterhorn des lateralen Meniskus in ihrem Ansatz weniger weit voneinander entfernt sind als die des medialen Meniskus, trägt wesentlich zu seiner Beweglichkeit bei. (22)

Durch ihre Form interponieren die Menisci von vorne, seitlich und hinten zwischen die femoralen und tibialen Kondylen. Mit ihrem keilförmigen Querschnitt, der an der Basis die größte Dicke hat und in Richtung Area intercondylaris tibiae spitz zuläuft, gleichen sie die Inkongruenz zwischen den Femur- und Tibiakondylen aus, erreichen eine größere Druckverteilung der Femurkondylen auf die Tibiakondylen und bilden eine „Gelenkspfanne“, die eine bessere Führung der Femurkondylen ermöglicht.

Die beiden beweglichen Menisci liegen dem Tibiaplateau auf und sind mit ihrem jeweiligen Cornu anterius und Cornu posterius in der Area intercondylaris im Knochen fixiert. Die beiden Vorderhörner des Innen- und Außenmeniskus sind über das Lig. transversum genus miteinander verbunden. Die Basis beider Menisci ist mit der Gelenkkapsel verwachsen, jedoch fehlt diese beim lateralen Meniscus im dorsalen Bereich, da hier der Recessus subpopliteus gelegen ist, in welchem die Sehne des M. popliteus in das Kniegelenk zieht. Die Basis des Innenmeniskus ist breitflächig mit dem tiefen Anteil des medialen Seitenbandes des Kniegelenks verwachsen. (16,22)

Der C-förmige mediale Meniskus ist weniger gekrümmt als der laterale und umschließt mit seinem Vorder- und Hinterhorn die des lateralen Meniskus in der Area intercondylaris. Durch die breitflächige Verwachsung mit der medialen Gelenkkapsel beziehungsweise

mit dem tiefen Anteil des medialen Seitenbandes ist die Beweglichkeit stark eingeschränkt. Dadurch kommt es bei Beugung und Außenrotation im Kniegelenk zu einem großen Spannungsaufbau im medialen Meniskus. Dies resultiert in einer erhöhten Verletzungsgefahr bei genannten Bewegungen. (16,17,22) Englund et al. beschreiben, dass Verletzungen des medialen Meniskus häufiger vorkommen als Verletzungen des lateralen Meniskus. Dies gilt sowohl für die allgemeine Bevölkerung als auch für sportlich aktive Personen. In einer großen MRT-Studie von Englund et al. (23) lag bei Erwachsenen die Prävalenz einer medialen Meniskusläsion bei 28%, während nur bei 12% Schäden des lateralen Meniskus beobachtet wurden. Herring et al. (24) betonen die Unterscheidung zwischen einer traumatischen Meniskusläsion, die hauptsächlich bei jungen sportlichen Personen auftritt, und einem degenerativen Meniskusschaden, der vorwiegend im Alter auftritt.

Der fast O-förmige laterale Meniskus ist wesentlich stärker gekrümmt als der mediale. Der hintere Abschnitt ist über das Lig. meniscofemorale posterius mit der Innenseite des medialen Femurkondyls verbunden, welches dem hinteren Kreuzband eng aufliegt. Durch die geringere Fixation des lateralen Meniskus ist dieser im Vergleich zum medialen deutlich beweglicher, was zu einer Reduktion der Verletzungsanfälligkeit führt. (16,17,22) Die Blutversorgung der Menisci wird im Wesentlichen über die Verwachsung der Meniskus-Basis mit der Gelenkkapsel erreicht. Orellana et al. (25) zeigen das per mikro-CT-Bildgebung auf. Es erfolgte die Zonen-Einteilung der Menisci systematisch in radiale Viertel (anterior, mid-anterior, mid-posterior, posterior) sowie in zirkumferente Zonen nach Cooper (perimeniskale Zone und Zonen 1-3, wobei Zone 1 das äußere, Zone 2 das mittlere und Zone 3 das innere Drittel des Meniskusradius repräsentieren.). Ein zentrales Ergebnis ist die klare Dominanz der perimeniskalen Zone: mehr als 72% des gesamten Gefäßvolumens lagen sowohl im medialen als auch im lateralen Meniskus in der PM-Zone. Die vaskuläre Dichte war dort jeweils signifikant höher als in den Cooper-Zonen 1-3. Betrachtet man die Meniskussubstanz ohne die perimeniskale Zone, weist Zone 1 (äußeres Drittel) den höchsten vaskulären Anteil auf, während die innerste Zone 3 nur minimal zur Gesamtvaskularität, unter 5% im lateralen und 2,5% im medialen Meniskus, beiträgt. Entlang der radial eingeteilten Viertel fielen im lateralen Meniskus 68% des gesamten Gefäßvolumens auf die mid-anterioren und posterioren Bereiche, 17% auf das anteriore und 15% auf das mid-posteriore Viertel. Im medialen Meniskus weist das anteriore, mid-anteroire und posteriore Viertel in Summe über 80% des Gefäßvolumens

auf, während die mid-posteriore Region analog zum lateralen Mensikus die geringste Vaskularisierung aufweist. Diese 3D-Quantifizierung stützt damit die klinisch etablierte Vorstellung einer vorwiegend peripheren Meniskusperfusion. (25)

Die Innervation der Gelenksscheiben geschieht ebenfalls über die Verwachsung mit der Gelenkkapsel, so werden mögliche Meniskusläsionen als schmerzhaft empfunden. (16,22)

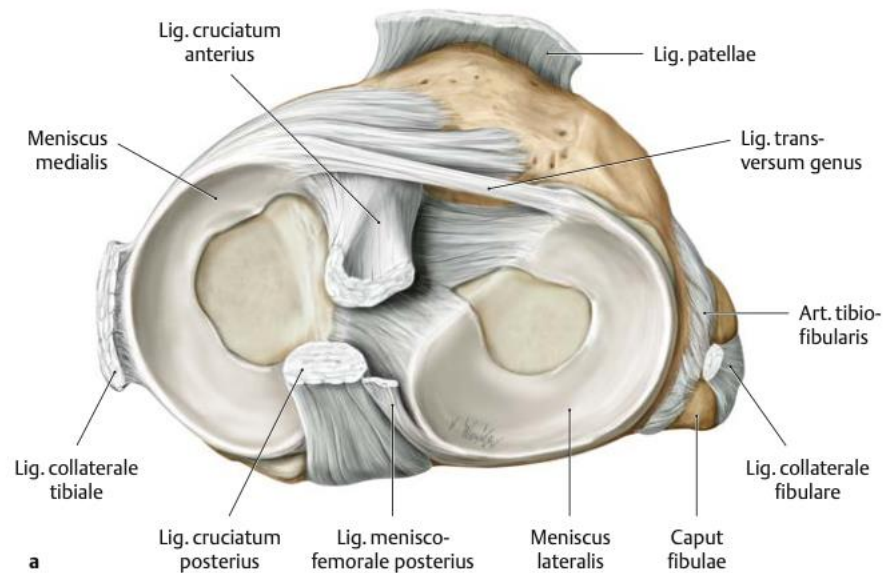


Abbildung 4: Menisci eines rechten Knies von proximal (18)

Bandapparat des Kniegelenks

Um dem Knie auf der einen Seite genügend Bewegungsfreiheit und auf der anderen Seite die nötige Stabilität zu gewährleisten, findet sich bei diesem Gelenk ein komplexer Bandapparat. Die ligamentären Strukturen des Kniegelenks werden in kapsuläre, extrakapsuläre sowie Kreuzbänder unterteilt.

1.1.1 Kapsulärer Bandapparat

Die Gelenkkapsel synovialer Gelenke besteht aus einer äußeren Schicht, der Membrana fibrosa, und einer inneren Synovialmembran. Funktionell ist die äußere Kapsel kein homogenes „Hüllgewebe“, sondern passt ihre Dicke und Faserorientierung den lokalen Belastungen an. In Bereichen erhöhter mechanischer Beanspruchung kommt es zu lokalen Verdickungen der fibrösen Kapsel, die als kapsuläre Bänder beschrieben werden und die Kapsel in definierten Richtungen verstärken und stabilisieren (26)

In der anterioren Kapselregion hat sich medial- und lateralseitig ein 3-Schichten-Modell etabliert, wobei die tiefste Schicht die eigentliche Gelenkkapsel beschreibt. (27)

Das Lig. anterolaterale (anterolateral ligament, ALL) wird als Struktur des anterolateralen Kapselbereichs beschrieben. Es verläuft schräg von der Region des lateralen

Femurepikondylus zum Tibiaplateau und ist vom Tractus iliotibialis abgrenzbar.

Gleichzeitig wird betont, dass insbesondere der vordere Rand häufig in die vordere Gelenkkapsel übergeht und dadurch keine überall klar separierbare „freie“ Bandkontur zeigt. Aufgrund dieser engen Kontinuität zur Kapsel interpretieren die Autoren das ALL in ihren Präparaten als kapsuläres Band und nicht zwingend als stets eigenständiges, diskretes Ligament. Die Prävalenz wird mit 42,5% angegeben, was die ausgeprägte anatomische Variabilität zusätzlich unterstreicht. (28)

Weitere vordere Kapselverstärkungen stellen die patellomeniskalen Bänder dar. In einer MR-anatomischen Korrelationsarbeit von De Maeseneer et al. (29) zur dreischichtigen Organisation der medialen Kapsel wird das mediale patellomeniskale Ligament als Bestandteil der tiefsten Kapselschicht eingeordnet. Dort wird es anterior als bandartige Verbindung beschrieben, die von der Meniskusbasis zum medialen Patellarand zieht. Damit erscheint es funktionell als vordere meniskopatelläre Verstärkung der tiefen Kapsel. Für die laterale Seite beschreibt eine biomechanisch-anatomische Studie von Merican et al.

(30) die lateralen patellomeniskalen Fasern (LPML) explizit als Verdickung der lateralen Gelenkkapsel, die den lateralen Patellarand mit dem vorderen Anteil des lateralen Meniskus verbindet.

Das dMCL wird in der chirurgisch-anatomischen Beschreibung der medialen Knie-Seite konsequent als Teil der tiefen, eigentlichen Kapselschicht verstanden. Anterior ist diese Schicht relativ dünn. Unterhalb des sMCL nimmt sie jedoch an Substanz zu und bildet das dMCL. Funktionell und topographisch wird es als Kontinuum eines meniskofemorales und meniskotibiales Anteils dargestellt, wodurch eine begrenzte, kontrollierte Meniskusbeweglichkeit möglich bleibt. Zusätzlich wird beschrieben, dass zwischen oberflächlicher und tiefer Komponente typischerweise eine Bursa liegt. (29,31)

Die posteromediale Kapsel (posteromedial capsule, PMC) wird nicht als einzelnes Band, sondern als Schichtkonfluenz und funktionelle Einheit beschrieben. In der chirurgisch-anatomischen Darstellung von Wymenga et al. (31) entsteht die PMC aus dem zusammenlaufenden Gewebe der intermediären Schicht (sMCL) und der tiefen Schicht (Kapselschicht inkl. dMCL-Anteilen). Innerhalb dieser Konfluenz wird eine faserige Kondensation als posterior oblique ligament (POL) interpretiert. Klinisch ist die posteromediale Verstärkung als Stabilitätskomponente relevant. Gleichzeitig wird die femorale Verankerung der PMC am Adduktorentuberkel betont (im Unterschied zur MCL-Region am medialen Epikondylus). Wymenga et al. (31) und Flandry et al. (32) betonen zudem die enge funktionelle Kopplung an den Semimembranosus: Die PMC wird durch dessen Insertions- und Ausläuferzüge verstärkt, die in die posteromediale Kapselregion und die hintere Kapsel einstrahlen und so die Stabilität bzw. die Spannung des posteromedialen Komplexes mitbeeinflussen.

Die posterolaterale Gelenkkapsel ist kein isoliertes Band, sondern ein Teil des komplexen kapsuloligamentären Verbunds der posterolateralen Knie-Region und bildet zusammen mit angrenzenden kapsulären Verstärkungen und extrakapsulären Bändern eine wesentliche statische Stabilisierungseinheit der lateralen Kniehälfte. Die anatomische Ausprägung der posterolateralen kapsulären Strukturen ist dabei variabel. Einzelne Verstärkungsbänder wie das Lig. arcuatum popliteum oder das Lig. fabellofibulare können vorhanden sein oder fehlen, was die Beschreibung und Standardisierung erschwert. (33) Dem gegenüber stehen die Ergebnisse von LaPrade et al. (34), die das Lig. fabellofibulare als konstant beschreiben. Quantitative Präparationsdaten von LaPrade et al. (34) zeigen, dass posterior-kapsuläre Strukturen über faszielle und kapsuläre Kontinuitäten mit lateralen

Kapselanteilen verbunden sind. Besonders relevant ist die meniskofemorale Portion der posterolateralen Gelenkkapsel am Femur, die als definierter Ansatzbereich für dorsale Kapselverstärkungen dient. In diesem Kontext ist das Ligamentum popliteum obliquum (oblique popliteal ligament, OPL) als großflächige dorsale Kapselverstärkung zu verstehen, die lateral nicht an der dorsalen Fläche des lateralen Femurkondylus, sondern konsistent an der meniskofemorale posterolateralen Kapsel, zusätzlich in Beziehung zu Fabella, inseriert. Zusätzlich wurde ein distolateraler, tibialer OPL-Ansatz entlang des lateralen Randes der posterioren Kreuzband-Insertion beschrieben, was eine feste Verankerung des dorsolateralen Kapselapparats an der Tibia plausibilisiert. Das Ligamentum popliteum obliquum ist als breitflächige Verstärkung der dorsalen Kniegelenkkapsel ausgebildet und entsteht an der medialen Kniehinterseite aus einer strukturellen Konfluenz. Ausgangspunkt ist dabei eine laterale Expansion der Semimembranosus-Sehne, die in die dorsale Kapsel einstrahlt und sich mit kapsulären Faserzügen des posteromedialen Kapselapparats verbindet. Aus dieser medialen Ursprungsregion entwickelt sich das LPO zu einem kräftigen, fächerförmig verbreiterten Band, das in schräger Richtung nach lateral über die dorsale Kapsel hinwegzieht und den posterioren Gelenkabschnitt überbrückt. Durch diesen schrägen Verlauf nimmt es eine verbindende Stellung zwischen dem posteromedialen und posterolateralen Kapselanteil ein und bildet damit eine zentrale Kontinuität innerhalb des dorsalen kapsuloligamentären Verbunds. (34) Amis et al. (33) beschreiben das Lig. arcuatum popliteum im Zusammenhang der posterolateralen kapsulären Verstärkungsstrukturen und nicht als in jedem Kniepräparat konstant und eindeutig separierbares Einzelband. Seine anatomische Einordnung erfolgt daher am zweckmäßigsten über die topographische Beziehung zu den stabilen Leitstrukturen der lateralen Kniehälfte. Demnach ist es Teil des kapsuloligamentären Verbunds, der am lateralen Femurkondylus in einem Bereich posterior des lateralen Kollateralbands ansetzt. Von dieser femoralen Verankerungszone ziehen die Faserzüge in einem schräg nach distal und posterior gerichteten Verlauf in Richtung der posterolateralen Tibia- und Fibularegion und stehen dabei in Kontinuität mit der dorsalen Gelenkkapsel beziehungsweise gehen in diese über. Funktionell relevant ist das Spannungsverhalten dieses posterolateralen Kapselapparats: Die Fasern sind in strecknahen Gelenkstellungen deutlich gespannt und nehmen mit zunehmender Knieflexion an Spannung ab. Durch die posterior geneigte Orientierung von femoral nach distal ist der Faserzug des Lig. arcuatum popliteum biomechanisch so ausgerichtet, dass er

insbesondere in Extension zur Begrenzung der tibialen Außenrotation und, abhängig von der Gelenkstellung, auch zur Kontrolle posterior gerichteter tibialer Bewegungen beitragen kann. (33)

Das Ligamentum fabellofibulare ist eine posterolaterale, in den kapsulären und faszialen Verbund eingebettete Bandstruktur des Kniegelenks und wird in der Literatur unter anderem als distale Begrenzung des kapsulären Anteils des Caput breve des M. biceps femoris beschrieben. In der anatomischen Untersuchung von LaPrade et al. (34) ließ sich ein entsprechendes Fabellofibularband in allen untersuchten Kniepräparaten bereits im Rahmen der oberflächlichen Präparation identifizieren, was auf eine gute Darstellbarkeit bei standardisiertem Präparationsvorgehen hinweist. Topographisch liegt es im posterolateralen Kapselkomplex und steht in enger Beziehung zur Fabella sowie zu benachbarten Strukturen der dorsalen Gelenkkapsel. In dieser Region besteht eine gemeinsame Ansatz- und Übergangszone posteriorer Strukturen: Die proximolaterale Anheftung des Lig. popliteum obliquum erfolgt nach LaPrade et al. (34) unter anderem in Verbindung mit der Fabella und bildet damit funktionell eine Ansatzregion, in der auch das Lig. fabellofibulare sowie kapsuläre Anteile des Caput breve des M. biceps femoris zusammentreffen. Damit ist das Lig. fabellofibulare weniger als isoliertes Einzelband zu verstehen, sondern als Bestandteil eines überlappenden kapsulär-faszialen Stabilisatorennetzwerks der dorsalen bzw. posterolateralen Knieabschnitte.

