

**Vergleich der klinischen Ergebnisse bei Revision des vorderen
Kreuzbandes: Isolierte Kreuzbandplastikrevision versus Revision
mit extraartikulärer anterolateraler Tenodese**

Luca Peter Bausch

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades
eines

Doktors der Medizin (Dr. med.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: apl. Prof. Dr. Thorsten Kessler

Prüfende der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. Lukas Willinger

2. apl. Prof. Dr. Helen Abel

Die Dissertation wurde am 13.08.2025 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am
19.11.2025 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	vi
1. Einleitung.....	1
1.1. Anterolateraler Komplex.....	2
1.1.1. Anatomie	2
1.1.2. Lage	3
1.1.3. Biomechanik der Strukturen des anterolateralen Komplexes	4
1.1.3.1. Tractus iliotibialis und Kaplan-Fasern	4
1.1.3.2. Anterolaterales Ligament	4
1.2. Anterolaterale Rotationsinstabilität	5
1.2.1. Definition	5
1.2.2. Biomechanik.....	5
1.3. Diagnostik	7
1.3.1. Klinische Untersuchung	7
1.3.1.1. Lachman- und Schublادentest.....	7
1.3.1.2. Pivot-Shift-Test.....	7
1.3.2. Bildgebung	9
1.3.2.1. Magnetresonanztomographie.....	9
1.3.2.2. Röntgendiagnostik	11
1.3.2.3. Computertomographie	11
1.4. Primäre Chirurgie des vorderen Kreuzbandes.....	11
1.4.1. Erhaltende Operationsverfahren	12
1.4.2. Ersatzplastik	12
1.5. Revisionschirurgie des vorderen Kreuzbandes.....	12
1.6. Laterale extraartikuläre Tenodese.....	13
1.6.1. Definition	13
1.6.2. Geschichte	14
1.6.3. Biomechanik.....	14
1.6.4. Indikationsstellung für VKB-Revision mit zusätzlicher LET	15
1.6.5. Verfahrensüberblick.....	15
1.6.5.1. Tenodese des Tractus iliotibialis	16
1.6.5.2. Rekonstruktion des anterolateralen Ligaments.....	16
2. Fragestellung und Ziel der Arbeit.....	17
3. Methodik	18
3.1. Operationstechnik	19
3.1.1. Revisionsoperation des vorderen Kreuzbandes	19
3.1.1.1. Einzeitiges Vorgehen	19
3.1.1.2. Zweizeitiges Vorgehen	19
3.1.1.3. Revisionskruzbandplastik.....	19
3.1.2. Extraartikuläre Tenodese	20
3.1.2.1. Extraartikuläre Tenodese in modifizierter Lemaire-Technik	20
3.1.2.2. Extraartikuläre Tenodese in modifizierter Ellison-Technik.....	21

3.1.3.	Postoperatives Procedere.....	22
3.2.	Datenerhebung	22
3.2.1.	Klinische Nachuntersuchung.....	22
3.2.1.1.	Rolimeter	23
3.2.2.	Patient-Reported-Outcome-Measures (PROMs)	24
3.2.2.1.	Visuelle Analogskala (VAS)	24
3.2.2.2.	Tegner-Aktivitäts-Score (TAS)	24
3.2.2.3.	Modifizierter Lysholm-Score	25
3.2.2.4.	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)	25
3.2.2.5.	2000 International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form	25
3.2.2.6.	Return to Sport (RTS)	26
3.2.2.7.	Anterior Cruciate Ligament Return-to-Sport after Injury Scale (ACL-RSI)	26
3.2.3.	Retrospektiv erhobene Patientendaten	26
3.2.4.	Statistische Auswertung.....	26
4.	Ergebnisse	28
4.1.	Retrospektive Datenanalyse	29
4.1.1.	Patientenkollektiv.....	29
4.1.2.	Transplantatversagen im Follow-up Zeitraum.....	30
4.1.3.	Auswertung der Fragebögen (PROMs).....	31
4.2.	Klinische Nachuntersuchung	32
4.2.1.	Rolimetermessung der anterioren tibialen Translation.....	33
4.2.2.	Bewegungsumfang	34
4.2.3.	Klinische Untersuchung des VKBs.....	34
4.2.4.	Return-to-Sport (RTS).....	35
5.	Diskussion	36
6.	Schlussfolgerung.....	42
7.	Zusammenfassung	43
8.	Abstract	45
9.	Literaturverzeichnis	46
10.	Abbildungsverzeichnis	58
11.	Tabellenverzeichnis	60
12.	Vorveröffentlichung	61
13.	Danksagung.....	62
14.	Anhang	A
14.1.	Untersuchungsbogen und Rolimetermessung	A
14.2.	ACL-RSI-Skala	D
14.3.	KOOS-Score	F

14.4.	Tegner-Score	J
14.5.	IKDC-Score	L
14.6.	Lysholm-Score.....	O

Abkürzungsverzeichnis

ACL-RSI	Anterior Cruciate Ligament Return-to-Sport after Injury Scale
ALC	Anterolateraler Komplex
ALL	Anterolaterales Ligament
ALRI	Anterolaterale Rotationsinstabilität
ATT	Anteriore tibiale Translation
CT	Computertomographie
dITB	Tiefe Fasern des Tractus iliotibialis
IKDC	International Knee Documentation Committee
ITB	Tractus iliotibialis
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
LCL	Laterales Kollateralligament des Kniegelenkes
LET	Laterale extraartikuläre Tenodese
m.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
PTS	Posteriorer tibialer Slope
RTS	Return-to-Sport
rVKB	Revisionsplastik des vorderen Kreuzbandes
rVKB+LET	Revisionsplastik des vorderen Kreuzbandes mit additiver lateraler extraartikulärer Tenodese
sITB	Superfizielle Fasern des Tractus iliotibialis
SSD	Side-to-side difference
TAS	Tegner Aktivitätsscore
TIR	Tibiale Innenrotation
VAS	Visuelle Analogskala
VKB	Vorderes Kreuzband

Erklärung zur Verwendung geschlechtsneutraler Sprache

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und diverser Sprachformen verzichtet und das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter. Die gewählte Sprachform beinhaltet keine Wertung und dient ausschließlich der sprachlichen Vereinfachung. Alle Geschlechteridentitäten werden ausdrücklich mitgemeint, soweit die Aussagen dies erfordern.

1. Einleitung

Risse des vorderen Kreuzbandes (VKB) zählen in Deutschland mit einer Inzidenz von 46/100.000 zu den häufigsten Verletzungen des Bewegungsapparates (Kohn et al., 2020) und stellen besondere Herausforderungen an Arzt und Patient. Eine Verletzung des VKBs kann zu Einschränkungen im Beruf, im Sport sowie dem täglichen Leben führen und bedarf evidenzbasierter Behandlungs- und Nachsorgekonzepte. Die Therapie eines VKB-Risses kann sowohl konservativ als auch operativ erfolgen, wobei die Behandlung auf den Anspruch des Patienten sowie individuelle Faktoren wie Aktivitätsniveau, Alter, Begleitverletzungen oder anatomische Besonderheiten abgestimmt (Diermeier et al., 2020) und in einem interdisziplinären Rahmen geplant werden sollte.

Ziele der operativen VKB-Versorgung sind unter anderem, sowohl die Kniegelenkskinematik als auch die Kniegelenksstabilität wiederherzustellen (Desai et al., 2013), Folgeschäden wie Arthrose oder sekundäre Meniskusschäden zu vermeiden (Petersen et al., 2023) und eine schnellstmögliche Rückkehr zum Sport zu gewährleisten (Runer et al., 2020). Der Routineeingriff wird bevorzugt in arthroskopischer Technik mit patienteneigenen Sehnentransplantaten und etwa 40.000-mal in Deutschland pro Jahr durchgeführt (Kohn et al., 2020). In etwa 3 % bis 13% (Lind et al., 2012; Persson et al., 2014; Schlumberger et al., 2017; van Eck et al., 2012) kommt es jedoch zu einer Reruptur der VKB-Plastik, was meist eine Revisionsoperation erfordert (Schlumberger et al., 2015). Um Revisionsoperationen zu vermeiden, die Patientenzufriedenheit zu erhöhen und die Kniegelenksstabilität nach primärer VKB-Plastik zu verbessern, wurde der Einsatz ergänzender stabilisierender Eingriffe vorangetrieben.