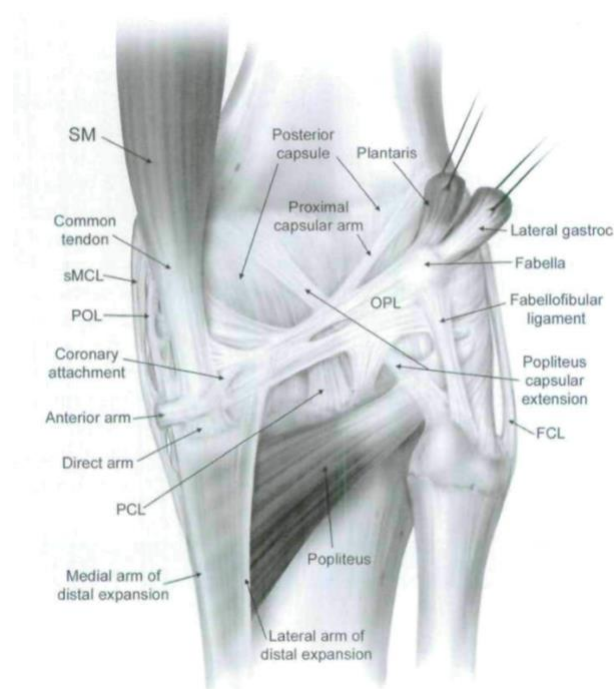


Abbildung 5: Dorsaler Kapselkomplex eines rechten Knies (34)

1.1.2 Extrakapsuläre Bänder

Zu den extrakapsulären Bändern werden die beiden Seitenbänder, das Lig. collaterale mediale und das Lig. collaterale laterale, sowie das Lig. patellae gezählt.

Das mediale Seitenband wird als ein Komplex aus einem oberflächlichen Anteil (sMCL, superficial medial collateral ligament), aus einem tiefen Anteil (dMCL, deep medial collateral ligament) und dem POL (posterior oblique ligament) beschrieben. (35,36)

Das sMCL entspringt am medialen Femurepikondylus und verläuft direkt und ohne direkte Beziehung zur Gelenkkapsel nach distal zur Tibia. Tibial zeigt es zwei relevante Anheftungsbereiche: einen dichten, knöchernen distalen Ansatz im Bereich des medialen Tibiakondylus, der überwiegend linear ist und sich im Mittel von 42-71 mm distal der Tibiaplateau-Ebene erstreckt, sowie zusätzlich einen proximalen tibialen Ansatz um den anterioren Arm der Semimembranosus-Sehne. (16,32,35)

Das dMCL ist dem kapsulären Bandapparat zuzuordnen, liegt unterhalb des sMCL und ist auf Höhe der Gelenklinie als eigene Struktur klar abgrenzbar. (35,36) Wierer et al. (36) unterteilen das dMCL in einen meniskofemorale und einen meniskotibiale Anteil. Beide verstehen sich als eine Verstärkung der Gelenkkapsel und laufen intrakapsulär. Die femorale Insertion des dMCL befindet sich relativ zum medialen Femurepikondylus im Mittel 6 mm distal und 5 mm posterior. Von der femoralen Ansatzregion verläuft das dMCL anterodistal und zeigt nach distal eine Auffächerung nach anterior, woraus eine breite anteromediale tibiale Insertion resultiert. Diese tibiale Insertion liegt etwa 8 mm unterhalb des Tibiaplateaus. (35) Zwischen diesen Strukturen und dem sMCL können Schleimbeutel interponiert sein, weshalb das sMCL als zumindest teilweise extrakapsulär anzusehen ist. (32)

Als dritten Anteil des medialen Seitenband-Komplexes ist das POL (posterior oblique ligament) zu nennen. Es handelt sich hierbei um ein klar abgrenzbares Band im Bereich der posteromedialen Kapsel und befindet sich direkt posterior des sMCL: Die vordere Begrenzung des POL entspricht dem Hinterrand des sMCL. Die Grenze zwischen diesen beiden Bändern wird vor allem über den unterschiedlichen Faserverlauf und die Spannung bei verschiedenen Bewegungen identifiziert. (35,36) LaPrade et al. (37) und Wierer et al. (36) beschreiben das POL als Fortsetzung des Semimembranosus-Komplexes, welche aus einem oberflächlichen Arm, einem zentralem Arm und einem kapsulärem Arm besteht. Femoral inseriert das Band dorsal und etwas proximal des medialen Femurepikondylus.

Das POL zieht postero-distal und setzt am posteromedialen Rand nur wenige Millimeter distal des Tibiaplateaus, posterior des dMCL, an. (35)

Funktionell stabilisiert der mediale Seitenband-Komplex (v. a. das sMCL, ergänzt durch dMCL und POL) das Knie primär gegen Valgusstress und kontrolliert zusätzlich rotatorische Belastungen der Tibia über den gesamten Flexionsbereich. Das dMCL trägt insgesamt nur gering zur Stabilität bei, unterstützt aber insbesondere die Kontrolle der Außenrotation aufgrund seines schräg anterodistalen Faserverlaufs. Das POL ergänzt die posteromediale Stabilität, hemmt vor allem die tibiale Innenrotation und wirkt nahe der maximalen Extension als schwacher zusätzlicher Stabilisator gegen anteromediale Translation und Außenrotation. (35,36)

Da die Insertionsstelle des Innenbandes am Epicondylus medialis femoris oberhalb und hinter der transversalen Bewegungsachse des Kniegelenkes liegt, tritt diese bei Beugung tiefer und entspannt somit das mediale Seitenband. Dadurch wird in Beugstellung eine geringe Abduktion in der Saggitalebene und Rotation um die Unterschenkellängsachse ermöglicht. (16,17)

Das im Querschnitt rund-ovale Lig. collaterale laterale ist durch lockeres Bindegewebe von der Gelenkkapsel getrennt, verläuft somit extrakapsulär und ist daher, im Gegensatz zum dMCL nicht mit dem Außenmeniskus verwachsen. Es zieht vom lateralen Femurepikondylus schräg nach dorsal-kaudal zum Fibulakopf. Bei Streckung ist das Außenband gespannt, bei Beugung im Kniegelenk entspannt. Funktionell verhindert es ein laterales Aufklappen und begrenzt die Außenrotation. Bei Varusstress im Rahmen einer Untersuchung des Gelenkes ist das Außenband meistens durch die Haut tast- oder gar sichtbar. (16,17)

Das Lig. patellae bildet die Fortsetzung des M. quadriceps femoris. Es hat seinen Ursprung am Apex patellae und zieht nach distal zur Tuberositas tibiae. In seinem Verlauf ist es von der Gelenkkapsel durch die subtendinöse Bursa infrapatellaris getrennt und verläuft somit extrakapsulär. Die Patellarsehne besteht aus einer oberflächlichen Schicht, die in das mediale und laterale Retinaculum übergeht, und aus einer tiefen Schicht als Teil des Streckapparates. (16,32) Die antero-mediale Kapselregion lässt sich in ein dreischichtiges System gliedern mit superfiziell dem medialen Retinaculum, in der intermediären Schicht dem sMCL (superficial medial collateral ligament), POL (posterior oblique ligament) und MPFL (medial patellofemoral ligament) sowie in der tiefen Schicht dem tiefen Anteil des MCL und der Gelenkkapsel. Das mediale Retinaculum stellt eine Verdickung der Faszie

des M. vastus medialis dar und fungiert als oberflächlicher Stabilisator. Ohne klar abgrenzbaren femoralen Ursprung zieht es nach distal an die Tibiavorderseite. Histologisch findet sich in den Retinacula eine höhere Dichte an Nervenfasern im Vergleich zu Ligamenten, wobei im medialen Retinaculum mehr als im lateralen nachgewiesen wurden. Zusätzlich wird ein höherer Anteil von elastischen Fasern beschrieben. (27,32)

Die oberflächlichste Schicht der antero-lateralen Kapselregion bildet analog zur medialen Seite das laterale Retinaculum, welches Fasern des Tractus iliotibialis, die zur Patella ziehen, enthält. Diese Fasern werden als iliopatellare Fasern oder Lig. iliopatellare beschrieben. In der intermediären Schicht finden sich das laterale Kollateralband sowie das laterale patellofemorale Ligament (LPFL), welches am lateren Femurepikondylus entspringt, verläuft anterodistal in einem parallelfaserigen Bündel zu den oberen zwei Dritteln des lateralen Patellarandes. Funktionell verhindert es eine Dislokation der Patella nach medial. (27,30,32)

1.1.3 Kreuzbänder

Die Kreuzbänder befinden sich im Bereich der Fossa intercondylaris und im Zentrum der Drehachsen des Kniegelenkes. Sie liegen intrakapsulär, jedoch extraartikulär, zwischen der Membrana fibrosa und der Membrana synovialis. Vorne und seitlich sind sie von der Synovialmembran überzogen. (19)

Durch die Faserarchitektur dieser Bänder sind in jeder Stellung des Kniegelenkes Teile von ihnen angespannt. Dies ist besonders in der Beugstellung relevant, da hier der restliche Bandapparat im entspannten Zustand vorliegt. Die Kreuzbänder, vor allem das hintere, stellen hier die einzige ligamentäre Sicherung dar. Die Kreuzbänder dienen in erster Linie der Kontakterhaltung bei der in der Beugung durchgeführten Roll-Gleitbewegung, bei der sie eine Verschiebung zwischen Femur und Tibia in der Saggitalebene verhindern.

Weiters sind sie bei gestrecktem Knie vor allem die hinteren Kapselanteile und das hintere Kreuzband maximal gespannt und hemmen somit, gemeinsam mit dem Lig. popliteum obliquum, eine Hyperextension. Am gebeugten Knie sind Teile der Kreuzbänder gespannt, der restliche Bandapparat liegt entspannt vor. So erreicht das Kniegelenk in Beugung in der Longitudinalachse einen größeren Bewegungsumfang. Bei einer Innenrotation im gebeugten Knie wickeln sich die Kreuzbänder umeinander, bei einer Außenrotation verlaufen sie annähernd parallel. Daraus ergibt sich einer größerer Bewegungsumfang bei der Rotation nach außen als nach innen. (16,17,32)

Ligamentum cruciatum anterius

Das vordere Kreuzband (ACL) entspringt im Bereich der posterolateralen Fläche der Fossa intercondylaris femoris und zieht nach vorne und unten an die Area intercondylaris anterior tibiae. Historisch unterteilte man ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel, deren Spannung je nach Beugungsgrad im Kniegelenk variabel ist. So stellt sich eine vermehrte Spannung des anteromedialen Bündels in Extension und eine vermehrte Spannung des posterolateralen Bündels in Flexion ein. (16,32)

In einer neueren Arbeit von Śmigielski et al. (8) wird das ACL nicht mehr klar in ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel getrennte Struktur verstanden, sondern vielmehr als flaches, streifenartiges Gebilde. Vor allem im mittleren Verlauf zeigt sich das vordere Kreuzband eher abgeplattet als oval. Auffällig ist zudem eine natürliche Torsion

der Faserstruktur, bei der in Kniebeugung das Band ungefähr um 90° verdreht wirkt, während sich diese Verdrehung bei Streckung des Knies wieder weitgehend aufhebt. Der femorale Ansatzbereich wird als halbmondförmiger beschrieben. Seine vordere Begrenzung wird durch die laterale interkondyläre Leiste (Resident's Ridge) markiert, nach hinten hin bildet der hintere Gelenkrand des lateralen Femurkondylus die Grenze. Dabei besteht eine unmittelbare Kontinuität zur hinteren Kortikalis des Femurs. Hinsichtlich der Insertionsmorphologie werden ein direkter Ansatztyp unterschieden, bei dem die Fasern nahezu rechtwinklig in den Knochen einstrahlen und die Hauptlast aufnehmen, sowie ein indirekter Typ mit fächerförmiger Ausbreitung und vergleichsweise geringerer struktureller Festigkeit. Am Schienbein wird die Insertionsfläche überwiegend als C-förmig beschrieben. Topografisch erstreckt sich der tibiale Ansatz entlang der lateralen Kante des medialen Tibiaplateaus bis in die Nähe des Vorderhorns des Außenmeniskus, dessen Befestigung in der Konkavität dieser C-Konfiguration liegt. Insgesamt verdeutlichen diese Befunde, dass das vordere Kreuzband eine komplexe, flach ausgeprägte Geometrie besitzt, deren Erscheinungsbild und Faserorientierung sich durch die physiologische Verdrillung in Abhängigkeit vom Beugegrad des Kniegelenks verändert. (38)

Funktionell verhindert das ACL die Translation der Tibia, vor allem in Flexionsstellung, gegenüber dem Femur nach ventral, stabilisiert das Knie bei Extension gegen eine Hyperextension und führt die tibiale Bewegung im Rahmen der Schlussrotation im Sinne einer Außenrotation. Die Innenrotation wird durch die Torquierung des vorderen Kreuzbandes um das hintere Kreuzband limitiert. (16,32)

1.1.3.1 Ligamentum cruciatum posterius

Das hintere Kreuzband (PCL) entspringt im Bereich der Area intercondylaris posterior tibiae und zieht nach vorne und oben zur anteromedialen Fläche der Fossa intercondylaris femoris. In älterer Literatur unterteilte man in einen posteromedialen und einen anterolateralen Faserzug, wobei ersterer straffer in Streckung und zweiterer gespannter in Beugung vorliegt. (16,32)

Das PCL wird aktuell nicht primär als Band mit zwei klar voneinander getrennten anatomischen Bündeln verstanden. Vielmehr beschreiben die Arbeiten von Cousin et al. (39) und Kato et al. (40) die Morphologie als ein schlankes, flaches, bandartiges

Kontinuum, ohne nachweisbare Spalt- bzw. Trennzone zwischen vermeintlichen Bündeln. Ergänzend wird das hintere Kreuzband als torquiert charakterisiert: Es setzt sich aus zahlreichen kleinen Faserzügen zusammen, die sich makroskopisch zu einer insgesamt verdreht wirkenden Bandstruktur organisieren. Je nach Blickrichtung und Einfluss benachbarter Strukturen kann dadurch der Eindruck mehrerer Bündel entstehen, ohne dass sich diese bei der Präparation tatsächlich zuverlässig voneinander separieren lassen. Querschnittsuntersuchungen zeigen mehrere miteinander verbundene Faserlagen, die nicht trennbar sind. Die Hauptfasern verlaufen überwiegend von posterolateral nach anteromedial und bilden etwa auf Höhe des medialen Meniskus eine bogenförmige C-Konfiguration. Diese wird als „Engstelle“ bzw. als gefaltetes Ende der flachen Bandstruktur interpretiert. Für die Beurteilung der femoralen Insertionsmorphologie ist zudem das anteriore Meniskofemoralligament bedeutsam, welches anterior des PCL verläuft. Es kann die distale Insertionsstelle des hinteren Kreuzbandes teilweise überdecken und damit die Wahrnehmung eines Doppelbündels begünstigen. (39,40) Funktionell stabilisiert das PCL das Knie vor allem in Streckung gegen dorsale Translationen der Tibia gegenüber dem Femur. (16,32)

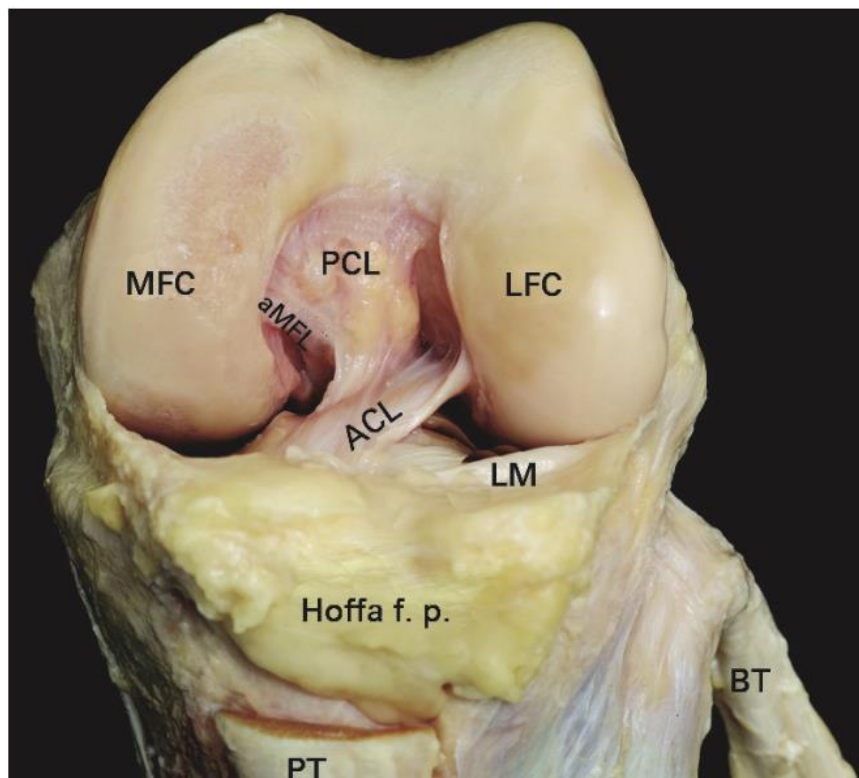


Abbildung 6: Kreuzbänder eines linken Knies von ventral (38)

Muskulatur des Kniegelenks

Das Kniegelenk wird nicht nur durch seinen starken Bandapparat stabilisiert, sondern benötigt zusätzlich eine aktive muskuläre Sicherung. Die Beugung des Gelenks wird durch die Streckmuskulatur, insbesondere den Musculus quadriceps femoris, kontrolliert. Dessen Drehmomente übertreffen die der gesamten Beugemuskulatur etwa um das Dreifache (ähnlich wie beim Hüftgelenk). (17)

Beim Gehen und Laufen müssen die Beugemuskeln lediglich den Unterschenkel anheben, während der Quadrizeps das Körpergewicht abfangen und stabilisieren muss.

Medial der Tuberositas tibiae vereinigen sich die Sehnen der Muskeln sartorius, gracilis und semitendinosus zur gemeinsamen Ansatzsehne des sogenannten Pes anserinus superficialis (lateinisch „Gänsefuß“, benannt nach der fächerförmigen Ausbreitung der Sehnenenden). Etwa 90 % der Beugekraft stammen von den Mm. semitendinosus, semimembranosus und biceps femoris, die zusammen die ischiokrurale Muskulatur bilden. Diese wirkt nicht nur auf das Knie-, sondern auch auf das Hüftgelenk. Aufgrund ihrer begrenzten Dehnfähigkeit kann bei gestrecktem Kniegelenk die Hüfte nicht vollständig gebeugt werden, ein typisches Beispiel für passive Insuffizienz. Hierbei verhindert die geringe Dehnbarkeit mehrgelenkiger Muskeln, dass alle betroffenen Gelenke gleichzeitig ihre Endstellung erreichen. Erst eine Kniebeugung führt zur Entspannung der ischiokruralen Muskulatur, sodass eine maximale Hüftbeugung möglich wird. Umgekehrt schränkt die begrenzte aktive Verkürzungsfähigkeit dieser Muskeln die maximale Beugung im Knie bei gestrecktem Hüftgelenk ein, ein Phänomen, das als aktive Insuffizienz bezeichnet wird. (17)

Der M. semimembranosus und das Caput breve des M. biceps femoris haben einen dynamischen Einfluss auf die hintere Kniegelenkscapsel. Der M. semimembranosus fungiert als dynamischer Stabilisator der posteromedialen Kniegelenkscapsel und weist fünf distale Ansatzarme auf. Der anteriore Ansatzarm steht in Verbindung mit dem Lig. collaterale mediale und verläuft zum Condylus medialis tibiae. Der direkte Ansatzarm zieht nach distal zum Tuberculum mediale tibiae. Der posteriore Ansatzarm bildet die kaudale Begrenzung des Lig. popliteum obliquum. Der kapsuläre Ansatzarm strahlt in die dorsale Gelenkkapsel ein, endet posterior des Hinterhorns des medialen Meniskus und trägt wesentlich zur Stabilität der posteromedialen Kapselstrukturen bei. Der distale Ansatzarm inseriert breit an der posteromedialen Tibia und verschmilzt mit der Fascia poplitea.

Die distalen Ansatzstrukturen des M. biceps femoris sind aponeurotisch gegliedert. Der Caput breve entspringt an der dorsalen Femurfläche sowie am Septum intermusculare laterale und inseriert über drei klinisch relevante Anteile: Ein kapsulärer Anteil setzt an der posterolateralen Gelenkkapsel und am Caput laterale des M. gastrocnemius an. Der direkte Anteil inseriert lateral am Processus styloideus fibulae. Ein anteriores Faserbündel zieht zur lateralen Tibia in Nähe des Tuberculum Gerdyi. Der lange Kopf entspringt am Becken am Tuber ischiadicum und inseriert mit seinem direkten Anteil am Caput fibulae und mit seinem vorderen Anteil, ebenso wie der des kurzen Kopfes, nahe des Tuberculum Gerdyi. Die distale Bizepssehne wird vom lateralen Seitenband durch eine kleine eingelagerte Bursa getrennt. (16,17,32)

Unterhalb der Ursprungsehne des Musculus popliteus liegt eine Schleimbeutelstruktur (Bursa m. poplitei), die mit der Gelenkhöhle in Verbindung steht und als Recessus subpopliteus eine dorsolaterale Ausstülpung der Gelenkkapsel bildet. (17)

Der in der folgenden Tabelle genannte M. quadriceps femoris wird in einen M. rectus femoris, M. vastus medialis, M. vastus intermedius und M. vastus lateralis unterteilt.

Muskel	Gruppe	Ursprung	Ansatz	Hauptfunktion am Knie	Innervation
M. quadriceps femoris (M. rectus femoris, M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. vastus intermed.)	Extensor	Spina iliaca ant. inf. (rectus femoris); Femur (Vasti)	Über Lig. patellae an Tuberositas tibiae	Extension im Kniegelenk	N. femoralis (L2-L4)
M. sartorius	Flexor (Pes anserinus)	Spina iliaca ant. sup.	Medial der Tuberositas tibiae	Flexion, Innenrotation bei gebeugtem Knie	N. femoralis (L2-L3)
M. gracilis	Flexor (Pes anserinus)	Ramus inferior ossis pubis	Medial der Tuberositas tibiae	Flexion, Innenrotation	N. obturatorius (L2-L3)
M. semitendinosus	Flexor (ischiokrural)	Tuber ischiadicum	Medial der Tuberositas tibiae	Flexion, Innenrotation bei gebeugtem Knie	N. tibialis (L5-S2)
M. semimembranosus	Flexor (ischiokrural)	Tuber ischiadicum	Condylus medialis tibiae	Flexion, Innenrotation, Kapselspannung	N. tibialis (L5-S2)
M. biceps femoris (Caput longum et breve)	Flexor (ischiokrural)	Tuber ischiadicum (longum); Linea aspera (breve)	Caput fibulae	Flexion, Außenrotation bei gebeugtem Knie	N. tibialis (L5-S2) (Caput longum); N. fibularis communis (S1-S2) (Caput breve)
M. popliteus	Flexor / Innenrotator	Condylus lateralis femoris	Tibia oberhalb der Linea musculi solei	Innenrotation des Unterschenkels („Enriegelung“ des gestreckten Knies)	N. tibialis (L4-S1)

Tabelle 1: Muskulatur des Kniegelenks (16,17)

Innervation des Kniegelenks

Die Nervenversorgung des Kniegelenks erfolgt durch sensible und motorische Fasern, die überwiegend aus dem Plexus lumbosacralis stammen. Dabei sind die Rückenmarkssegmente L2 bis S2 beteiligt. Die Hauptnerven, die an der Innervation beteiligt sind, sind der Nervus femoralis, der Nervus obturatorius, der Nervus tibialis sowie der Nervus fibularis communis. (16,17,32,41)

Die sensible Innervation der Gelenkkapsel ist komplex und stammt aus mehreren konstanten Nervenästen dieser Hauptnerven. Vom Nervus femoralis gehen Rami musculares des M. vastus medialis, M. vastus lateralis und M. vastus intermedius ab, die zur Gelenkkapsel ziehen. Besonders der Ast des M. vastus medialis, der sogenannte superomediale genikuläre Nerv, spielt eine zentrale Rolle bei der Versorgung der vorderen und medialen Kapselanteile. Der Nervus saphenus, ebenfalls ein Ast des N. femoralis, entsendet den Ramus infrapatellaris, der den vorderen und unteren medialen Kapselbereich sowie die Region der Haut unterhalb der Patella sensibel innerviert. (41)

Der Nervus obturatorius beteiligt sich ebenfalls an der sensiblen Versorgung. Sein vorderer Ast zieht durch den Adduktorenkanal und erreicht die mediale Gelenkkapsel, während der hintere Ast durch den M. adductor magnus verläuft und die hinteren, dorsomedialen Kapselanteile innerviert. Somit ist dieser Nerv besonders für die mediale und posteriore Kapsel von Bedeutung. (17)

Aus dem Nervus ischiadicus gehen noch vor seiner Aufteilung zwei wichtige sensorische Äste hervor: der Nervus genicularis superolateralis und posterioris. Der superolaterale Ast zieht unter dem M. biceps femoris zur lateralen Kapsel, während der posteriore Ast aus dem tibialen Anteil stammt und sich zum Nervus genicularis inferomedialis aufteilt, der die inferomediale Kapsel innerviert. Der Nervus tibialis selbst kann ein bis zwei zusätzliche Äste an die hintere Kapsel abgeben, während der Nervus fibularis communis über den Nervus genicularis inferolateralis die inferolaterale Kapsel und das anterolaterale Retinaculum versorgt. Insgesamt ergibt sich daraus eine klare topografische Organisation: Die vordere und mediale Gelenkkapsel wird vorwiegend durch Äste des N. femoralis und N. saphenus versorgt, die lateralen Bereiche durch den N. fibularis communis und den N. ischiadicus, und die hinteren Kapselanteile durch den N. tibialis sowie den hinteren Ast des N. obturatorius. Anatomische Studien konnten dabei fünf konstante sensorische Hauptäste

identifizieren: den superomedialen, superolateralen, infrapatellaren, inferomedialen und inferolateralen genikulären Nerv. (41)

Funktionelle Anatomie

Funktionell wird das Kniegelenk als Trochoginglymus, also als Drehscharniergelenk, bezeichnet. Es kombiniert die Funktionalität eines Scharniergelenks (Ginglymus) und die eines Drehgelenks (Articulatio trochoidea). So werden Bewegungen in der Transversalachse (Flexion und Extension) und der Longitudinalachse (Innen- und Außenrotation) ermöglicht. Die Extension und Flexion haben nach der Neutral-Null-Methode einen Bewegungsumfang von $0^\circ/(5-10^\circ)-0^\circ-150^\circ$. Die aktive Flexion wird durch aktive Insuffizienz der Beugemuskulatur oder, je nach Konstitution, durch Weichteilhemmung begrenzt. Die passive Flexion ist meist weiter möglich. Die Streckung wird durch den hinteren und seitlichen Bandapparat sowie durch die Kreuzbänder limitiert, sodass eine Streckung über die Neutral-Null-Position hinaus in der Regel nur bei Frauen und Kindern, aufgrund einer erhöhten Laxizität, bis etwa 10° möglich ist. Eine höhergradige Extension stellt eine Pathologie dar und wird als Genu recurvatum bezeichnet. Die Transversalachse verläuft hierbei durch die Gelenksrollen der Femurkondylen. Durch die sich im Verlauf der Flexion abnehmenden Krümmungsradien verschiebt sie sich bei zunehmender Beugung nach dorso-kranial, wobei die Evolute der Femurkondylen der Kurve entspricht, entlang derer das Zentrum der Krümmung wandert, während die Evolente die Bahn des Kontaktpunktes auf der Tibia beschreibt. Neben dem Abrollen der Femurkondylen nach posterior kommt es dabei zu einem Gleiten gegenüber dem Tibiaplateau nach anterior. Im Rahmen der Extension kommt es endgradig zu einer unwillkürlichen Anspannung des vorderen Kreuzbandes und darauffolgenden Außenrotation des Unterschenkels. In diesem Zustand der vollen Streckung sind die Kollateralbänder und Kreuzbänder maximal gespannt, wodurch der amuskuläre Stand, der Zustand einer ausreichenden Stabilisierung des Kniegelenks ohne muskuläre Anspannung, ermöglicht wird. Aufgehoben wird dies durch eine Innenrotation des Unterschenkels durch Zug des M. popliteus sowie durch die Mm. sartorius, semimembranosus und gracilis. (16,17,42–46)