In den Fokus rückte dabei der anterolaterale Komplex (ALC), der aus kapsulären, ligamentären und tendinösen Strukturen an der Vorderaußenseite des Kniegelenks besteht und als wichtiger peripherer Stabilisator der anterioren tibialen Translation (ATT) und tibialen Innenrotation (TIR) dient (Wal et al., 2024; Kittl et al., 2016). Dieser Komplex ist bei VKB-Rupturen häufig mitbetroffen (Ferretti et al., 2019), und seine Schädigung stellt einen potenziellen Risikofaktor für das erneute Auftreten einer VKB-Ruptur dar (Grassi et al., 2020).

Das gesteigerte anatomische sowie biomechanische Verständnis für die anterolateralen Strukturen führte zur Wiederentdeckung operativer Techniken zur extraartikulären Stabilisation des Kniegelenks (Zabrzynski et al., 2025). Eine laterale extraartikuläre Tenodese (LET) soll diesen Komplex und damit indirekt das VKB stabilisieren und ist insbesondere bei Revisionseingriffen und bestimmten Patientengruppen, wie Sportlern oder Patienten mit ausgeprägtem präoperativem Pivot-Shift-Test, indiziert (Porter et al., 2018; Getgood et al., 2019; Zabrzynski et al., 2025). Durch Umverteilung der Lasten wirkt die extraartikuläre Tenodese protektiv auf das VKB (Mayr et al., 2022; Marom et al., 2020) und könnte helfen, eine persistierende anterolaterale Rotationsinstabilität (ALRI) trotz

erfolgreicher Kreuzbandoperation entscheidend zu verbessern (Ventura et al., 2021; Alm et al., 2020) und Rerupturraten nach primären VKB-Ersatzplastiken (Rezansoff et al., 2024; Getgood et al., 2020) sowie VKB-Revisionsoperationen zu senken (Saithna et al., 2023; Boksh et al., 2024).

Das Ziel unserer Studie war es, klinische sowie individuelle patientenbezogene Ergebnisse im Revisionsfall nach Reruptur der vorderen Kreuzbandplastik zu untersuchen. Hierzu wurden zwei Gruppen gebildet, um die Versagensrate der VKB-Revisionsplastiken, die Kniegelenksstabilität, subjektive Patientenbewertungen und Patientenzufriedenheit sowie klinische Ergebnisse mit (rVKB+LET-Gruppe) und ohne (rVKB-Gruppe) zusätzliche LET nach VKB-Revisionsoperation vergleichen zu können. Die Gruppen wurden zunächst retrospektiv gebildet und analysiert, im Anschluss und nach mindestens zwei Jahren Nachbeobachtungszeit klinisch nachuntersucht und durch Patientenfragebögen evaluiert.

1.1. Anterolateraler Komplex

1.1.1. Anatomie

Der anterolaterale Komplex beschreibt eine aus mehreren Einzelkomponenten bestehende Struktur, dessen genaue Nomenklatur sowie Lokalisation in der Literatur kontrovers diskutiert wird. Einheitlich beschrieben sind folgende Hauptkomponenten: Die superfiziellen Fasern des Tractus iliotibialis (sITB) sowie seine tiefen Anteile (dITB) mitsamt der abgehenden Kaplan Fasern werden zusammen mit dem anterolateralen Ligament (ALL) als Kernbausteine des Komplexes genannt (Geeslin et al., 2018; Kittl et al., 2017; Getgood et al., 2019). Der Komplex präsentiert sich als Verdickung der anterolateralen Kniegelenkkapsel (Günther et al., 2015), die einzelnen Strukturen sind nur durch aufwendige Präparation abzugrenzen.

Die Gelenkkapsel besteht aus einem superfiziellen und einem tiefen Teil, deren Aufteilung sich aus der Lagebeziehung der beiden Blätter zum lateralen Kollateralligament (LCL) ergibt (Garcia et al., 2022). Das innerhalb der anterolateralen Gelenkkapsel superior verlaufende ALL ist entgegen dem Namen eine kapsuläre und keine ligamentäre Struktur, welche leicht posterior und proximal des LCL am Epikondylus lateralis des Femurs ansetzt, über das LCL hinweg verläuft und zwischen Fibulaköpfchen und posterior des Tuberculum gerdyi an der Tibia inseriert (Getgood et al., 2019). Es kommuniziert über weitere Fasern, dem menisocofemorale und dem meniscotibiale Ligament, mit der Hinterwurzel des Außenmeniskus (Garcia et al., 2022).

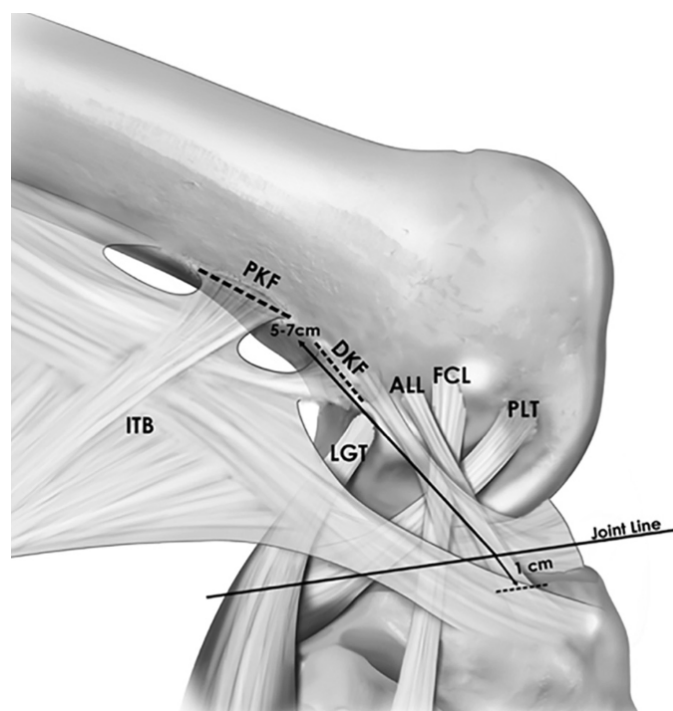


Abbildung 1: Anterolateraler Komplex rechts, Ansicht von lateral, nach Entfernung der Muskulatur und der Kniegelenkscapsel. PKF: proximale Kaplan Fasern, DKF: distale Kaplan Fasern, ALL: anterolaterales Ligament, ITB: Tractus iliotibialis FCL: fibulares Kollateralband, PLT: Popliteussehne, LGT: laterale Gastrocnemiussehne. Text- und Bildquelle: Geeslin et al., 2018.

Der Tractus iliotibialis (ITB) ist eine sehnige Verdickung der Fascia lata, über welche er in den m. gluteus maximus sowie den m. tensor fasciae latae mündet (Flato et al., 2017) und dessen distales Ende in mehrere anatomisch abgrenzbaren Anteile gegliedert werden kann: Der superfizielle Anteil verläuft nach distal zum Tuberculum gerdyi und ist als prominente Struktur über dem m. vastus lateralis bereits makroskopisch abzugrenzen (Garcia et al., 2022). Die anterioren Fasern des sITB, welche zur Patella und zur Patellarsehne ziehen, werden als iliopatellares Band beschrieben (Terry et al., 1986). Die tiefe Schicht des ITB (dITB) verbindet durch seine transversal nach femoral ziehenden Kaplan-Fasern (Kaplan et al., 1958) den Sehnenstrang mit dem Femur, darunter ist zuletzt die kapsuloossäre Schicht des ITB als Verstärkung der lateralen Gelenkkapsel auszumachen (Kittl et al., 2018).