Die Rotationsbewegungen im Kniegelenk erfolgen um die Longitudinalachse, die leicht nach medial versetzt ist und durch das Tuberculum intercondylare mediale tibiae verläuft. Die bei Streckung gespannten Kollateralbänder lassen eine Außen- und Innenrotation nur in flektiertem Zustand zu, in welchem sie entspannt sind und die nötige Bewegungsfreiheit gegeben ist. Die Einwärtsdrehung wird durch die zunehmende Torquierung der

Kreuzbänder umeinander auf rund 10° limitiert, während die Außenrotation bis etwa 30° reicht. Bewegungen um die Frontalachse im Sinne einer Add- und Abduktion werden durch die Seitenbänder fast vollständig gehemmt. (16,17,45)

Bei physiologisch ausgebildetem Knie findet sich ein gerades Bein, man spricht von einem Genu rectum. Dabei verläuft die Traglinie des Beines, auch mechanische Beinachse oder Mikulicz-Linie vom Hüftkopfbereich bis zur Mitte der Talus-Rolle. Im Knie verläuft die Achse etwa 4mm medial des Kniegelenkszentrums. Weicht die Traglinie nach lateral ab und verläuft durch den lateralen Femurkondylus und die laterale Tibia oder gar durch das Fibulaköpfchen, spricht man von einem Genu valgum (X-Bein). Hierbei ist das mediale Kollateralband überdehnt und der laterale Meniskus sowie der Gelenksknorpel des lateralen Gelenkkompartiments werden übermäßig beansprucht. Radiologisch zeigt sich eine Verbreiterung des medialen bzw. eine Verschmälerung des lateralen Gelenkspalts. Verläuft die Traglinie durch den medialen Femurkondylus oder weiter medial davon handelt es sich um ein Genu varum (O-Bein). Analog zum Genu valgum ist beim O-Bein das laterale Seitenband überdehnt und das mediale Kompartiment mit Meniskus und Knorpel stärker belastet. (16,17,45)

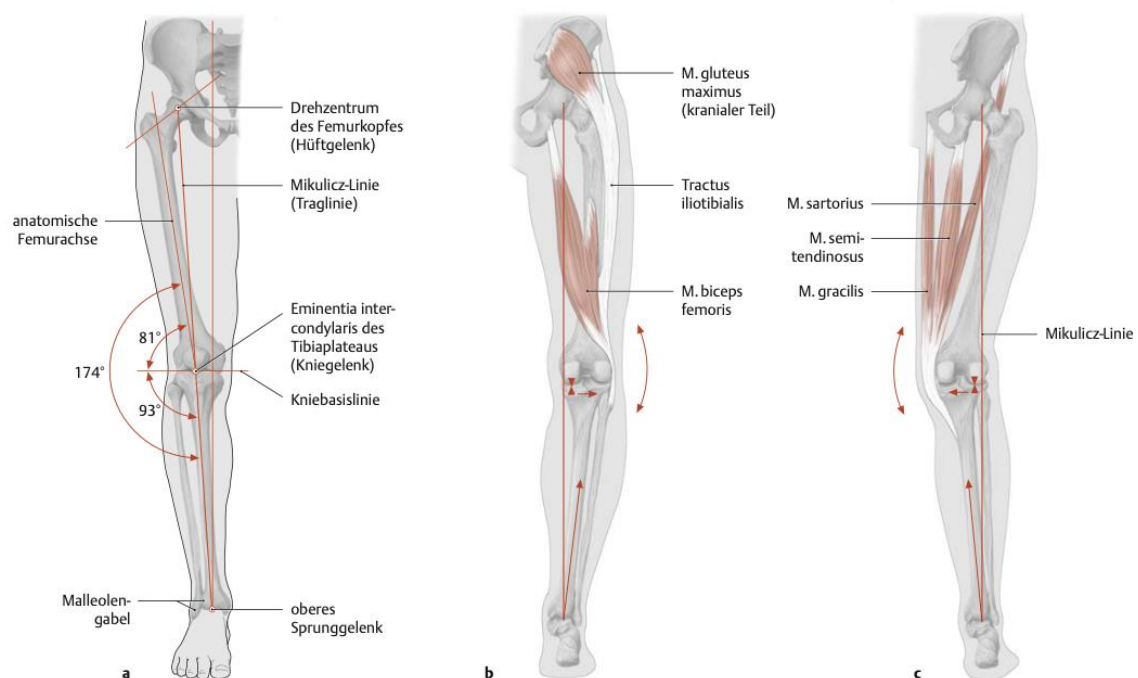


Abbildung 7: Mikulicz-Linie bei a) Genu rectum b) Genu varum c) Genu valgum (18)

Gonarthrose

Die Kniegelenksarthrose ist eine chronisch-degenerative Erkrankung und ist durch eine fortschreitende Degeneration bis zum Verlust von Gelenksknorpel und daraus entstehenden Veränderungen aller beteiligten Gelenksstrukturen (Knochen, Bänder, Menisci, Synovialmembran, Muskulatur) charakterisiert. Als Leitsymptome stehen Schmerzen und Steifigkeit des Gelenks mit resultierender Einschränkung der alltäglichen Lebensqualität. (1–3)

Epidemiologie

Die Arthrose ist die häufigste Gelenkserkrankung des Erwachsenenalters weltweit. Etwa ein Drittel aller Erwachsenen hat radiologische Zeichen von arthrotischen Veränderungen in einem großen Gelenk (Hand, Hüfte, Knie und Fuß). Den größten Anteil hiervon stellt die Gonarthrose mit insgesamt 6% der Erwachsenen dar. (1) Für Mitteleuropa ermittelten Ren et al. (4) eine Jahresinzidenz im Jahr 2021 von 529220 Fällen. Das entspricht einer altersstandardisierten Inzidenzrate von 282,04 pro 100000 Einwohnern. In Österreich sind diese Zahlen im gleichen Jahr deutlich höher: die Jahresinzidenz betrug 2021 51703 Fälle, was einer Inzidenzrate von 355,39 pro 100000 Einwohnern entspricht.

Die Prävalenz steigt mit zunehmendem Alter erheblich an, wobei ab dem 60. Lebensjahr etwa 30% unter einer Arthrose leiden, ab dem 70. Lebensjahr wächst dieser Anteil sogar auf über 40% an. Geschlechterspezifisch leiden Frauen häufiger und, wie eine Metaanalyse von Srikanth et al. (5) zeigt, unter einer schwereren Kniegelenksarthrose als Männer. Der Grund hierfür ist jedoch weitgehend unbekannt. Als potenzielle Grund hierfür werden Kombination aus hormonellen Veränderungen nach der Menopause und einer damit einhergehenden Verschlechterung der Knorpelstruktur diskutiert. (1,2,6)

Michael et al. (1) zeigen allerdings einen klaren Unterschied zwischen einer rein radiologisch diagnostizierten Arthrose und einer klinisch symptomatischer Arthrose mit deutlich kleinerem Anteil auf (15%). Auch Sharma (2) betont eine Diskordanz zwischen Bildgebung und der tatsächlichen Klinik. Die Epidemiologie hängt also davon ab, ob rein radiologisch oder klinisch definiert wird. (1,2)

Ätiologie und Pathogenese

Allgemein lässt sich sagen, dass eine Arthrose durch ein Ungleichgewicht von Belastung und Belastungsfähigkeit entsteht. Bei der primären idiopathischen Arthrose ist die Ätiologie unbekannt, die sekundäre Arthrose entwickelt sich jedoch aus Präarthrosen, deren Ursachen bekannt und nachweisbar sind. Zusätzlich betont Michael et al. (1) eine genetische Komponente, die zur Arthrose führen kann. Die Auslöser von präarthrotischen Veränderungen sind etwa statische Fehlstellungen wie Genu valgum und Genu varum mit daraus resultierenden Überlastungsschäden, Übergewicht, posttraumatische Veränderungen (Knorpeldefekte, Fehlbelastungen bei Instabilität, Frakturen), Gelenkentzündungen, metabolische und endokrine Erkrankungen (Gicht, Diabetes mellitus, Chondrokalzinose, u.a.) sowie angeborene Gelenksfehlbildungen (z.B. Hüftgelenksdysplasie). Die Arthrose zeigt meist einen progredienten Verlauf. (1–3,7,47)

In der Pathogenese der Arthrose spielen mechanische und biochemische Faktoren eine Rolle. Vor allem bei Übergewicht handelt es sich um ständig wieder auftretende Mikrotraumata. Es kommt kompensatorisch zu einer gesteigerten Proteoglykansynthese der Chondrozyten, die mit zunehmender Dauer dekompenziert. Daraus folgend kommt es zur Destruktion und Degeneration von Knorpelzellen sowie einem Verlust von Matrixmolekülen. Dieser Elastizitätsverlust des Gelenksknorpels bewirkt die Entstehung von Fibrillationen der Knorpeloberfläche, die sich im weiteren Verlauf zu tiefen Fissuren entwickeln können. Die so freigesetzten Proteasen aus Chondrozyten beschleunigen die Knorpeldestruktion weiter. Durch den so stattfindenden zunehmenden Knorpelabbau kann eine Synovialitis resultieren, die durch zusätzliche Freisetzung lytischer Enzyme den Knorpelabbau vorantreibt. Es kommt zu einem Ungleichgewicht zwischen pro- und anti-inflammatorischen Zytokinen zugunsten der Inflammation. Die Knorpelveränderungen führen zu unphysiologischer Kraftverteilung über die Gelenksflächen, es kommt zu neu aufgetretenen Scher- und Schubkräften, die der Knochen durch Anbau von Osteo- und Exophyten auszugleichen versucht. Durch den progredienten Verlauf nimmt die Knorpelsubstanz immer weiter ab, die kraftaufnehmenden Areale werden immer kleiner. Unter diesen maximal beanspruchten Flächen kommt es zur Zurückbildung des subchondralen Knochengewebes mit Bildung, für die Arthrose typische, subchondraler Zysten. Diese Prozesse können oft jahrelang symptomarm bis symptomlos verlaufen. Beschleunigt sich der Verlauf, etwa durch ein Trauma, kann sich die vorerst symptomarme

Erkrankung plötzlich klinisch bemerkbar machen. Kommt es zur reaktiven Entzündung der Synovialmembran mit Erguss- und Entzündungszeichen, spricht man von einer aktivierten Arthrose. Andernfalls können auch subchondrale Zysten einbrechen und als subchondrale Knochennekrose symptomatisch werden. (3,7,47,48)

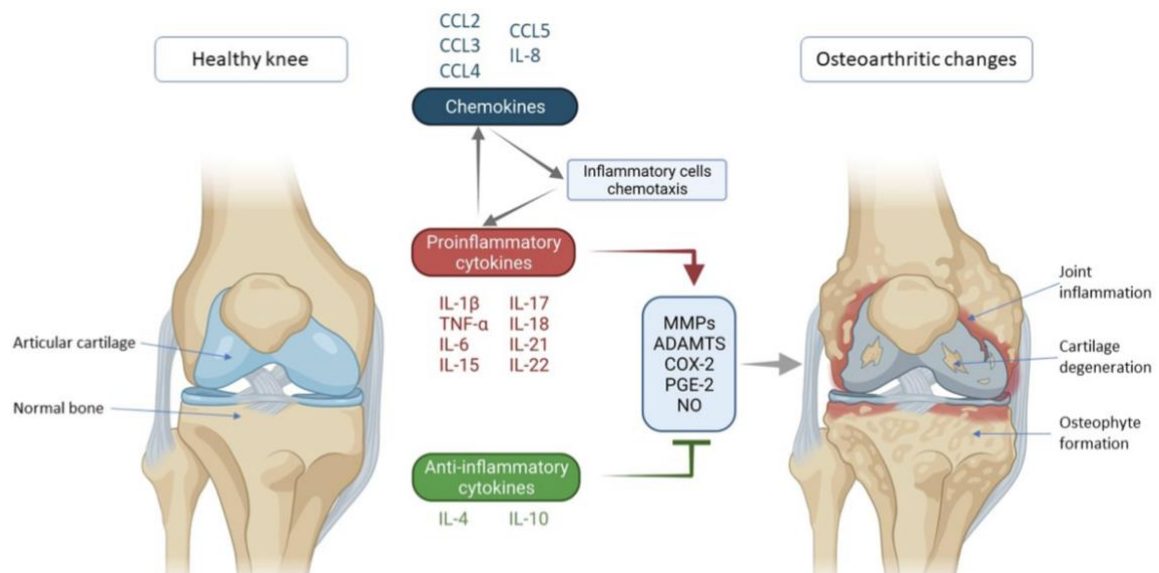


Abbildung 8: Schematische Darstellung der inflammatorischen Reaktion bei Gonarthrose (48)

Klinik und Diagnostik

Die Hauptsymptome der Gonarthrose sind in erster Linie Schmerzen, zunehmende Deformitäten und Bewegungseinschränkungen bis hin zum Funktionsverlust des Gelenks. Typisch sind zunächst belastungsabhängige, dumpfe Schmerzen im Knie, etwa beim Gehen oder Treppensteigen, häufig kombiniert mit einem Anlaufschmerz nach Ruhephasen, welcher sich nach kurzer Bewegung des Kniegelenks bessert. Im Anfangsstadium können die Schmerzen auch in einiger Entfernung vom Gelenk auftreten, sodass eine eigentliche Gonarthrose fälschlicherweise als rheumatoides Beschwerdebild eingeordnet wird. Explizite Schmerzen beim Treppensteigen deuten möglicherweise auf eine Retropatellararthrose hin. Im Verlauf können sich konstante Bewegungs- und schließlich auch Ruhe- und Nachtschmerzen entwickeln. Parallel dazu nehmen funktionelle Einschränkungen zu: Das Spektrum reicht von einem Schongang über Schwierigkeiten beim An- und Auskleiden oder Treppensteigen bis hin zu relevanten Alltagsbehinderungen. Durch die eingeschränkte Beweglichkeit kann es zur Muskelatrophie kommen. Daraus kann eine Instabilität mit Bandlockerung hervorgehen, welche als Schlottergelenk bezeichnet wird. Auch eine spontane Ankylose, also Versteifung, ist möglich. Klinisch finden sich bei der nicht aktivierten Arthrose häufig eine eingeschränkte Flexion und/oder Streckung, gelegentlich eine Flexionskontraktur, Krepitationen bei Bewegung sowie knöcherne Verdickungen und Achsabweichungen (Varus- oder Valgusfehlstellung, Genu Recurvatum). Nicht selten zeigt sich eine muskuläre Atrophie von Ober- und/oder Unterschenkel. Kommt es zu einer aktivierten Arthrose, treten zusätzlich Überwärmung, Schwellung und Gelenksergüsse auf; periartikuläre Schwellungen wie präpatellare Bursitiden oder eine Baker-Zyste können hinzukommen. Die Baker-Zyste ist eine dorsale Aussackung der Kniegelenkscapsel zwischen dem M. semimembranosus und dem M. gastrocnemius. Sie ist etwa ab einem Durchmesser von 2cm palpabel. Klinisch präsentiert sich die Baker-Zyste als fluktuierende Schwellung in der Kniekehle, die besonders bei Flexion im Knie zu Druckbeschwerden führt. Bei ausgeprägten Befunden besteht die Gefahr der Behinderung des venösen Rückstromes und geht somit mit einem erhöhtem Thrombose-Risikos einher. Des Weiteren können Parästhesien durch Nervenkompression auftreten. Die definitive Diagnose einer Baker-Zyste erfolgt sonografisch oder mittels MRT. Ausgeprägte Rötung, starke Überwärmung und deutliche Entzündungszeichen sollten differentialdiagnostisch hingegen

an andere Ursachen wie septische oder kristallinduzierte Arthritiden (z.B. Arthritis urica) denken lassen. (1,2,7,47)

Die Diagnostik setzt sich aus der Anamnese und der klinischen Untersuchung des Gelenks zusammen, in den meisten Fällen reicht dies zur Diagnosestellung aus. (2)

Im Rahmen der Inspektion ist auf die Beinachsen sowie etwaige Bewegungseinschränkungen zu achten. Bei der manuellen Untersuchung des arthrotischen Kniegelenks findet sich unter Umständen Druckschmerz über dem Gelenksspalt, Krepitationen bei der Bewegungsprüfung, Muskelatrophie des Ober- und Unterschenkels, damit einhergehende zunehmende Laxizität der Kollateralbänder und progrediente Instabilität des Gelenks. Eine CT- oder MRT-Untersuchung sowie Labortests und eine Punktion mit Synovialanalyse sind nur in seltenen Fällen zum Ausschluss von Differentialdiagnosen indiziert. (2,7,8,47)

Zur Bestätigung der Diagnose gehört die radiologische Diagnostik mittels konventionellem Röntgen im anterior-posterioren und seitlichen Strahlengang im Stehen unter Belastung des Kniegelenks sowie eine tangentielle Aufnahme der Patella zum Goldstandard. Clar et al. (49) zeigten jedoch, dass die Rosenberg-Aufnahme (posteroanteriore Aufnahme unter Gewichtsbelastung und in 45° Flexion) der herkömmlichen anteroposterioren Aufnahme, vor allem im medialen Kompartiment, überlegen ist. Hierbei kommt es zu einer besseren Darstellung der hinteren Femurkondylen, an welchen degenerativen Veränderungen häufig beginnen. Die konventionelle anteroposteriore Aufnahme unterschätzt häufig den Schweregrad der Arthrose, besonders bei Kellgren&Lawrence Grad 2-3.

Wie Michael et al. (1) zeigten, besteht zwischen der Symptomatik und des radiologischen Bildes keine zwingende Korrelation. So kann etwa bei ausgeprägtem radiologischem Befund nur eine dezente Klinik bestehen, und umgekehrt.

Typische radiologische Zeichen der Gonarthrose sind Gelenksspaltverminderung, subchondrale Sklerosierung des Knochens, subchondrale Zysten bis zur Knochennekrose, osteophytäre Anbauten und Deformierung. Die radiologische Einteilung der Kniegelenksarthrose erfolgt nach Kellgren und Lawrence in fünf Grade (siehe Tabelle 2). (7,47)

Grad	Morphologie
0	Gelenksspalt normal weit
1	Geringe Verschmälerung des Gelenksspalts, geringe subchondrale Sklerosierung
2	Geringe Verschmälerung des Gelenksspalts, Osteophyten vorhanden
3	Gelenksspaltverschmälerung, ausgeprägte Osteophytenbildung, Unregelmäßigkeiten der Gelenksfläche
4	Kein Gelenksspalt vorhanden, Destruktion der Gelenkspartner, Fehlstellung

Tabelle 2: Radiologische Klassifikation der Gonarthrose nach Kellgren&Lawrence (7)



Abbildung 9: Gonarthrose (Eigenaufnahme)

Therapie

Die Behandlung der Gonarthrose folgt einem multimodalen Konzept und schließt nicht-medikamentöse, medikamentöse und operative Behandlungsoptionen ein. Generell sollte die konservative Therapie vollends ausgeschöpft werden, bevor mit der Planung und Durchführung einer operativen Behandlung begonnen wird. Das Ziel ist die Progredienz der Arthrose zu verlangsamen sowie die Besserung der symptomatischen und funktionellen Beschwerden der Patientinnen und Patienten. Eine adäquate Therapie ist dann vorliegend, wenn die PatientInnen und die behandelnden ÄrztInnen das Zusammenspiel von Symptomkontrolle, Funktion und Nebenwirkungen der Therapie als zufriedenstellend einstufen. Bei unzureichender Zufriedenstellung ist eine Anpassung der Therapie, oder eine Eskalation der Therapie von Nöten. (2,8)

1.1.4 Nicht-medikamentöse Therapie

Die Patientenedukation stellt den ersten Schritt der Prävention als auch der Therapie im Anfangsstadium einer Kniegelenksarthrose dar. Zentrale Elemente sind eine verständliche Information über Krankheitsentstehung, Verlauf und Prognose der Gonarthrose sowie über sinnvolle und schädliche Belastungen, in erster Linie beruflich bedingtes langes Stehen, Hocken oder Knien sowie Sprungsportarten, im Alltag. Dazu gehört auch, gemeinsam realistische Therapieziele festzulegen und konservative wie operative Optionen zu besprechen („shared decision making“). Ergänzend werden strukturierte Selbstmanagement-Programme empfohlen, die Patientinnen befähigen, aktiv mit ihrer Erkrankung umzugehen, z. B. durch individuelle Strategien zur Schmerzbewältigung, Bewegungsplanung und Physiotherapie, Gewichtsreduktion bei Übergewicht und den Umgang mit Angst vor Belastung. Besonders wirksam ist die Kombination von Edukation mit Bewegungstherapie und verhaltensbezogenen Interventionen, weil sie langfristig die Therapieadhärenz, das Aktivitätsniveau und damit letztlich Schmerzen, Funktion und Lebensqualität verbessert. (8,50,51)

Allgemeine regelmäßige körperliche Aktivität ist ein Kernbestandteil der nicht-medikamentösen Therapie. Empfohlen wird eine regelmäßige, an die individuelle Belastbarkeit angepasste körperliche Aktivität, orientiert an den WHO-Empfehlungen: idealerweise mehrere Einheiten moderater Ausdauer- und Kraftbelastung pro Woche,

wobei bereits geringere Umfänge (z. B. ab etwa 45 Minuten moderater Aktivität pro Woche) einen Nutzen bringen können. Im Vordergrund stehen strukturierte Übungsprogramme an Land mit Ausdauertraining (z. B. Gehen, Radfahren), gezieltem Krafttraining, insbesondere der hüft- und kniestabilisierenden Muskulatur, vor allem des M. quadrizeps femoris, sowie neuromotorischen Inhalten wie Gleichgewichts-, Koordinations- und Propriozeptionstraining. Mind-Body-Verfahren wie Tai Chi und Yoga können ergänzend Schmerzen, Funktion und psychisches Wohlbefinden günstig beeinflussen. Die Leitlinien betonen, dass diese Programme möglichst unter fachlicher Anleitung beginnen sollten, mit schrittweiser Steigerung von Dauer und Intensität und dem Hinweis, dass ein gewisser, zeitlich begrenzter Schmerzanstieg während oder kurz nach der Belastung vorkommen kann. Die Beschwerden sollten innerhalb von etwa 24 Stunden wieder abnehmen. Aquatische Bewegungstherapie bietet sich insbesondere bei ausgeprägter Belastungssensibilität oder Adipositas an. Betont wird, dass jede Gewichtsreduktion bei Übergewicht mit Annäherung an Normalgewicht einen positiven Einfluss auf die Schmerzentstehung, Funktionseinschränkung und Progredienz der Kniegelenksarthrose bringt. Eine Metaanalyse von Juhl et al. (52) zeigt, dass Übungsprogramme besonders wirksam sind, wenn sie sich klar auf ein Hauptziel (z. B. Ausdauer, Quadrizepskraft oder funktionelle Leistungsfähigkeit) fokussieren, regelmäßig (mindestens zwei- bis dreimal pro Woche) und überwiegend betreut durchgeführt werden sowie die erlernten Übungen anschließend langfristig selbstständig fortgeführt werden. (2,8,50–53)

Hilfsmittel zur Entlastung und Stabilisierung des Kniegelenks sollten immer nur ergänzend zur Bewegungstherapie eingesetzt werden. Gehstützen oder ein Stock können vor allem bei stärkerer Schmerzsymptomatik oder längeren Gehstrecken zur Entlastung des betroffenen Beins beitragen und werden in den Leitlinien als sinnvolle Option genannt. Beim Einsatz von Orthesen und Schuhzurichtungen ist die Leitlinie der Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) (8) eher zurückhaltend: Eine routinemäßige Verordnung wird nicht empfohlen; sie kommen vor allem dann in Betracht, wenn unter konsequenter Bewegungstherapie weiterhin relevante Beschwerden bestehen, eine ausgeprägte Instabilität, wie bei Schlottergelenk, oder Achsfehlstellung vorliegt oder im individuellen Fall eine funktionelle Verbesserung zu erwarten ist. Die amerikanische Leitlinie von Kolasinski et al. (50) bewertet insbesondere Entlastungsorthesen für das tibiofemorale Gelenk teils positiver und sprechen hier partiell starke Empfehlungen aus.

Tapes (z. B. Kinesio- oder Patella-stabilisierende Tapes) werden ebenfalls nicht als Standardtherapie angesehen, können aber im Einzelfall, etwa bei subjektivem Instabilitätsgefühl oder patellofemoraler Symptomatik, ergänzend erwogen werden, insbesondere wenn alleinige Bewegungstherapie nicht ausreichend wirkt. Insgesamt werden Hilfsmittel damit als individuell anzupassende Zusatzoptionen verstanden, die gezielt zur Schmerzlinderung, Verbesserung der Gelenkstabilität und Unterstützung der Mobilität eingesetzt werden, ohne die zentrale Rolle der aktiven Bewegungstherapie zu ersetzen. (8,50)

1.1.5 Medikamentöse Therapie

Die medikamentöse Therapie der Gonarthrose verfolgt primär ein symptomatisches Ziel: Schmerzen zu lindern und die Funktion zu verbessern; ein gesicherter strukturmodifizierender Effekt der gebräuchlichen Substanzen ist nicht belegt. Sie soll grundsätzlich immer in ein multimodales Behandlungskonzept eingebettet sein und nicht-medikamentöse Maßnahmen wie Gewichtsreduktion, Bewegungstherapie und gelenkschonende Alltagsanpassungen ergänzen, nicht ersetzen. Die Auswahl der Medikamente erfolgt individualisiert nach Schmerzstärke, funktionellen Einschränkungen, Alter, Komorbiditäten (insbesondere gastrointestinalen, kardiovaskulären und renalen Risiken), Begleitmedikation und Patientenpräferenz. Für alle eingesetzten Substanzen gilt das Prinzip, die niedrigste wirksame Dosis für den kürzest möglichen Zeitraum zu verwenden und den Nutzen-Risiko-Quotienten regelmäßig zu überprüfen. Insbesondere bei längerfristiger Einnahme systemischer Analgetika und NSAR werden Kontraindikationen, Interaktionen und Organtoxizitäten sorgfältig berücksichtigt, wobei eine stufenweise Eskalation der Pharmakotherapie und eine regelmäßige Reevaluation der Indikation vorgesehen sind. (1,2,8,50)

Nicht-steroidale Antirheumatika (NSAR) nehmen in der Pharmakotherapie der Gonarthrose eine zentrale Rolle ein und umfassen sowohl topische als auch orale Präparate. Topische NSAR gelten dabei als bevorzugte Erstlinientherapie am Knie, da sie in Metaanalysen, wie Sharma et al. (2) zeigen, eine mit oralen NSAR vergleichbare Wirksamkeit hinsichtlich Schmerzreduktion und Funktionsverbesserung zeigen, gleichzeitig aber deutlich weniger systemische Nebenwirkungen verursachen. Entsprechend empfehlen aktuelle Leitlinien, wie die der DGOU (8) und auch der ACR

(50), topische NSAR bei lokal begrenzter Kniegelenksymptomatik vorrangig einzusetzen und den Einsatz oraler NSAR erst dann zu prüfen, wenn eine topische Therapie nicht praktikabel, nicht ausreichend wirksam oder vom Patienten nicht gewünscht ist.

Orale NSAR stellen nach wie vor die wirksamste systemische medikamentöse Option dar, sind jedoch aufgrund ihres gastrointestinalen, kardiovaskulären und nephrotoxischen Risikoprofils nur nach sorgfältiger Nutzen-Risiko-Abwägung einzusetzen. Es wird empfohlen, orale NSAR in der niedrigsten wirksamen Dosis, über den kürzest-möglichen Zeitraum und vorzugsweise „bei Bedarf“ zu verordnen, nach vorheriger Erfassung relevanter Komorbiditäten und Basislabor (insbesondere der Nierenfunktion). Die Indikation sollte darüber hinaus regelmäßig reevaluiert werden. Bei bestehender kardiovaskulärer Vorerkrankung wird von einem Einsatz oraler NSAR weitgehend abgeraten. Insgesamt sind NSAR damit hochwirksame, aber potenziell nebenwirkungsreiche Bausteine der Therapie, deren Einsatz streng individualisiert und in ein multimodales Gesamtkonzept eingebettet erfolgen muss. (1,2,8,50)

Paracetamol hat in der aktuellen Pharmakotherapie der Gonarthrose nur noch einen sehr begrenzten Stellenwert. Die Leitlinie der DGOU (8) zeigt, dass Paracetamol weder eine klinisch relevante Schmerzlinderung noch eine signifikante Funktionsverbesserung bei Gon- und Coxarthrose bewirkt. Daher wird eine routinemäßige Behandlung von Patientinnen und Patienten mit Gonarthrose mit Paracetamol ausdrücklich nicht empfohlen. Ausnahmen bestehen lediglich für eine seltene, kurzfristige, eventuell zusätzliche, Einnahme zur Schmerzlinderung, wenn alle anderen pharmakologischen Optionen kontraindiziert, nicht verträglich oder unwirksam sind. Dabei sind potenzielle hepato-renale Nebenwirkungen zu berücksichtigen. (1,8,50)

Metamizol wird nur als Reservemedikament für starke Schmerzen eingeordnet. Es soll bei Gonarthrose nur dann eingesetzt werden, wenn andere analgetische Maßnahmen kontraindiziert oder nicht wirksam sind. Arthrose selbst stellt dabei keine primäre Indikation dar, da Metamizol keine entzündungshemmende Wirkung besitzt. Wegen seltener, aber potenziell lebensbedrohlicher Nebenwirkungen wie Agranulozytose, schweren allergischen Reaktionen bis zum anaphylaktischen Schock sowie ausgeprägten Blutdruckabfällen, insbesondere bei parenteraler Gabe, wird eine sehr sorgfältige Indikationsstellung gefordert. (8)

Opiode werden bei Gonarthrose nur als letzte Option und sehr zurückhaltend empfohlen. Unter den Opioiden wird ausschließlich Tramadol als therapeutische Option in Betracht gezogen, während der Einsatz anderer Opiode aufgrund einer ungünstigen Nutzen-Risiko-Abwägung, in erster Linie

Abhängigkeit und erhöhte Sturzgefahr, nicht empfohlen wird. Intraartikulär verabreichte Glukokortikoide können die Symptome für einen Zeitraum von einigen Wochen vorübergehend bessern. Ein regelmäßiger Einsatz wird jedoch nicht empfohlen, da er mit einem strukturellen Knorpelverlust verbunden sein kann. In einer Studie von McAlindon et al. (54), in der über zwei Jahre hinweg wiederholt intraartikuläre Glukokortikoid-Injektionen gegeben wurden, zeigte sich ein ausgeprägter Knorpelabbau als in der Vergleichsgruppe, die Kochsalzinjektionen erhielt. (1,8,50)