1.1.2. Lage

In Abhängigkeit der verwendeten Dissektionstechnik und der Positionierung des Gelenks während der Untersuchung gibt es leicht variierende Beschreibungen der anatomischen Lage des ALC. Zusammenfassend lässt sich der Ursprung der ligamentären Struktur auf Höhe des lateralen femoralen Epikondylus lokalisieren, während der Komplex leicht posterior des Tuberculum gerdyi knapp unterhalb der lateralen tibialen Gelenkfläche inseriert (Günther et al., 2015).

1.1.3. Biomechanik der Strukturen des anterolateralen Komplexes

Der anterolaterale Komplex und das vordere Kreuzband sind zwei eng miteinander verknüpfte Strukturen und teilen gemeinsame biomechanische und anatomische Eigenschaften. Die TIR sowie die ATT im Kniegelenk werden bei ähnlichem Faserverlauf der Strukturen synergistisch beeinflusst, wobei das VKB die dominantere Struktur darstellt (Kittl et al., 2018).

Zum einen dient der anterolaterale Komplex als sekundärer Stabilisator für das VKB (Kittl et al., 2017; Getgood et al., 2019; Wal et al., 2024) und trägt insbesondere dazu bei, die beiden oben genannten Bewegungsrichtungen, welche sich nach VKB-Ruptur vergrößern (Amis et al., 2005), zu limitieren (Geeslin et al., 2018). Zum anderen werden die anterolateralen Strukturen bei VKB-Rupturen in 63-93% der Fälle mitverletzt (Willinger et al., 2023; Terry et al., 1986). In Folge einer Verletzung des Komplexes kann es dann wiederum zu einer erhöhten Belastung des Kreuzbandes kommen (Marom et al., 2020), was die biomechanische Relevanz der anterolateralen Ecke als protektive Struktur für das VKB unterstreicht.

1.1.3.1. Tractus iliotibialis und Kaplan-Fasern

Der Tractus iliotibialis fungiert als zentraler Stabilisator des anterolateralen Komplexes, wobei seine stabilisierenden Eigenschaften hauptsächlich durch die Kaplan-Fasern vermittelt werden, die die Verbindung des Sehnenstrangs mit seiner kapsuloossären Schicht am Femur sichern (Geeslin et al., 2018). Er ist der wichtigste sekundäre Stabilisator der Innenrotation des Kniegelenkes und hilft darüber hinaus, die ATT zu limitieren (Wal et al., 2024; Kittl et al., 2016). Während die ATT jedoch fast ausschließlich durch das VKB als primären Stabilisator limitiert wird (Kittl et al., 2016; Noyes et al., 2017; Willinger et al., 2023; Amis et al., 2005), übernimmt in VKB-defizienten Kniegelenken der ITB eine größere Rolle in der Beschränkung dieser Bewegungsrichtung (Kittl et al., 2016), wenngleich keine der anterolateralen Strukturen eine signifikante Stabilisation der ATT bei VKB-rupturierten Kniegelenken gewährleisten kann (Willinger et al., 2023; Noyes et al., 2017). Eine vollständige Ruptur des ITB wird dabei selten beobachtet, der Funktionsausfall könnte demnach durch die Mitverletzung der Kaplan-Fasern und den daraus resultierenden Verlust der femoralen Anheftung im Rahmen einer VKB-Ruptur bedingt werden (Sonnery-Cottet et al., 2016).

1.1.3.2. Anterolaterales Ligament

Das ALL scheint im Vergleich zum ITB deutlich weniger Einfluss auf die Stabilisierung des Kniegelenkes nehmen zu können: Es wird meist nur ein insignifikanter (Kittl et al., 2016; Noyes et al., 2017) Einfluss auf die Limitation der Innenrotation beschrieben. Auch bezüglich der ATT scheint das ALL keine tragende Rolle zu spielen (Noyes et al., 2017). Gegensätzlich hierzu beschreiben einige Autoren rotationskontrollierende Fähigkeiten

und auch ATT-limitierende Eigenschaften des Ligaments (Sonnery-Cottet et al., 2017). Vergleicht man jedoch die Morphologie zwischen ALL und ITB, so fällt auf, dass der ITB durch seine flächige femorale Insertion über die Kaplan-Fasern und dem Verbund zum Tuberculum gerdyi eine vorteilhaftere anatomische Ausrichtung als das eher vertikal und nicht so flächig ausgerichtete ALL besitzt, was sich auch in der überlegenden Funktion des ITB widerspiegeln könnte (Williams et al., 2018).

1.2. Anterolaterale Rotationsinstabilität

1.2.1. Definition

Eine anterolaterale Rotationsinstabilität (ALRI) entsteht durch vermehrte ATT in Kombination mit vermehrter, unphysiologischer TIR und ist eine häufige Komplikation nach einem Riss des VKBs, kann jedoch auch durch isolierte Verletzungen des ALC hervorgerufen werden (Hughston et al., 1976). Insbesondere Kombinationsverletzungen des VKBs und des ALCs begünstigen durch den Wegfall der intra- und extrakapsulären Stabilisierung die Entwicklung einer ALRI (Kittl et al., 2014). Trotz adäquater Operation besteht sie bei etwa 25% der Patienten, die eine isolierte VKB-Plastik erhielten, nach der Operation weiter (Sonnery-Cottet et al., 2015).

Ein Fortbestehen einer ALRI nach isoliertem Ersatz des VKBs ist mit schlechteren klinischen Ergebnissen, geringerer Patientenzufriedenheit, einer erhöhten Rate an Rerupturen und einer verminderten Rückkehr zur sportlichen Betätigung verbunden (Slichter et al., 2018). Deshalb ist es bei bestimmten Patientengruppen unerlässlich, neben den zentralen auch die peripheren Kniegelenksstabilisatoren chirurgisch zu adressieren, um einer ALRI, welche ein erhöhtes Risiko für die erneute Ruptur des VKBs darstellt, entgegenzuwirken (Grassi et al., 2020).

1.2.2. Biomechanik

Die TIR ist eine an die ATT gekoppelte Bewegung. Die Tendenz des lateralen Tibiaplateaus nach innen zu rotieren ist dabei bereits anatomisch begründet: Das laterale Tibiaplateau ist konvex und damit inkongruent zur ebenfalls konvexen Femurkondyle geformt, während das mediale Kompartiment durch seine kongruentere Form und die erhöhte Passform mehr Stabilität aufweist und dadurch weniger beweglich ist. (Amis et al., 2005)

Nach einem Kreuzbandriss erhöht sich die ATT und damit auch die TIR, das tibiale Drehzentrum wird von der Eminentia intercondylaris in das mediale Kompartiment verlagert und somit erhöht sich auch die Entfernung des lateralen Kompartiments zum Drehzentrum (Amis et al., 2005). Dies führt bei gleichbleibendem Rotationswinkel zu einer erhöhten anterioren Beweglichkeit des lateralen Gelenkabschnittes, was seine Tendenz nach anterior zu subluzieren erhöht (Amis et al., 2005) und in der klinischen

Untersuchung als Pivot-Shift-Phänomen imponiert (Yamamoto et al., 2006). Das Ausmaß der Bewegungsauslenkung könnte dabei durch eine Verletzung des anterolateralen Komplexes begünstigt werden, da neben der intraartikulären auch ein Großteil der extraartikulären Stabilisierung wegfällt (Noyes et al., 2017).

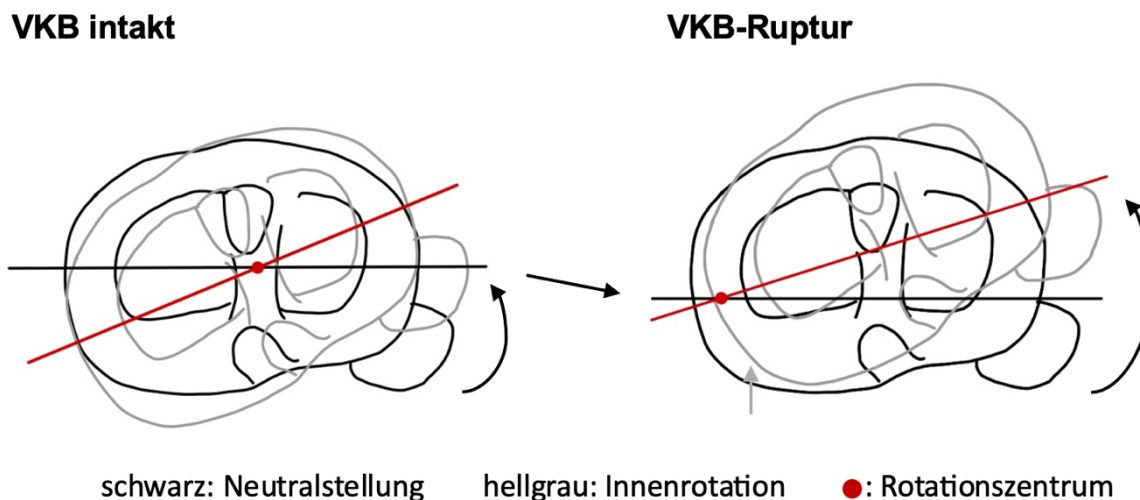


Abbildung 2: Veränderung der Rotationsachse in Innenrotation bei intaktem vs. rupturiertem VKB. Bei intaktem VKB befindet sich das Rotationszentrum in Neutralstellung zentral auf Höhe der eminentia intercondylaris. Nach VKB-Riss verlagert sich die Rotationsachse in das mediale Kompartiment, woraus eine erhöhte Innenrotation (schwarzer Pfeil) sowie eine erhöhte anteriore Translation (grauer Pfeil) resultiert. Text- und Bildquelle modifiziert nach Amis et al., 2005.

Der Funktionsausfall des vorderen Kreuzbandes selbst begünstigt die Entwicklung einer ALRI (Kittl et al., 2014), aber auch eine Verletzung des anterolateralen Komplexes kann eine ALRI hervorrufen (Hughston et al., 1976; Kittl et al., 2014). Das aus zwei Bündeln bestehende vordere Kreuzband nimmt durch die unterschiedlichen Fasereigenschaften seines anteromedialen und posterolateralen Bündels sowohl an der Flexion als auch an der Extension des Kniegelenkes teil und vermittelt darüber hinaus neuromuskuläre Kontrolle im Kniegelenk (Georgoulis et al., 2010). Es spielt eine wichtige Rolle in der Kontrolle der Innenrotation in den frühen Flexionsgraden des Kniegelenkes (Kittl et al., 2018) und ist ebenfalls für den sog. „screw-home“ Mechanismus verantwortlich, welcher eine Schlussrotation der Tibia in Extension bezeichnet (Hallén et al., 1966). Dabei handelt es sich um eine physiologische Außenrotation, welche die volle Extension markiert (Hallén et al., 1966; Georgoulis et al., 2010) und maximale Stabilität im aufrechten Stehen gewährleistet. Dieser Mechanismus ist insbesondere in pivotierenden Sportarten von großer Bedeutung (Georgoulis et al., 2010). Ein Ausfall dieses Mechanismus könnte eine erhöhte Innenrotationsneigung der Tibia zur Folge haben (Kittl et al., 2018; Hallén et al., 1966) und somit eine ALRI begünstigen.

Neben der Verletzung des VKB ist auch eine Schädigung des ALC mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung einer ALRI verbunden (Kittl et al., 2014). Während das VKB

insbesondere in Extension die Innenrotation einschränkt, spielen bei der Flexion vor allem die KF und der ITB, die synergistisch mit dem ALL zusammenwirken, eine entscheidende Rolle (Willinger et al., 2023). Kommt es zu Verletzungen dieser Strukturen, fällt eine wichtige stabilisierende Komponente weg, und die Entstehung einer ALRI wird begünstigt.

Ein angeborener Risikofaktor, der zu einer erhöhten ALRI und somit zu einem erhöhten Risiko eines erneuten VKB-Risses nach Revisionsoperation führen könnte, ist der sog. posteriore tibiale slope (PTS). Ein erhöhter PTS, also ein steilerer Reklinationswinkel des lateralen Tibiaplateaus in der Sagittalebene, kann das Abrutschen des Femurs nach posterior begünstigen (Peez et al., 2023) und führt zu einer Erhöhung der ATT, welche die biomechanische Grundlage für die Entwicklung einer ALRI bietet (Dejour et al., 1994; Kittl et al., 2014). Dabei geht eine Erhöhung des PTS um 10° mit einer deutlichen Erhöhung der ATT um 6 mm einher, was den PTS zu einem bedeutenden anatomischen Risikofaktor macht (Dejour et al., 1994).

Eine fortbestehende ALRI stellt wiederum einen erheblichen Risikofaktor für eine erneute Ruptur des VKB nach bereits durchgeführter VKB-Revision dar (Grassi et al., 2020) und kann außerdem durch die abnorme Gelenkbeweglichkeit langfristig zu sekundären Schäden wie etwa an den Menisken oder dem Gelenkknorpel führen, was auf Dauer die Entstehung sekundärer Gelenkschäden wie Arthrose begünstigen kann (Georgoulis et al., 2010; van Yperen et al., 2018).

1.3. Diagnostik

1.3.1. Klinische Untersuchung

1.3.1.1. Lachman- und Schubladentest

Der Lachman-Test ist der sensitivste (86%) klinische Test zur Erkennung einer isolierten VKB-Ruptur, bildet jedoch unzureichend den Einfluss der sekundären Kniegelenksstabilisatoren auf das vordere Kreuzband ab (Benjaminse et al., 2006). Er testet die anterioposteriore Laxität des Kniegelenks in der Sagittalebene und wird vergleichsweise statisch in 30° Knieflexion durchgeführt (Kopf et al., 2012). Wie auch der vordere Schubladen-test prüft er insbesondere das anteromediale Bündel des VKBs und kann keine Rotationsinstabilitäten detektieren (Musahl et al., 2021). Der vordere Schubladentest ist dem Lachman-Test insbesondere im akuten Setting unterlegen und weist eine geringere Sensitivität und Spezifität auf (Musahl et al., 2021).

1.3.1.2. Pivot-Shift-Test

Der Pivot-Shift-Test ist ein dynamischer Test zur Beurteilung der Kniegelenksstabilität, welcher neben dem anteromedialen auch das posterolaterale Bündel des Kreuzbandes adressiert (Musahl et al., 2021) und die höchste Spezifität (98%) in der Detektion von Rupturen des VKBs aufweist (Benjaminse et al., 2006; Musahl et al., 2021). Er ermöglicht

eine zusätzliche Feststellung anterolateraler Instabilitäten, da die sekundären Kniegelenksstabilisatoren besonderen Einfluss auf die Resistenz im Pivot-Shift-Test zu haben scheinen (Geeslin et al., 2018). Der Test erlaubt eine Einschätzung der Subluxationstendenz sowie der Rotationskomponente nach Kreuzbandriss und wird neben seiner Anwendung im klinischen Alltag auch in robotergestützten in-vitro-Studien erfolgreich eingesetzt, um den Einfluss der Einzelkomponenten des ALC auf die Kreuzbandstabilität zu untersuchen (Geeslin et al., 2018; Kittl et al., 2016; Noyes et al., 2017; Sonnery-Cottet et al., 2016).

Für die optimale Durchführung des Testes sollte der Patient narkotisiert sein und in Rückenlage positioniert werden. Der Untersucher fixiert mit seiner ipsilateralen Hand durch festen Griff um die Ferse des Patienten das Bein in Innenrotation, erzeugt axialen Druck und stellt eine leichte Abduktion im ipsilateralen Hüftgelenk ein. Mit der kontralateralen Hand übt der Untersucher einen Valgusstress auf Höhe des Kniegelenkspaltes aus. Nun wird das Kniegelenk unter axialer und valgischer Krafteinwirkung in eingestellter Innenrotation des Unterschenkels auf circa 20° gebeugt, sodass unter optimalen Bedingungen und bei VKB-Ruptur eine Subluxationsstellung der Tibia beobachtet werden kann. (Musahl et al., 2011) Bei Positivität des Tests zeigt sich dann eine Reposition des Tibiaplateaus zwischen 20-40° in Knieflexion (Musahl et al., 2011). Die Reposition kann durch den Untersucher als Gleiten in die physiologische Gelenkposition wahrgenommen werden. Biomechanische Grundlage für die Reposition der Tibia bildet die Gravität sowie der Muskelzug des ITB (Musahl et al., 2011).