Eine Therapie der Gonarthrose mittels intraartikulärer Hyaluronsäure kann laut DGOU (8) und Rutjes et al. (55) nicht klar empfohlen werden, da keine klare Evidenz für einen Nutzen besteht. Eine Behandlung mit plättchenreichem Plasma (PRP) kann aus derzeitiger Sicht der DGOU nur in Einzelfällen, und nicht generell aufgrund von heterogener Datenlage und überwiegend niedriger Qualität, zurückhaltend empfohlen und erwogen werden, falls andere Optionen den gewünschten Effekt nicht ausreichend erzielen. (8)

1.1.6 Operative Therapie

Sind die konservativen Therapieoptionen ausgeschöpft und zeigen nur eine unzureichende Wirkung, so kann eine operative Sanierung des Kniegelenks in Betracht gezogen werden. Eine dezidierte Indikationsstellung zur operativen Therapie ist eine klinisch und radiologisch gesicherte Gonarthrose mit relevanter Schmerz- und Funktionseinschränkung. (1,8) Je nach Klinik, Ausprägung und Therapieziel kommen verschiedene Operationstechniken zum Einsatz. Es wird in eine gelenkserhaltende Therapie und die Endoprothetik unterschieden. Das Ziel der gelenksersetzenden operative Therapie der Gonarthrose, die vor allem bei fortgeschrittener, meist bi- oder trikompartimenteller Arthrose nach Ausschöpfung konservativer und gelenkerhaltender Maßnahmen zum Einsatz kommt, ist eine deutliche Schmerzreduktion, Funktionsverbesserung und Erhöhung der Lebensqualität. Vor Implantation einer Prothese wird großer Wert auf eine sorgfältige Indikationsstellung, eine umfassende präoperative Aufklärung sowie die Optimierung relevanter Risikofaktoren (z. B. Adipositas, Diabetes, Nikotinkonsum, psychische Komorbiditäten) gelegt, um Komplikationsrisiko und Outcome positiv zu beeinflussen. (1,2,8)

1.1.6.1 Arthroskopische und knorpelregenerative Therapien

Eine alleinige Arthroskopie mit Lavage und eventuellem zusätzlichem Debridement wird bei gesicherter Gonarthrose nicht empfohlen, da es an den arthrotischen strukturellen Veränderungen des Gelenks nichts ändert. Darüber hinaus ist der schmerzlindernde Effekt meist nur kurzfristig vorhanden. Für knorpelregenerative Behandlungen, wie autologe Chondrozytentransplantation oder osteochondrale Transplantate, kann ebenfalls bei fehlender Evidenz keine Empfehlung gegeben werden. (1,8)

1.1.6.2 Umstellungsosteotomie

Diese Operationstechnik findet sich in erster Linie in der Prävention einer Gonarthrose bei Fehlstellungen der Beinachse. Hierbei wird die Stellung der Gelenkskörper zueinander so verändert, dass eine günstigere, weniger punktuelle Kraftverteilung im Gelenk erzielt wird. Bei moderater Gonarthrose (Kellgren & Lawrence ≤ 3) und bestehender Fehlstellung liegt die Indikation einer hohen tibialen Umstellungsosteotomie (HTO) vor. Es kommt je nach Varus- oder Valgusfehlstellung zur mechanischen Entlastung des medialen oder lateralen Kompartiments und zur Verlangsamung des Fortschreitens der Arthrose. (7,8)

1.1.6.3 Unikondyläre Endoprothesen

Zu den gelenkersetzenden, aber Kompartiment-begrenzten Verfahren zählen insbesondere unikondyläre Prothesen und der isolierte patellofemorale Gelenkersatz. Unikondyläre Schlittenprothesen kommen bei isolierter medialer, in ausgewählten Fällen auch lateraler, hochgradiger Kompartimentarthrose mit intakter Bandführung und korrigierbarer Achsfehlstellung in Betracht. Sie sind weniger invasiv, es bleiben große Teile der natürlichen Gelenkstrukturen erhalten und ermöglichen häufig eine schnellere Rehabilitation. Diese Verfahren erfordern jedoch eine strenge Indikationsstellung und hohe operative Expertise. Der isolierte patellofemorale Gelenkersatz ist Patientinnen und Patienten mit klinisch und radiologisch gesicherter, auf das patellofemorale Gelenk beschränkter Arthrose vorbehalten und kann bei sorgfältiger Selektion funktionelle Ergebnisse erreichen, die der einer Totalendoprothese nahekommen. (1,7,8)

1.1.6.4 Knie-Totalendoprothese (KTEP)

Die bikondyläre Knie-Totalendoprothese stellt das Standardverfahren bei ausgeprägter, mehrkompartimenteller Gonarthrose dar. Sie führt in der Regel zu einer deutlichen Schmerzlinderung und Funktionsverbesserung, ist jedoch mit den typischen Risiken eines großen Gelenkeingriffs wie Infektion, Thrombose, Prothesenlockerung und damit einhergehendem Revisionsbedarf verbunden, sodass die Indikation restriktiv zu stellen ist. Hinsichtlich des Prothesendesigns zeigen kreuzbanderhaltende und kreuzbandresezierende Systeme ebenso wie zementierte und zementfreie Implantate im Mittel vergleichbare klinische und funktionelle Ergebnisse. Auch für den Retropatellarersatz und den Einsatz navigations- oder roboterassistierter Techniken lässt sich kein eindeutiger Überlegenheitsnachweis ableiten. Daher erfolgt die Auswahl des konkreten Implantats und der Operationstechnik individuell, orientiert an patientenspezifischen Faktoren, anatomischen Gegebenheiten und der Erfahrung des behandelnden Zentrums. (1,2,7,8)



Abbildung 10: KTEP eines rechten Knies (Eigenaufnahme)

Periphere Nervenblöcke und Stürze nach KTEP

Zur Reduktion postoperativer Schmerzen, vor allem nach Implantation einer KTEP, werden verschiedene periphere Nervenblöcke eingesetzt. Ziel ist es, eine effektive Analgesie zu erreichen, den postoperativen Opioid-Bedarf zu reduzieren und die funktionelle Genesung zu fördern. (9,10)

Die wesentlichen Verfahren stellen der Adduktorenkanal-Block, der Femoralisnerv-Block, der iPack-Block, der Ischiadikusnerv-Block und der Obturatoriusnerv-Block dar.

Der Adduktorenkanal-Block (ACB) gilt als motorikschonende Regionalanästhesie, die vor allem die sensiblen Nervenanteile des N. saphenus der anteromedialen Knieseite erfasst.

Da die Quadrizepskraft dabei typischerweise weitgehend erhalten bleibt, unterstützt der ACB eine frühere Mobilisation. (9) Seine Limitation besteht jedoch in einer unzureichenden Abdeckung lateraler und insbesondere posteriorer Schmerzanteile, weshalb er in der klinischen Praxis häufig mit ergänzenden Verfahren kombiniert wird. Ein etabliertes Standardverfahren nach totaler Knieendoprothetik ist der Femoralisnerv-Block (FNB), der eine zuverlässige Analgesie ermöglicht, gleichzeitig jedoch häufig die Quadrizepsfunktion reduziert. Diese motorische Beeinträchtigung kann die funktionelle Erholung verzögern und das Sturzrisiko erhöhen. (9,10) Zur gezielten Behandlung posteriorer Knieschmerzen wird zunehmend der iPACK-Block (Infiltration between the Popliteal Artery and the Capsule of the Knee) eingesetzt, bei dem Lokalanästhetikum ultraschallgestützt in den Raum zwischen A. poplitea und der posterioren Kniegelenkscapsel infiltriert wird. Ziel ist eine Analgesie der hinteren Kapsel über terminale sensible Nervenanteile, ohne die motorischen Fasern des N. tibialis und N. peroneus in relevantem Ausmaß zu blockieren. Dadurch soll insbesondere das Risiko einer klinisch bedeutsamen Fußheberschwäche reduziert werden. (9) Gerade die Kombination aus iPACK und ACB wird als besonders zweckmäßig beschrieben, da sie vordere und hintere Schmerzkomponenten abdeckt, ohne die Motorik signifikant einzuschränken. Als Alternative zur posterioren Analgesie kommt auch der Ischiadikusblock (SNB) in Betracht, der die Schmerzen im hinteren Kniebereich effektiv lindern kann, jedoch, ähnlich wie der FNB, durch eine mögliche Schwächung der ischiokruralen Muskulatur die Rehabilitation nachteilig beeinflussen kann. (9,10) Der Obturatoriusnerv-Block (ONB) ist ein Verfahren zur Behandlung posteriorer und auch medialer Knieschmerzen. Vor allem die Blockade

des Ramus posterior des N. obturatorius ist hier zielführend. Trotz der Abnahme der Adduktorenkraft beeinträchtigt der ONB die frühe Mobilisation nicht negativ. (11) Ergänzend wird in diesem Kontext häufig die periartikuläre Injektion (PAI) diskutiert, die streng genommen keine Nervenblockade darstellt, sondern eine durch den Operateur applizierte Infiltrationstechnik mit systematischer Injektion eines Analgetikums und eines Lokalanästhetikums in periartikuläre Strukturen. Sie ist motorikschonend, erfordert jedoch teils hohe Lokalanästhetika-Volumina und kann dadurch das Risiko einer systemischen Lokalanästhetikatoxizität (LAST) erhöhen. (9)

Der Zusammenhang zwischen dem Einsatz peripherer Nervenblöcke und der Erhöhung des postoperativen Sturzrisikos stellt ein breit diskutiertes Thema in der Orthopädie dar. Vermutet wird, dass durch die Blockaden verursachte Muskelschwäche das Sturzrisiko erhöht. Entgegen dieser Bedenken steht ein groß angelegtes systematic review von Memtsoudis et al., welches über 191000 Patientenakten analysierte und zu dem Ergebnis kam, dass der Einsatz von peripheren Nervenblöcken das postoperative Sturzrisiko nicht signifikant erhöht. In dieser Arbeit lag die Sturzhäufigkeit bei Patienten mit Blockade bei 1,58% und bei Patienten ohne Blockade bei 1,62%. Anstelle der Nervenblockaden werden andere Faktoren als maßgebliche Treiber des Sturzrisikos genannt. Vor allem höheres Alter, das männliche Geschlecht und Begleiterkrankungen, wie Adipositas, Psychosen und Anämie, tragen wesentlich zur Erhöhung des Sturzrisikos bei. Auch die Wahl des Anästhesieverfahrens spielt eine entscheidende Rolle. Die Anwendung einer Spinalanästhesie reduziert das Sturzrisiko um etwa 30% im Vergleich zur Allgemeinanästhesie, möglicherweise durch eine geringere Beeinträchtigung der kognitiven Funktion und einer geringeren Anzahl von postoperativen Delirien. (14) Eine neuere Studie von Billingham et al. (15) zeigt jedoch ein signifikant höheres postoperatives Sturzrisiko für Patienten mit einem single-shot FNB, als für jene ohne Blockade oder Patienten mit jeglicher motorikschonenden Blockade.

Material und Methoden

Studiendesign, Setting und Ethik

Diese monozentrische retrospektive beobachtende Kohortenstudie untersuchte intrahospitale Stürze nach primärer totaler Knieendoprothetik sowie deren Zusammenhang mit der Anästhesietechnik und der Strategie peripherer Nervenblockaden (PNB). Der Studienzeitraum umfasste Juni 2017 bis Dezember 2022. Das Protokoll wurde vom lokalen institutionellen Ethikkomitee der Medizinischen Universität Graz genehmigt; auf eine informierte Einwilligung wurde aufgrund der retrospektiven Nutzung routinemäßig erhobener klinischer Daten verzichtet.

Teilnehmende und Datenquellen

Fälle wurden anhand der Kodierung nach der International Classification of Diseases (ICD) für primäre KTEPs aus dem Krankenhausregister identifiziert und mit elektronischen Patientenakten sowie der Anästhesiedokumentation verknüpft. Stürze wurden aus dem standardisierten Sturzmeldesystem der Station ermittelt. Insgesamt wurden initial 1802 primäre KTEP-Fälle identifiziert. Patientinnen und Patienten wurden ausgeschlossen, wenn sie eine unikompartimentelle Kniearthroplastik, eine Revisionsarthroplastik erhalten hatten oder unvollständige Patientenhistorien aufwiesen. Insgesamt wurden 383 Fälle ausgeschlossen, sodass eine finale analytische Kohorte von 1419 primären KTEP-Eingriffen resultierte.

Perioperatives Management und Definitionen

Alle Patientinnen und Patienten wurden erstmals postoperativ unter Aufsicht von Physiotherapiepersonal oder einer Pflegekraft der Station mobilisiert. Alle Patientinnen und Patienten wurden gemäß dem abteilungsinternen Sturzpräventionsprotokoll instruiert, einschließlich der Verwendung von Unterarmstützkrücken und der Vermeidung einer unbeaufsichtigten Erstmobilisation. Eine Knie-Immobilisation war nicht vorgesehen, ein freier Bewegungsumfang wurde unmittelbar nach der Operation gefördert. Es gab keine

standardisierte Opioidgabe nach der Operation. Opioidanalgetika wurden während des stationären Aufenthalts bei Bedarf verabreicht. Aufgrund einer Umstellung des Krankenhausdokumentationssystems konnte die Bedarfs-Opioid-Dosierung nicht für alle Patientinnen und Patienten zuverlässig rekonstruiert werden und wurde daher nicht in die primären Analysen einbezogen.

Von Interesse für die Arbeit waren die Anästhesieart (Allgemeinanästhesie [ALLGEMEIN-A] vs. Spinalanästhesie [SPINAL-A]) und die PNB-Strategie. PNBs wurden ausschließlich als Single-Shot-Blockaden durchgeführt, katheterbasierte kontinuierliche Infusionen oder Pumpen wurden nicht verwendet. Die PNB-Strategie wurde als PNB durchgeführt [YES_PNB] vs. nicht durchgeführt [NO_PNB] sowie nach Blockkonfiguration analysiert (keine PNB, alleiniger Femoralblock [FEM], kombinierter Femoralis-Ischiadikus-Block [FEM+ISCH], alleiniger Ischiadikusblock [ISCH] und andere PNB-Konfigurationen [OTHER_PNB]). Das primäre Outcome war ein intrahospitaler postoperativer Sturz vom Ende der Operation bis zur Entlassung nach primärer KTEP-Implantation, definiert als jeder im standardisierten Sturzbericht der Station dokumentierte Sturz.

Statistische Analyse

Kategoriale Variablen werden als Anzahl und Prozentsätze angegeben, kontinuierliche Variablen als Mediane mit Interquartilsabständen (IQR). Univariable Vergleiche zwischen Patientinnen und Patienten mit und ohne Sturz verwendeten für kategoriale Variablen den exakten Fisher-Test (Freeman-Halton-Erweiterung mit Monte-Carlo-Approximation, sofern aufgrund seltener Zellen angemessen) und für kontinuierliche Variablen den Mann-Whitney-U-Test; Vergleiche über mehr als zwei Blockkonfigurationsgruppen erfolgten mit dem Kruskal-Wallis-Test. Paarweise Vergleiche zwischen den wichtigsten Blockkonfigurationen (keine PNB, Femoralblock allein, Femoralis-Ischiadikus) wurden mittels exaktem Fisher-Test mit Bonferroni-Korrektur beurteilt.