Der Test ist subjektiv und wird, wie in Tabelle 1 dargestellt, basierend auf der Wahrnehmung des Untersuchers in Grade eingeteilt, die durch das International Knee Documentation Committee (IKDC) definiert wurden (Jakob et al., 1987; Hefti et al., 1993). Dabei führen Begleitverletzungen des ALC bei Riss des VKBs zu erhöhter ATT und TIR, was ein höhergradiges Pivot-Shift-Testergebnis zur Folge haben könnte (Kittl et al., 2016). Eine hochgradige Instabilität im Pivot-Shift-Test deutet auf eine ausgeprägte Rotations- und Subluxationsneigung hin, die sich klinisch in einer „giving way“-Symptomatik beim betroffenen Patienten äußern kann (Noyes et al., 2017) und sich als subjektives Gefühl des Weggleitens des Kniegelenks unter Belastung äußert.

Grad	Testergebnis	Originalklassifikation	Beschreibung
0	normal (A)	equal	Stabiles Kniegelenk
1	nahezu normal (B)	glide (+)	Geringes, dennoch wahrnehmbares Gleiten der Tibia, geringe Instabilität
2	abnormal (C)	clunk (++)	Fühlbare Subluxation der Tibia und sichtbare Reduktion, mäßige Instabilität
3	stark abnormal (D)	gross (+++)	Eindrückliche Subluxation und Reduktion der Tibia, leicht sichtbar und fühlbar, hochgradige Instabilität

Tabelle 1: Einteilung des Pivot-Shift-Tests von Grad 0 bis Grad 3. Modifiziert nach Jakob et al., 1987 und Hefti et al., 1993.

1.3.2. Bildgebung

1.3.2.1. Magnetresonanztomographie

Um den klinischen Verdacht auf eine Verletzung des anterolateralen Komplexes bei einem vorderen Kreuzbandriss zu untermauern, empfiehlt sich die Durchführung einer Magnetresonanztomographie (MRT). Sie kann sowohl eine Verletzung des ALC als auch des VKB bildmorphologisch erfassen. So können die betroffenen Einzelkomponenten des ALC identifiziert und der Schweregrad der Verletzung klassifiziert werden.

Die Verletzung des VKB wird anhand direkter und indirekter Zeichen beurteilt, wobei Unterbrechungen der Kontinuität, Auftreibungen oder eine wellige Kontur des VKBs als direkter Hinweis auf eine Läsion zu werten sind, während der Nachweis eines bone bruise als indirektes Zeichen gilt (Kohn et al., 2020).

Eine einheitliche MRT-Klassifikation von Verletzungen des ALC ist noch nicht etabliert, meist erfolgt die Beurteilung anhand einer Bewertung der Signalintensität und Durchgängigkeit der einzelnen Strukturen. Physiologisch sind die Strukturen des ALC vollständig durchgängig und präsentieren sich hypointens ohne relevante Signalanhebung (Marumatsu et al., 2018; Balendra et al., 2022). Eine Verletzung des ALC manifestiert sich dagegen durch eine Signalanhebung, eine Kontinuitätsunterbrechung, Unregelmäßigkeiten im Faserverlauf oder eine diffuse Verdickung oder Ausdünnung der betroffenen Strukturen (Ferretti et al., 2019).

Die am häufigsten betroffene Struktur des ALC scheinen dabei die Kaplan-Fasern zu sein, wohingegen eine Verletzung des ALL deutlich seltener auftritt (Balendra et al., 2022). Das ALL ist im MRT als durchgehend hypointense Struktur, welche von der lateralen

Epikondyle über das LCL hinweg zum mittleren Drittel des Tibiaplateaus verläuft, zu identifizieren (Muramatsu et al., 2018). Die Kaplan-Fasern können im MRT proximal der lateralen Femurkondyle detektiert werden (Balendra et al., 2022).

Neben den beschriebenen Kriterien gibt es zudem auch indirekte Zeichen, welche auf eine Verletzung des ALC hinweisen können: Ein Knochenödem an der lateralen Femurkondyle ist, wie in Abbildung 3 zu sehen, ein Hinweis auf eine Verletzung der KF, da diese dort inserieren und bei Ausriss eine ödematöse Veränderung hervorrufen können (Balendra et al., 2022). Bei einer Verletzung der lateralen Kapsel erhärtet sich der Verdacht auf eine Verletzung des ALL (Ferretti et al., 2019). Ein weiteres Korrelat für eine Verletzung des ALC ist die sog. Segond-Fraktur (siehe Abschnitt 1.3.2.2.). Diese beschreibt eine Avulsionsfraktur am Ansatzpunkt des ALL an der anterolateralen proximalen Tibia, welche einen Ausriss des anterolateralen Komplexes markiert (Shaikh et al., 2017).

Eine mögliche Limitierung bei der Bewertung des ALC im MRT bei akuten Verletzungen kann die Überlagerung der Einzelstrukturen aufgrund einer diffusen Schwellung sein, welche sich durch die enge Lagebeziehung der Strukturen untereinander ergibt (Balendra et al., 2022). So könnten die ohnehin schwer abgrenzbaren Strukturen fälschlicherweise als rupturiert eingestuft werden.

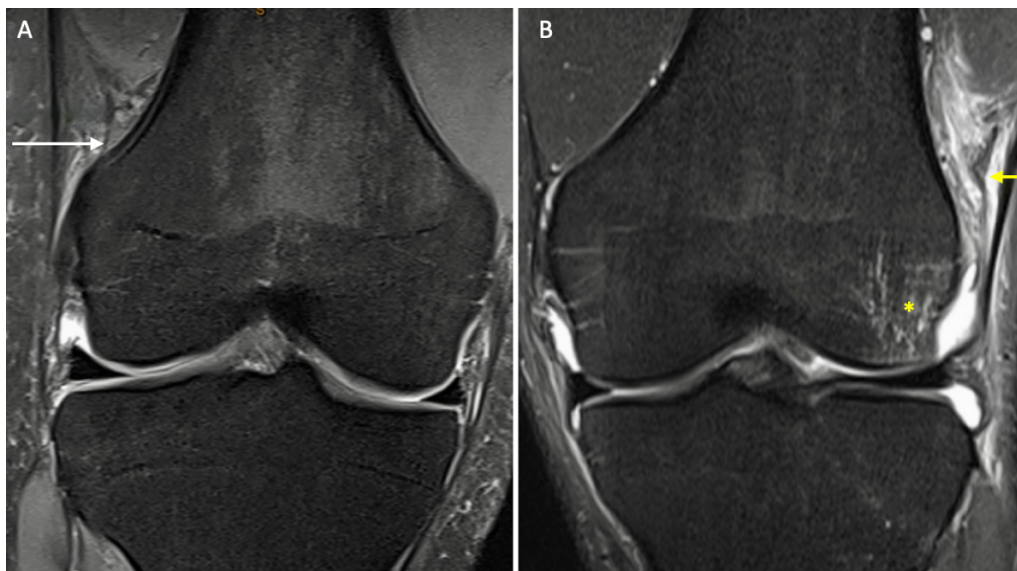


Abbildung 3: Protonendichte, fettsupprimierte MRT-Sequenz in koronarer Schnittebene. A: rechtes Kniegelenk mit intakten Kaplan-Fasern (weißer Pfeil). B: Linkes Kniegelenk mit Ruptur der KF (gelber Pfeil) sowie korrespondierendem Knochenmarksödem an der lateralen Femurkondyle (*). Text- und Bildquelle: Balendra et al., 2022.

1.3.2.2. Röntgendiagnostik

Knöcherner Pathologien wie eine Segond-Fraktur (siehe Abbildung 4) oder andere Avulsionsfrakturen, beispielsweise ein knöcherner Ausriss des VKBs, können in konventionellen Röntgenaufnahmen detektiert werden. Diese Bildgebungsmethode stellt daher einen weiteren wichtigen Baustein in der Kreuzbanddiagnostik dar, ermöglicht jedoch keine direkte Diagnose einer VKB-Ruptur oder assoziierter Begleitverletzungen, da ligamentäre Strukturen nicht sichtbar gemacht werden können.



Abbildung 4: Röntgenaufnahme in anterior-posterior Projektion des linken Kniegelenkes mit Segond-Fraktur am anterolateralen Tibiaplateau. Text- und Bildquelle: Peez et al., 2024.

1.3.2.3. Computertomographie

Für die Beurteilung akuter Pathologien des VKBs oder des ALC hat die Computertomographie (CT), abgesehen von der möglichen Feststellung einer Avulsionsfraktur, keine wesentliche diagnostische Bedeutung. Sie besitzt jedoch insbesondere im Revisionsfall nach bereits stattgehabter Kreuzbandoperation einen enorm hohen Stellenwert. Von ihr wird unter anderem abhängig gemacht, ob die Revisionsoperation im ein- oder zweizeitigen Setting durchgeführt werden kann (Kohn et al., 2020). Abhängig von der Position und Ausdehnung der Bohrkanäle ist dann eine Auffüllung der Kanäle mit autologem Knochenmaterial notwendig bzw. eine Wiederverwendung der bereits vorhandenen Kanäle oder das kollisionsfreie Einbringen neuer Bohrkanäle möglich.

1.4. Primäre Chirurgie des vorderen Kreuzbandes

Der arthroskopische VKB-Ersatz mit einem autologen Sehnenstransplantat gilt heute als Goldstandard in der Behandlung von VKB-Rupturen (Nwachukwu et al., 2019; Achtnich et al., 2018). Ergänzend dazu stehen VKB-erhaltende Operationsverfahren zur Verfügung

(Petersen et al., 2023). Es gibt viele verschiedene Operationstechniken, deren gemeinsames Ziel es ist, sekundäre Folgeschäden, insbesondere der Menisken und des Gelenkknorpels, zu vermindern und eine funktionelle Kniegelenksstabilität zu gewährleisten (van Yperen et al., 2018).

1.4.1. Erhaltende Operationsverfahren

VKB-erhaltende Techniken kommen insbesondere bei proximalen Avulsionsverletzungen und Partialrupturen des VKBs zum Einsatz, bei welchen das VKB meist mittels Anker oder Naht an der Ausrissstelle refixiert wird (Petersen et al., 2023). Weitere bekannte VKB-erhaltende Techniken sind die dynamische intraligamentäre Stabilisierung, die innere Schienung und die BEAR-Methode (Bridge-Enhanced ACL Repair) (Petersen et al., 2023).

1.4.2. Ersatzplastik

Im Vergleich zu VKB-erhaltenden Techniken bietet der VKB-Ersatz sowohl bessere patientenbezogene Ergebnisse als auch geringere Rerupturraten und gilt daher als Methode der Wahl (Nwachukwu et al., 2019).

Eine VKB-Ersatzplastik kann in unterschiedlichen Operationstechniken und mit verschiedenen Transplantaten durchgeführt werden. Das gemeinsame Ziel der Techniken ist es, das VKB so anatomisch wie möglich zu ersetzen (Runer et al., 2020; Achtnich et al., 2018) und seine Funktion möglichst gut zu imitieren. Ungeachtet der Operationstechnik sollte dabei so viel Sehnenmaterial wie möglich erhalten werden, um eine bessere Einheilung des Transplantates zu fördern und die körpereigenen Propriozeptoren zu erhalten (Achtnich et al., 2018).

Als VKB-Ersatz kann körperfremdes (allogenes) und körpereigenes (autogenes) Sehnenmaterial verwendet werden. Als autologe Transplantate eignen sich besonders die Quadriceps-, Patellar-, Semitendinosus- als auch Gracilissehne, deren Auswahl individuell und in Abhängigkeit von Voroperationen und Begleitverletzungen getroffen werden sollte (Kohn et al., 2020; George et al., 2006).

Die Fixation der Transplantate kann mithilfe verschiedener Implantate (Schrauben/Plättchen) sowie vollständig implantatfrei erfolgen. Sie können sowohl gelenknah als auch gelenkfern in einer Einzel- oder Doppelbündelkonfiguration eingebracht werden (Kohn et al., 2020).

1.5. Revisionschirurgie des vorderen Kreuzbandes

Circa 5-15% der primären Kreuzbandplastiken erfordern eine Revisionsoperation (Yabroudi et al., 2016; Samitier et al., 2015), was bei etwa 40.000 jährlich durchgeführten VKB-Ersatzplastiken in Deutschland (Kohn et al., 2020) einer Anzahl von 2.000-6.000 VKB-Revisionsoperationen entspricht. Eine Revisionsoperation ist jedoch nicht

ausschließlich nach einer VKB-Reruptur indiziert: Auch persistierender Schmerz, persistierende Instabilität, Steifigkeit des Kniegelenks oder Unzufriedenheit des Patienten sind Zeichen für eine VKB-Insuffizienz und erfordern eine operative Versorgung (Samitier et al., 2015). Eine VKB-Insuffizienz kann dabei sowohl durch ein direktes Trauma als auch sekundär durch atraumatische Ursachen entstehen (Samitier et al., 2015). Besonders gefährdet für eine Reruptur sind junge, aktive Patienten und insbesondere Sportler auf leistungsorientiertem Niveau (Yabroudi et al., 2016; Schlumberger et al., 2015).

Die atraumatischen Ursachen sind meist technischer (Fehlpositionierung der Bohrkanäle, falsche Transplantatspannung oder unzureichende Verankerung), diagnostischer (nicht diagnostizierte Begleitverletzungen, periphere Instabilitäten oder zu korrigierende Achsdeformitäten) und biologischer (mangelnde Einheilung des Transplantates oder postoperativer Infekt) Ursache (George et al., 2006) und müssen bei der Wahl des therapeutischen Procederes mitberücksichtigt werden.

Zusammenfassend bedarf es in der VKB-Revisionschirurgie eines differenzierten Vorgehens, das oft über die Anforderungen einer primären Operation hinausgeht. Es sollte deshalb präoperativ eine detaillierte Versagens- und Risikoanalyse vorgenommen, mögliche Einflussfaktoren auf das Transplantatversagen identifiziert, Begleitinstabilitäten diagnostiziert und die bereits bestehenden Bohrkanäle evaluiert werden, um diese therapeutisch adressieren zu können (Eberle et al., 2020; Samitier et al., 2015; Kohn et al., 2020). Hierzu empfiehlt sich eine ausgedehnte präoperative Diagnostik mittels konventionellem Röntgen zur Detektion indirekter Zeichen einer VKB-Reruptur, einer Röntgen-Ganzbeinaufnahme zur Beurteilung der Beinachse, einer seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenkes zur Beurteilung des PTS, einer MRT-Untersuchung zum Nachweis der VKB-Läsion und der Diagnostik von Begleitverletzungen und einer CT-Untersuchung zur Beurteilung der bereits bestehenden Bohrkanäle und der Planung eines ein- oder zweizeitigen Procederes. Außerdem sollte ein laborchemischer Infektausschluss erfolgen. (Eberle et al., 2020; Kohn et al., 2020)

Anatomische Besonderheiten wie Beinachsendeformitäten oder ein erhöhter PTS können dann, ebenso wie periphere Instabilitäten, operativ adressiert werden und helfen, ein bestmögliches Ergebnis zu gewährleisten (Kohn et al., 2020; Eberle et al., 2020).