Unabhängige Zusammenhänge mit Stürzen wurden mittels binärer logistischer Regression geschätzt, einschließlich Blockkonfiguration (Referenz: keine PNB), Anästhesieart, Alter, BMI, Geschlecht und ASA-Score, gruppiert als 1-2 versus 3-4. Seltene Blockkategorien ohne Sturzereignisse wurden deskriptiv berichtet und nicht in das primäre multivariable Modell aufgenommen, um vollständige/quasi-vollständige Separation zu vermeiden.

Effektmaße werden als Odds Ratios (OR) mit 95%-Konfidenzintervallen (KI) dargestellt. Die Modelltrennschärfe wurde anhand der Fläche unter der Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (AUC) beurteilt, und der Gesamtvorhersagefehler anhand des Brier-Scores. Alle Tests waren zweiseitig. $p < 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet (nach Anpassung, sofern anwendbar). Die Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics (Version 29) durchgeführt.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 1802 registerbasiert identifizierte primäre Knie-Totalendoprothesen (KTPE), durchgeführt zwischen Juni 2017 und Dezember 2022, gescreent. Nach Ausschluss von 383 Fällen aufgrund unvollständiger Patientenhistorien und Anwendung der verbleibenden Ausschlusskriterien (unikompartimentelle Arthroplastik und Revisionsoperationen) umfasste die finale analytische Kohorte 1419 primäre KTPEs.

Insgesamt wurden 52 intrahospitale postoperative Stürze vom Ende der Operation bis zur Entlassung dokumentiert, entsprechend einer Sturzinzidenz von 3,7%.

Die Basischarakteristika nach Sturzstatus sind in Tabelle 3 dargestellt. Patientinnen und Patienten mit und ohne intrahospitale Stürze waren hinsichtlich Alter, Anthropometrie (BMI, Körpergröße, Gewicht), Geschlecht, Anästhesieart und ASA-Status ähnlich (alle $p > 0,05$). Im Gegensatz dazu war die Exposition gegenüber peripheren Nervenblockaden (PNB) unter den Sturzfällen häufiger ($p < 0,001$), und die Blockkonfiguration unterschied sich zwischen den Gruppen ($p = 0,014$), mit einem geringeren Anteil an Eingriffen ohne PNB und einem höheren Anteil femoralbasierter Strategien bei Patientinnen und Patienten, die einen Sturz erlitten.

Variable	Kein Sturz, Median [IQR]	Sturz, Median [IQR]	p-Wert
Alter	70.66 [63.09; 76.64]	71.21 [64.02; 78.38]	0,701
BMI	29.05 [25.85; 33.24]	29.01 [25.07; 32.44]	0,515
Größe	167.00 [160.00; 174.00]	168.00 [161.75; 173.00]	0,763
Gewicht	82.00 [72.00; 95.00]	82.50 [74.00; 92.50]	0,824
Variable	Kein Sturz, n (%)	Sturz, n (%)	p-Wert
Weiblich	836 (61.2%)	27 (51.9%)	0,194
Männlich	531 (38.8%)	25 (48.1%)	
Allgemein-A	718 (52.5%)	31 (59.6%)	0,326
Spinal-A	649 (47.5%)	21 (40.4%)	
ASA 1	61 (4.5%)	2 (3.8%)	0,364
ASA 2	556 (40.7%)	15 (28.8%)	
ASA 3	643 (47.0%)	30 (57.7%)	
ASA 4	107 (7.8%)	5 (9.6%)	
NO_PNB	465 (34.0%)	6 (11.5%)	<0,001
YES_PNB	902 (66.0%)	46 (88.5%)	
NO_PNB	465 (34.0%)	6 (11.5%)	0,014
FEM	219 (16.0%)	11 (21.2%)	
ISCH	9 (0.7%)	0 (0.0%)	
FEM+ISCH	667 (48.8%)	35 (67.3%)	
OTHER_PNB	7 (0.5%)	0 (0.0%)	

Tabelle 3: Basischarakteristika nach Sturzstatus

Tabelle 3: Daten werden für kontinuierliche Variablen als Median [Interquartilsabstand] und für kategoriale Variablen als n (%) dargestellt. Prozentsätze werden innerhalb des Sturzstatus (kein Sturz vs. Sturz) berechnet. Kontinuierliche Variablen wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Kategoriale Variablen wurden mit dem exakten Fisher-Test verglichen (Freeman-Halton-Erweiterung mit Monte-Carlo-Approximation, sofern aufgrund seltener Zellen angemessen). P-Werte beziehen sich auf den Gesamtvergleich für jede Variable.

Sturzinzidenz nach PNB und univariable Zusammenhänge

Die Sturzinzidenz unterschied sich je nach Konfiguration der peripheren Nervenblockade (PNB) (siehe Tabelle 4). Stürze traten in 6/471 Fällen ohne PNB (NO_PNB; 1,27%) auf, verglichen mit 11/230 nach isoliertem Femoralblock (FEM; 4,8%) und 35/702 nach kombinierter Femoralis-Ischiadikus Blockade (FEM+ISCH; 5%). Seltene Konfigurationen (nur Ischiadikus, n=9; OTHER_PNB, n=7) wiesen keine Sturzereignisse auf und werden deskriptiv berichtet (siehe Tabelle 4).

Block Konfiguration	N	Stürze	Sturz Inzidenz	95% KI (%)
FEM	230	11	4.8%	2.41-8.40
FEM+ISCH	702	35	5.0%	3.50-6.87
ISCH	9	0	0	0.00-33.63
NO_PNB	471	6	1.3%	0.47-2.75
OTHER_PNB	7	0	0	0.00-40.96

Tabelle 4: Sturzinzidenz nach PNB-Konfiguration

Tabelle 4: Die Sturzinzidenz wird als Stürze/Gesamtzahl (n/N), Prozent (%) und exakte 95%-Konfidenzintervalle (Clopper-Pearson) angegeben. „OTHER_PNB“ bedeutet, dass eine andere periphere Nervenblockade als „FEM“, „FEM+ISCH“ oder „ISCH“ durchgeführt wurde. Seltene PNB-Konfigurationen (OTHER_PNB) ohne beobachtete Sturzereignisse werden deskriptiv dargestellt.

In univariablen Tests war die Blockkonfiguration signifikant mit Stürzen assoziiert. Paarweise Vergleiche zwischen den wesentlichen Konfigurationen zeigten höhere Sturz-Odds für FEM versus NO_PNB (nicht-adjustierte OR 3,89, 95%-KI 1,42-10,66; Bonferroni-adjustiertes $p=0,022$) sowie für FEM+ISCH versus NO_PNB (nicht-adjustierte OR 4,07, 95%-KI 1,70-9,75; Bonferroni-adjustiertes $p=0,0015$), während sich das Sturzrisiko zwischen FEM+ISCH und FEM nicht unterschied (nicht-adjustierte OR 1,04, 95%-KI 0,52-2,09) (siehe Tabelle 5).

Vergleich	OR (95% KI)	RR (95% KI)	RD (95% KI)	p (Fisher)	p (Bonferroni)
FEM vs NO_PNB	3.89 (1.42-10.66)	3.75 (1.41-10.02)	3.51% (0.95-7.15)	0,007	0,022
FEM+ISCH vs NO_PNB	4.07 (1.70-9.75)	3.91 (1.66-9.23)	3.71% (1.69-5.70)	<0,001	0,002
FEM+ISCH vs FEM	1.04 (0.52-2.09)	1.04 (0.54-2.02)	0.20% (-3.63-3.01)	1	1

Tabelle 5: Vergleiche zwischen verschiedenen PNBs

Tabelle 5: Dargestellt sind rohe (nicht-adjustierte) Vergleiche zwischen den wichtigsten Blockkonfigurationen. Effektmaße (Odds Ratios [OR], Risk Ratios [RR] und absolute Risikodifferenzen [RD]) wurden aus 2×2-Kontingenztafeln berechnet und mit dem exakten Fisher-Test geprüft. P-Werte wurden mittels Bonferroni-Korrektur angepasst, um mehrere vorab festgelegte paarweise Vergleiche zu berücksichtigen. Die Schätzwerte in dieser Tabelle sind nicht für potenzielle Störfaktoren (z. B. Alter, BMI, ASA, Geschlecht, Anästhesieart) adjustiert und können daher von den multivariabel adjustierten ORs in Tabelle 6 abweichen.

Multivariable Analyse

Im vorab festgelegten multivariablen logistischen Regressionsmodell, adjustiert für Alter, BMI, Geschlecht, Anästhesieart und gruppierten ASA-Status (ASA 3-4 vs. 1-2), blieben femoralbasierte PNB-Strategien unabhängig mit postoperativen Stürzen assoziiert. Im Vergleich zu NO_PNB waren die adjustierten Sturz-Odds erhöht für FEM (adjustierte OR 3,72, 95%-KI 1,35-10,23; p=0,011) und für FEM+ISCH (adjustierte OR 4,45, 95%-KI 1,70-11,65; p=0,002). Der gruppierte ASA-Status zeigte einen nicht signifikanten Trend zu höherem Sturzrisiko (adjustierte OR 1,78, 95%-KI 0,96-3,29; p=0,065), während Alter, BMI, Geschlecht und Anästhesieart keine statistisch signifikanten Prädiktoren waren (siehe Tabelle 6). Die Modelltrennschärfe war moderat, mit einer Fläche unter der Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (AUC) von 0,663 (95%-KI 0,594-0,730).

Prädiktor	OR (95% KI)	p-Wert
FEM vs NO_PNB	3.72 (1.35-10.23)	0,010
FEM+ISCH vs NO_PNB	4.45 (1.70-11.65)	0,002
ASA 3 + 4 vs 1 + 2	1.78 (0.96-3.29)	0,065
MÄNNLICH vs WEIBLICH	1.42 (0.80-2.51)	0,226
SPINAL-A vs ALLGEMEIN-A	1.24 (0.63-2.45)	0,535
ALTER (pro Jahr)	1.00 (0.97-1.03)	0,807
BMI (pro kg/m ²)	0.97 (0.92-1.03)	0,348

Tabelle 6: Vergleiche zwischen Gruppen

Tabelle 6: Adjustierte Odds Ratios (OR) mit 95%-Konfidenzintervallen (KI) werden aus einem multivariablen binären logistischen Regressionsmodell berichtet. ORs repräsentieren den Zusammenhang zwischen jedem Prädiktor und intrahospitalen postoperativen Stürzen nach Adjustierung für alle anderen Kovariaten im Modell (Blockkonfiguration, Alter, BMI, Geschlecht, Anästhesieart und ASA, gruppiert als 1-2 vs. 3-4). Referenzkategorien waren NO_PNB für die Blockkonfiguration, weibliches Geschlecht, Allgemeinanästhesie und ASA 1-2. Alter und BMI wurden als kontinuierliche Variablen pro 1-Einheit-Anstieg modelliert. Seltene Blockkonfigurationen ohne Sturzereignisse (nur Ischiadikus und andere

PNB) wurden aus der Regression ausgeschlossen, um vollständige/quasi-vollständige Separation zu vermeiden. Zweiseitige p-Werte sind angegeben.

Diskussion

In dieser monozentrischen retrospektiven beobachtenden Kohortenstudie mit 1419 primären KTEPs lag die dokumentierte postoperative intrahospitale Sturzrate bei 3,7% (52/1419) und damit in einem klinisch relevanten Bereich, da bereits einzelne Sturzereignisse potenziell erhebliche Konsequenzen, wie periprothetische Frakturen, Wundkomplikationen, Mobilisationsverzögerung und verlängerte postoperative Liegedauer, nach sich ziehen können. (12) Der zentrale Befund der Auswertung ist die konsistente Assoziation zwischen femoralbasierten peripheren Nervenblockaden und postoperativen Stürzen. Univariabel traten Stürze nach NO_PNB in 1,27% auf, während die Sturzszenen nach FEM (4,8%) und FEM+ISCH (5,0%) deutlich höher lagen. Dies entspricht einer absoluten Risikoerhöhung um etwa 3,5-3,7 Prozentpunkte gegenüber Patient*innen ohne peripheren Nervenblock und ist damit nicht nur statistisch, sondern auch klinisch bedeutsam. Die Arbeiten von Domagalska et al. (9) und Wang et al. (10) kommen zu ähnlichen Ergebnissen, bei welchen das Sturzrisiko bei FNB erhöht ist. (9,10,15)

Die multivariable logistische Regression bestätigte diese Beobachtung: Im Vergleich zu NO_PNB blieb das Sturzrisiko nach FEM (aOR 3,72) und nach FEM+ISCH (aOR 4,45) auch nach Adjustierung für Alter, BMI, Geschlecht, Anästhesieform und ASA-Gruppe erhöht. Dass FEM+ISCH gegenüber FEM allein keine relevante zusätzliche Risikoerhöhung zeigte (unadjustiertes OR ~1,04), spricht dafür, dass der entscheidende sturzrelevante Anteil eher durch den femoralen Block, durch die hemmende Beeinflussung auf die Motorik, als durch die zusätzliche Komponente des ISCH vermittelt wird. Pathophysiologisch ist diese Interpretation plausibel: Ein femoraler Block kann die Kniestreckkraft durch Quadrizepsschwäche reduzieren und damit gerade in der Phase der frühen Mobilisation nach KTEP die Stand- und Transferstabilität beeinträchtigen. (12) In der klinischen Routine entstehen Sturzrisiken typischerweise nicht nur während der angeleiteten Physiotherapie, sondern auch bei kurzen, alltäglichen und teils nicht supervidierten Situationen (z. B. Bett-Stuhl-Transfer, Toilettengang). (13) Auch wenn ein Sturzpräventionsprotokoll existiert und die Erstmobilisation supervidiert erfolgt, können motorische Defizite in Kombination mit postoperativen Begleitfaktoren (Schmerzspitzen,

Schwindel/Orthostase, Müdigkeit, Aufmerksamkeitsschwankungen) die Schwelle zum Sturzereignis senken. (14)

In einem retrospektiven Design kann nicht ausgeschlossen werden, dass femoralbasierte PNB bevorzugt bei Patient:innen mit höherem Analgesiebedarf oder komplexeren Verläufen eingesetzt wurden, die per se ein höheres Sturzrisiko aufweisen könnten. Ein wesentlicher potenzieller Confounder, die postoperative Opioidgabe, konnte aufgrund einer Dokumentationsumstellung nicht zuverlässig rekonstruiert und daher nicht in die Hauptanalyse integriert werden. Damit bleibt offen, in welchem Ausmaß Unterschiede in Sedierung, Kreislaufstabilität oder Delirrisiko als Mediatoren oder Confounder zur beobachteten Assoziation beitragen. Memtsoudis et al. (14) beschreiben dazu, dass nicht die peripheren Nervenblöcke, sondern andere Faktoren die wesentlichen Treiber des Sturzrisikos sind. Hierzu werden vor allem die Allgemeinanästhesie und Vorerkrankungen wie Adipositas und Anämie gezählt. Weinstein et al. (56) zeigen ebenfalls, dass sich die Allgemeinanästhesie und auch eine intraoperative Opioidgabe negativ auf das Risiko eines postoperativen Delirs und somit in weiterer Folge auf das Sturzrisiko auswirkt. Gleichzeitig sprechen die Effektgrößen (aOR ~3,7-4,5) und die Konsistenz zwischen univariaten und adjustierten Ergebnissen dafür, dass der Zusammenhang nicht allein durch Störfaktoren, wie eine eventuelle postoperative Opioidgabe, Delir oder anderen Risikofaktoren erklärt wird, sondern dass die motorische Beeinträchtigung durch den femoralen Anteil ein wesentlicher Faktor sein dürfte.