1.6. Laterale extraartikuläre Tenodese

1.6.1. Definition

Die laterale extraartikuläre Tenodese ist ein chirurgisches Verfahren, das in verschiedenen Techniken umgesetzt werden kann. Allen Methoden gemein ist das Ziel,

den anterolateralen Komplex nach einem Riss des VKB zu unterstützen oder, im Falle einer Mitverletzung des ALC, dessen anatomische Struktur wiederherzustellen. Die Operation wird meist als Begleiteingriff zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes und insbesondere im Revisionsfall eingesetzt. (Getgood et al., 2019)

Das Ziel der lateralen, extraartikulären Tenodese ist es, die intraartikuläre Kreuzbandplastik durch eine extraartikuläre Augmentation zu verstärken und somit das Kreuzbandtransplantat bei erhöhter Kniegelenksstabilität zu unterstützen (Jesani et al., 2019). Dies wird insbesondere durch die Einschränkung der ATT und der TIR erreicht, die einer ALRI entgegenwirken und somit das Risiko einer Kreuzbandruptur verringern (Rosenstiel et al., 2019; Saithna et al., 2023).

1.6.2. Geschichte

Das Prinzip der LET ist bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt, eine der bedeutendsten Operationstechniken nach Lemaire (Lemaire et al., 1967) wurde bereits Ende 1960 publiziert. Damals verstand sich die LET als isolierte Operation, welche ohne begleitende Kreuzbandrevisionsplastik durchgeführt wurde. Heute erlebt die LET eine Renaissance, was sich aus einer Vielzahl an Publikationen über den ALC, durch die Wiederentdeckung des ALL (Claes et al., 2013) und dem damit verbundenen Interesse an komplexstabilisierenden Eingriffen entwickelte. Da eine LET jedoch als isolierter Eingriff nach Kreuzbandriss keine ausreichende Kniegelenksstabilität gewährleisten kann (Slette et al., 2016), wird sie heute als Begleiteingriff zur VKB-Plastik durchgeführt.

1.6.3. Biomechanik

Der biomechanische Einfluss der LET auf das VKB-Transplantat ist dabei vielseitig: Zum einen arbeitet die LET synergistisch mit dem VKB-Transplantat zusammen, ähnlich wie der gesunde anterolaterale Komplex mit dem nativen Kreuzband, und hilft dabei, insbesondere die tibiale Innenrotation zu kontrollieren und zu limitieren (Porter et al., 2018). Da die LET im Vergleich zur Kreuzbandplastik eine durch die periphere Position vorteilhaftere Lage und somit einen längeren Hebelarm besitzt, kann sie einen beträchtlichen Einfluss auf die TIR nehmen (Amis et al., 1993). Außerdem dient der Verlauf des ITB-Streifens unter dem LCL nach erfolgter LET dazu, das Transplantat in einer möglichst isometrischen Position zu fixieren und einen mechanisch vorteilhaften Vektor zu kreieren, der die TIR besser als der nativ eher senkrecht verlaufende ITB limitieren kann (D'Ambrosi et al., 2025).

Zudem trägt eine LET durch Umverteilung der Lasten auf die sekundären Kniegelenksstabilisatoren dazu bei, die VKB-Plastik zu entlasten (Marom et al., 2020; Mayr et al., 2022). In vitro wurde gezeigt, dass die zusätzliche extraartikuläre Stabilisierung die Kraft, die im simulierten Pivot-Shift-Test auf die VKB-Plastik wirkt, um bis zu 80% reduzieren kann. Dies unterstreicht die schützende Funktion der LET für das

VKB in Innenrotation sowie im Pivot-Shift-Test, während die ATT ebenfalls limitiert werden kann. (Marom et al., 2020)

In Bezug auf die Wiederherstellung der physiologischen Kniegelenkskinematik scheint eine zusätzlich durchgeführte extraartikuläre Stabilisierung (insbesondere bei VKB-Ruptur mit Beteiligung des ALC) ebenfalls von Vorteil zu sein, da die anterolaterale Ecke im Gegensatz zur isolierten VKB-Plastik mitadressiert wird (Inderhaug et al., 2017).

1.6.4. Indikationsstellung für VKB-Revision mit zusätzlicher LET

Trotz fehlender umfassender Evidenz gibt es einige allgemein anerkannte Indikationen für den kombinierten Ersatz des VKBs mit zusätzlicher LET, wie sie beispielsweise auf dem ACL Consensus Meeting 2019 formuliert wurden: Die am häufigsten vorliegende und zugleich bedeutendste Indikation sei dabei die Revisionsplastik bei VKB-Reruptur mit fortbestehender Instabilität nach erfolgter Operation (Getgood et al., 2019). Die meisten anderen Indikationen betreffen das individuelle Risikoprofil der Patienten: Insbesondere junge, sportlich aktive Personen, die Risiko- bzw. „high pivoting“ Sportarten betreiben, könnten von dem Eingriff profitieren. Außerdem stellt ein hochgradiger präoperativer Pivot-Shift-Test eine Indikation für eine zusätzliche LET dar, ebenso wie generalisierte Laxität der Bänder oder ein genu recurvatum. (Getgood et al., 2019)

Weitere Indikationen können aus den präoperativen bildgebenden Untersuchungen abgeleitet werden: Bei Nachweis einer Segond-Fraktur, einem posterioren tibialen Slope von mehr als 12°, einem reduzierten interkondylären Notch-Index von weniger als 0,22 oder bei transchondralen Frakturen des lateralen Femurkondylus oder des lateralen Tibiaplateaus scheint eine zusätzliche LET sinnvoll (Green et al., 2023).

1.6.5. Verfahrensüberblick

Eine extraartikuläre Stabilisierung kann über eine Tenodese des Tractus iliotibialis oder durch eine Rekonstruktion des ALL durchgeführt werden (Wal et al., 2024). Beide Techniken können eine signifikante Reduktion der residualen ALRI nach isoliertem VKB-Ersatz erreichen (Wal et al., 2024) und zeigen gute mittelfristige Ergebnisse in Bezug auf die Kniegelenksstabilität und die VKB-Rerupturrate (Sonnerly-Cottet et al., 2015; Rosenstiel et al., 2019; Ventura et al., 2021; Saithna et al., 2023).

Es gibt zahlreiche etablierte Operationstechniken für eine erfolgreiche Durchführung einer Tenodese des ITB sowie einer Rekonstruktion des ALL. Unterschiede in den einzelnen Techniken zeigen sich jeweils in der Auswahl des Transplantates, in der Art (Nähte, Schrauben, Anker) und dem Ort der Befestigung, in der Einbeziehung anderer Strukturen (Bänder, Muskelsehnen) und im Flexionswinkel des Kniegelenkes, in welchem das Transplantat eingebracht wird (Hughes et al., 2019; Park et al., 2022).

Dennoch findet im klinischen Alltag insbesondere die ITB-Tenodese Anwendung, da sie eine geringere Entnahmemorbidität aufweist, technisch weniger anspruchsvoll ist, weniger Operationszeit in Anspruch nimmt und kein zusätzlicher femoraler oder tibialer Bohrkanal angelegt werden muss (Flury et al., 2018). Außerdem scheint die Tenodese des ITB der ALL-Rekonstruktion biomechanisch und in der Wiederherstellung der Kniegelenks-kinematik überlegen zu sein (Inderhaug et al., 2017).

1.6.5.1. Tenodese des Tractus iliotibialis

Zwei der bekanntesten Techniken für die Tenodese des ITB sind die Technik nach Lemaire (Lemaire et al., 1967) sowie die Technik nach Ellison (Ellison et al., 1979), welche heute meist in modifizierter Form zum Einsatz kommen (Herbort et al., 2022; Jesani et al., 2019). Bei beiden Techniken wird ein zentraler Gewebestreifen aus dem Tractus iliotibialis herauspräpariert und proximal (modifizierte Lemaire-Technik) oder distal (modifizierte Ellison-Technik) abgesetzt. Dieser Gewebestreifen wird unter dem lateralen Kollateralband hindurchgeführt und anschließend proximal am Femur (modifizierte Lemaire-Technik) oder distal am Tuberculum gerdyi (modifizierte Ellison-Technik) fixiert.