Die moderat ausgeprägte Diskriminationsfähigkeit des Modells (AUC 0,663) unterstreicht zudem, dass Stürze multifaktoriell sind und mit den verfügbaren Variablen nur teilweise erklärt werden können. Für die Praxis ergeben sich daraus zwei Konsequenzen: Erstens sollte die Wahl der postoperativen Analgesiestrategie nach KTEP das Sturzrisiko, welches durch weitere Risikofaktoren neben der PNBs und Anästhesieform, wie Alter und Komorbiditäten, beeinflusst wird explizit berücksichtigt werden, insbesondere wenn femorale Komponenten eingesetzt wurden. Zweitens bleibt die Optimierung perioperativer Prozesse essenziell. Mit standardisierten Mobilisationsfreigaben, konsequente Transferassistenz in den ersten Tagen, klare Kommunikation der Blockstrategie im Behandlungsteam, dem Einsatz von Knie-Immobilisatoren um ein Einknicken zu verhindern und strukturierte motorische Assessments vor freier Mobilisation könnte dem entgegengewirkt werden. (13,57)

Stärken und Limitationen

Stärken sind die große, klinisch homogene Kohorte primärer TKA über mehrere Jahre, die Nutzung eines standardisierten Sturzmeldesystems und die Kombination aus exakten univariaten Tests sowie adjustierter logistischer Regression.

Limitationen ergeben sich aus dem retrospektiven Design (Residualconfounding, Indikationsbias), potenzieller Untererfassung von Stürzen (abhängig von Meldedisziplin, unbeobachtete Stürze), fehlenden Variablen zur postoperativen Medikation (insb. Opioide), fehlender Information zur Mobilisationssituation (Zeitpunkt/Ort/Umstände des Sturzes) sowie fehlenden blockbezogenen Details (Lokalanästhetikum, Dosis, sensorisch/motorischer Blockgrad). Zudem wurden seltene PNB-Konfigurationen aufgrund sehr kleiner Fallzahlen nur deskriptiv ausgewiesen. Daraus lassen sich keine belastbaren Schlussfolgerungen zur Sicherheit dieser Varianten ableiten.

Fazit

Femoralbasierte PNB waren in dieser TKA-Kohorte mit einem deutlich erhöhten interhospitalen Sturzrisiko assoziiert, auch nach Adjustierung für zentrale Kovariaten. Klinisch sollten bei femoralem Block consequente Sturzpräventionsmaßnahmen (v. a. bei Transfers/Frühmobilisation) implementiert und motorikschonende Analgesiestrategien als Alternative geprüft werden.

Literaturverzeichnis

1. Michael JWP, Schlüter-Brust KU, Eysel P. The Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Treatment of Osteoarthritis of the Knee. Dtsch Ärztebl Int [Internet]. 5. März 2010 [zitiert 1. Dezember 2025]; Verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2010.0152>
2. Sharma L. Osteoarthritis of the Knee. Solomon CG, Herausgeber. N Engl J Med. 7. Januar 2021;384(1):51–9.
3. Höfler G, Kreipe H, Moch H. Pathologie Das Lehrbuch. 6. Auflage. München: Elsevier GmbH; 2019.
4. Ren JL, Yang J, Hu W. The global burden of osteoarthritis knee: a secondary data analysis of a population-based study. Clin Rheumatol. April 2025;44(4):1769–810.
5. Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, Winzenberg TM, Hosmer D, Jones G. A meta-analysis of sex differences prevalence, incidence and severity of osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage. September 2005;13(9):769–81.
6. Fuchs J, Rabenberg M, Scheidt-Nave C. Prävalenz ausgewählter muskuloskelettaler Erkrankungen: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. Mai 2013;56(5–6):678–86.
7. Ficklscherer A, Weidert S. Kurzlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie. 2. Auflage. München: Urban&Fischer; 2024.
8. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU). S3-Leitlinie: Gonarthrose - Prävention, Diagnostik und Therapie. AWMF-Register Nr. 187-050. Version 2025-05. Berlin: AWMF; 2025.
9. Domagalska M, Wieczorowska-Tobis K, Reysner T, Kowalski G. Periarticular injection, iPACK block, and peripheral nerve block in pain management after total knee arthroplasty: a structured narrative review. Perioper Med. 15. November 2023;12(1):59.
10. Wang JC, Piple AS, Mayfield CK, Chung BC, Oakes DA, Gucev G, u. a. Peripheral Nerve Block Utilization is Associated With Decreased Postoperative Opioid Consumption and Shorter Length of Stay Following Total Knee Arthroplasty. Arthroplasty Today. April 2023;20:101101.
11. Runge C, Børglum J, Jensen JM, Kobborg T, Pedersen A, Sandberg J, u. a. The Analgesic Effect of Obturator Nerve Block Added to a Femoral Triangle Block After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. Reg Anesth Pain Med. 2016;41(4):445–51.

12. Angers M, Belzile ÉL, Vachon J, Beauchamp-Chalifour P, Pelet S. Negative Influence of femoral nerve block on quadriceps strength recovery following total knee replacement: A prospective randomized trial. *Orthop Traumatol Surg Res.* Juni 2019;105(4):633–7.
13. Sharma S, Iorio R, Specht LM, Davies-Lepie S, Healy WL. Complications of Femoral Nerve Block for Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop.* Januar 2010;468(1):135–40.
14. Memtsoudis SG, Rasul R, Stundner O. Inpatient Falls after Total Knee Arthroplasty. *Perioper Med.*
15. Billingham MJ, Dixon C, Dasgupta K. Single-shot perineural femoral nerve block and falls after lower limb orthopaedic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* Januar 2026;S0007091225008207.
16. Platzer W, Spitzer G, Herausgeber. Taschenatlas Anatomie. 1: Bewegungsapparat / Werner Platzer. Zeichnungen von Gerhard Spitzer. In: 11., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2013. (Thieme E-book library).
17. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, u. a. Duale Reihe Anatomie. 4., aktualisierte Auflage. Stuttgart New York Delhi: Georg Thieme Verlag; 2017. 1 S. (Duale Reihe).
18. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Herausgeber. Prometheus LernAtlas der Anatomie - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2018. 1 S. (Thieme eRef).
19. Lee SH, Petersilge CA, Trudell DJ, Haghghi P, Resnick DL. Extrasynovial spaces of the cruciate ligaments: anatomy, MR imaging, and diagnostic implications. *Am J Roentgenol.* Juni 1996;166(6):1433–7.
20. Braun S, Zaucke F, Brenneis M, Rapp AE, Pollinger P, Sohn R, u. a. The Corpus Adiposum Infrapatellare (Hoffa's Fat Pad)—The Role of the Infrapatellar Fat Pad in Osteoarthritis Pathogenesis. *Biomedicines.* 5. Mai 2022;10(5):1071.
21. Verstraete MA, Meere PA, Salvatore G, Victor J, Walker PS. Contact forces in the tibiofemoral joint from soft tissue tensions: Implications to soft tissue balancing in total knee arthroplasty. *J Biomech.* Juni 2017;58:195–202.
22. Markes AR, Hodax JD, Ma CB. Meniscus Form and Function. *Clin Sports Med.* Januar 2020;39(1):1–12.
23. Englund M, Guermazi A, Gale D, Hunter DJ, Aliabadi P, Clancy M, u. a. Incidental Meniscal Findings on Knee MRI in Middle-Aged and Elderly Persons. *N Engl J Med.* 11. September 2008;359(11):1108–15.

24. Herring SA, Kibler WB, Putukian M, Boyajian-O'Neill LA, Chang CJ, Franks RR, u. a. Initial Assessment and Management of Select Musculoskeletal Injuries: A Team Physician Consensus Statement. *Med Sci Sports Exerc.* März 2024;56(3):385–401.
25. Orellana F, Grassi A, Hlushchuk R, Wahl P, Nuss KM, Neels A, u. a. Revealing the complexity of meniscus microvasculature through 3D visualization and analysis. *Sci Rep.* 13. Mai 2024;14(1):10875.
26. Ralphs JR, Benjamin M. The joint capsule: structure, composition, ageing and disease. *J Anat.* 1994 Jun;184 (Pt 3)(Pt 3):503-9. PMID: 7928639; PMCID: PMC1259958.
27. Biz C, Stecco C, Crimi A, Pirri C, Fosser M, Fede C, u. a. Are Patellofemoral Ligaments and Retinacula Distinct Structures of the Knee Joint? An Anatomic, Histological and Magnetic Resonance Imaging Study. *Int J Environ Res Public Health.* 19. Januar 2022;19(3):1110.
28. Cho HJ, Kwak DS. Anatomical Consideration of the Anterolateral Ligament of the Knee. *BioMed Res Int.* 11. April 2019;2019:1–6.
29. De Maeseneer M, Van Roy F, Lenchik L, Barbaix E, De Ridder F, Osteaux M. Three Layers of the Medial Capsular and Supporting Structures of the Knee: MR Imaging—Anatomic Correlation. *RadioGraphics.* Oktober 2000;20(suppl_1):S83–9.
30. Merican AM, Sanghavi S, Iranpour F, Amis AA. The structural properties of the lateral retinaculum and capsular complex of the knee. *J Biomech.* Oktober 2009;42(14):2323–9.
31. Wymenga AB, Kats JJ, Kooloos J, Hillen B. Surgical anatomy of the medial collateral ligament and the posteromedial capsule of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* März 2006;14(3):229–34.
32. Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2011 Jun;19(2):82-92. doi: 10.1097/JSA.0b013e318210c0aa. PMID: 21540705.
33. Amis AA, Bull AMJ, Gupte CM, Hijazi I, Race A, Robinson JR. Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and meniscofemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* September 2003;11(5):271–81.
34. LaPrade RF, Morgan PM, Wentorf FA, Johansen S, Engebretsen L. The Anatomy of the Posterior Aspect of the Knee: An Anatomic Study. *J Bone Jt Surg.* April 2007;89(4):758–64.
35. Athwal KK, Willinger L, Shinohara S, Ball S, Williams A, Amis AA. The bone attachments of the medial collateral and posterior oblique ligaments are defined anatomically and radiographically. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* Dezember 2020;28(12):3709–19.

36. Wierer G, Milinkovic D, Robinson JR, Raschke MJ, Weiler A, Fink C, u. a. The superficial medial collateral ligament is the major restraint to anteromedial instability of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* Februar 2021;29(2):405–16.
37. LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, Johansen S, Wentorf FA, Engebretsen L. The Anatomy of the Medial Part of the Knee: *J Bone Jt Surg.* September 2007;89(9):2000–10.
38. Śmigielski R, Zdanowicz U, Drwięga M, Ciszek B, Williams A. The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction. *Bone Jt J.* August 2016;98-B(8):1020–6.
39. Cousin J, Noailles T, Hardy A, Decante C, Hamel A. Posterior cruciate ligament: Anatomy, femoral insertion and relationships with the anterior menisco-femoral ligament in 23 cadaver knees. *Orthop Traumatol Surg Res.* April 2021;107(2):102788.
40. Kato T, Śmigielski R, Ge Y, Zdanowicz U, Ciszek B, Ochi M. Posterior cruciate ligament is twisted and flat structure: new prospective on anatomical morphology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* Januar 2018;26(1):31–9.
41. Fonkoué L, Behets C, Kouassi JÉK, Coyette M, Detrembleur C, Thienpont E, u. a. Distribution of sensory nerves supplying the knee joint capsule and implications for genicular blockade and radiofrequency ablation: an anatomical study. *Surg Radiol Anat.* Dezember 2019;41(12):1461–71.
42. Hendrich C, Sauer U, Rader CP. Biomechanik und Biomaterialien für Knie totalendoprothesen. *BIOMaterialien [Internet].* Januar 2000 [zitiert 11. Januar 2026];1(1). Verfügbar unter: <https://www.degruyter.com/view/j/biomat.2000.1.1/biomat.2000.1.1.25/biomat.2000.1.1.25.xml>
43. Zhou C, Zhang Z, Rao Z, Foster T, Bedair H, Li G. Physiological articular contact kinematics and morphological femoral condyle translations of the tibiofemoral joint. *J Biomech.* Juni 2021;123:110536.
44. Postolka B, Schütz P, Fucentese SF, Freeman MAR, Pinskerova V, List R, u. a. Tibio-femoral kinematics of the healthy knee joint throughout complete cycles of gait activities. *J Biomech.* September 2020;110:109915.
45. Waschke J, Paulsen F. Sobotta, Atlas der Anatomie. 25. Aufl. Bd. 1. München: Urban & Fischer in Elsevier GmbH; 2022.
46. O'Connor JJ, Shercliff TL, Biden E, Goodfellow JW. The Geometry of the Knee in the Sagittal Plane. *Proc Inst Mech Eng [H].* Dezember 1989;203(4):223–33.
47. Niethard FU, Pfeil J, Biberthal P. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie.* 9. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2022.

48. Molnar V, Matišić V, Kodvanj I, Bjelica R, Jeleč Ž, Hudetz D, u. a. Cytokines and Chemokines Involved in Osteoarthritis Pathogenesis. *Int J Mol Sci.* 26. August 2021;22(17):9208.
49. Clar C, Koutp A, Leitner L, Tettmann J, Leithner A, Sadoghi P. The Rosenberg view outperforms conventional AP radiographs in detecting medial knee osteoarthritis: A matched-pair analysis using intraoperative cartilage status.
50. Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, Oatis C, Guyatt G, Block J, u. a. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Rheumatol.* Februar 2020;72(2):220–33.
51. Hinman RS, Hall M, Comensoli S, Bennell KL. Exercise & Sports Science Australia (ESSA) updated Position Statement on exercise and physical activity for people with hip/knee osteoarthritis. *J Sci Med Sport.* Januar 2023;26(1):37–45.
52. Juhl C, Christensen R, Roos EM, Zhang W, Lund H. Impact of Exercise Type and Dose on Pain and Disability in Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthritis Rheumatol.* März 2014;66(3):622–36.
53. Krauß I. Sport- und Bewegungstherapie bei Gon- und Coxarthrose. *Dtsch Z Für Sportmed.* 1. November 2016;2016(11):276–81.
54. McAlindon TE, LaValley MP, Harvey WF, Price LL, Driban JB, Zhang M, u. a. Effect of Intra-articular Triamcinolone vs Saline on Knee Cartilage Volume and Pain in Patients With Knee Osteoarthritis: A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 16. Mai 2017;317(19):1967.
55. Rutjes AWS, Jüni P, da Costa B, Trelle S, Nüesch E, Reichenbach S. Viscosupplementation for Osteoarthritis of the Knee: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med.* 2012;
56. Weinstein SM, Poultsides L, Baaklini LR, Mörwald EE, Cozowicz C, Saleh JN, u. a. Postoperative delirium in total knee and hip arthroplasty patients: a study of perioperative modifiable risk factors. *Br J Anaesth.* Mai 2018;120(5):999–1008.
57. Wasserstein D, Farlinger C, Brull R, Mahomed N, Gandhi R. Advanced Age, Obesity and Continuous Femoral Nerve Blockade are Independent Risk Factors for Inpatient Falls After Primary Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* August 2013;28(7):1121–4.