1.6.5.2. Rekonstruktion des anterolateralen Ligaments

Eine ALL-Rekonstruktion zielt darauf ab, einen möglichst anatomischen Ersatz des Ligaments mittels Autograft zu erreichen, während die ITB-Tenodese eine nicht-anatomische Stabilisierung des anterolateralen Komplexes anstrebt (Park et al., 2022). Sie wird oftmals in Kombination mit einer vorderen Kreuzbandplastik durchgeführt, da dabei der für das Kreuzbandtransplantat angelegte femorale Bohrkanal mitgenutzt werden kann und sich zudem bei beiden Verfahren die Hamstringsehnen als gemeinsames Transplantat verwenden lassen (Saithna et al., 2017; Rosenstiel et al., 2018). Es ist jedoch eine Vielzahl an Techniken ohne Mitbenutzung der VKB-Kanäle mit Anlage eigener tibialer und femoraler Kanäle und isolierter Einbringung des Transplantates nach möglichst anatomischem Abbild beschrieben (Park et al., 2022).

2. Fragestellung und Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Patientengruppen retrospektiv analysiert und anschließend klinisch nachuntersucht, um den Einfluss einer zusätzlich durchgeführten LET bei einer Revisionsoperation des VKBs im Vergleich zu einer isolierten VKB-Revisionsoperation ohne begleitende LET zu evaluieren. Ziel der Untersuchung ist es, die Patient-Reported Outcome Measures (PROMs), die Stabilität des Kniegelenks sowie das subjektive und objektive klinische Outcome beider Gruppen zu vergleichen. Außerdem soll die Rückkehr zum Sport untersucht werden.

Um die ATT und somit auch die Kniegelenksstabilität nach einer Revisionsoperation des VKBs festzustellen und sie mit der gesunden Gegenseite vergleichen zu können, wurde in der klinischen Nachuntersuchung ein Rolimeter verwendet und klinische Funktionstests zur VKB-Stabilität durchgeführt. Zur Quantifizierung und Beurteilung der Wahrnehmung der Patienten wurden etablierte klinische Scores erhoben, welche mittels Fragebögen erfasst wurden.

Das übergeordnete Ziel der Studie war es, sowohl retrospektiv als auch durch die klinische Nachuntersuchung nach frühestens zwei Jahren Follow-up festzustellen, ob und in welchem Maß die Patienten von einer additiven LET profitieren und welchen Einfluss der gewählte Therapieansatz auf die mittelfristige Lebensqualität, die Return-to-Sport-Rate (RTS) und die Stabilität des Transplantates, insbesondere in Bezug auf die Re-Rupturrate, hat.

Die Hypothese der vorliegenden Arbeit ist, dass die Durchführung einer zusätzlichen LET im Rahmen einer Revisionsoperation nach vorderer Kreuzbandruptur zu vergleichbar guten klinischen Ergebnissen und tendenziell höherer Kniegelenksstabilität bei erniedrigter Re-Rupturrate im Vergleich zur alleinigen Revisionsplastik des vorderen Kreuzbandes führt.

3. Methodik

Die retrospektive Studie mit anschließender, klinischer Nachuntersuchung der Patienten wurde durch die institutionelle Ethikkommission der Technischen Universität München genehmigt und gemäß den Statuten der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

In die Studie eingeschlossen wurden Patienten, welche im Zeitraum von Februar 2017 bis Dezember 2021 eine Revisionsoperation des vorderen Kreuzbandes mit oder ohne zusätzliche LET in der Sektion für Sportorthopädie am Klinikum Rechts der Isar in München erhielten und zum Operationszeitpunkt volljährig waren. Alle Patienten wurden mündlich sowie schriftlich per Zusendung einer Patienteninformationsbroschüre über das Vorhaben der Studie aufgeklärt und erteilten ihre freiwillige Teilnahmezustimmung am Forschungsvorhaben durch Unterzeichnung der Einwilligungserklärung nach den Richtlinien der Universität.

Voraussetzung für den Einschluss in die Studie war eine Mindestnachbeobachtungszeit von zwei Jahren ab dem Operationszeitpunkt. Patienten, die eine Teilresektion oder Naht des Innen- oder Außenmeniskus erhielten, eine Partialläsion des medialen Kollateralbandes erlitten, die konservativ erfolgreich behandelt werden konnte, oder bildmorphologisch geringgradig arthrotische Veränderungen ohne Symptomatik aufwiesen, wurden in die Studie miteingeschlossen. Ebenso wurden Patienten unabhängig von der Anzahl der aufgetretenen VKB-Rerupturen eingeschlossen.

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren das Auftreten einer kontralateralen VKB-Läsion, die zusätzliche Durchführung einer Knorpeltherapie, eine VKB-Reruptur im Rahmen einer Multiligamentverletzung, das Auftreten einer postoperativen Kniegelenksinfektion sowie die zusätzliche Durchführung einer Umstellungsosteotomie oder einer operativen Slopekorrektur. Außerdem wurden Patienten mit valgischen oder varischen Beinachsdeformitäten über 5° sowie Patienten mit einem posterioren tibialen Slope über 12° ausgeschlossen.

Präoperativ erhielten alle Patienten eine röntgenologische Ganzbeinstandaufnahme zur Beurteilung der Beinachse, eine Magnetresonananzuntersuchung zur Detektion des Ortes und der Art der VKB-Läsion sowie zur Feststellung etwaiger Begleitpathologien der Knieinnenstrukturen. Zuletzt wurde eine computertomografische Untersuchung zur Beurteilung der vorbestehenden Bohrkanäle und knöchernen Risikofaktoren durchgeführt. In Abhängigkeit der Befunde wurde dann ein ein- oder zweizeitiges Verfahren gewählt.

3.1. Operationstechnik

3.1.1. Revisionsoperation des vorderen Kreuzbandes

Alle Patienten erhielten eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in arthroskopischer Single-Bundle-Technik und mit Einsatz eines autologen Sehnentransplantates. Die Transplantatwahl wurde dabei abhängig von den Voroperationen, dem individuellen Risikoprofil, dem Wunsch des Patienten und Verfügbarkeit der körpereigenen Sehnen getroffen. Je nach Indikation und Präferenz des Operateurs wurden Quadrizeps- oder Hamstring- Sehnentransplantate verwendet (vgl. Tabelle 3). Diese wurden bis zur gewünschten Transplantatstärke aus einer isolierten Semitendinosussehne oder einer Kombination aus Semitendinosus- und Gracilissehne gewonnen.

3.1.1.1. Einzeitiges Vorgehen

Konnten die bereits angelegten Kanäle aufgrund ihrer anatomischen Lage wiederverwendet werden oder waren sie extraanatomisch angelegt, sodass eine anatomische Anlage neuer Bohrkanäle möglich war, wurde ein einzeitiges Vorgehen mittels direkter Revisionsoperation gewählt.

3.1.1.2. Zweizeitiges Vorgehen

Sofern eine nicht- oder semianatomische Lage der Bohrkanäle, ein drohender Bohrkanalkonflikt oder eine Weitung der Kanäle über einen Durchmesser von 12mm vorlag, erhielten die Betroffenen ein zweizeitiges Verfahren mit Auffüllung der Bohrkanäle mittels autogener Beckenkammpongiosa oder allogener Spongiosazyylinder im ersten Schritt und Durchführung der Revisionsplastik des VKBs im zweiten Schritt.

Nach einer Mindestdauer von drei Monaten nach Bohrkanalauffüllung wurde eine CT-Kontrollbildgebung zur Beurteilung der Einheilung des eingebrachten Knochenmaterials durchgeführt. Bei vollständiger Konsolidierung der Tunnel konnte dann die arthroskopisch gestützte Revisionsoperation des VKBs erfolgen.

3.1.1.3. Revisionskreuzbandplastik

Die Revisionskreuzbandplastik wurde abhängig von der präoperativen Planung um eine extraartikuläre Tenodese erweitert oder isoliert durchgeführt. Die Operation erfolgte unter Intubationsnarkose in Rückenlage und unter Anlage einer Oberschenkel-Blutsperrung mit einem Manschettendruck von 280 mmHg.

Zu Beginn der Operation wurde die Entnahme der autologen Sehne durchgeführt, wofür zunächst entsprechende Schritte notwendig waren, ehe eine standardisierte Rekonstruktion des VKBs erfolgen konnte:

- **Quadrizeps-Sehnentransplant:** Vertikale Hautinzision über 5 cm vom oberen Patellapol nach kranial mit anschließender subkutaner Präparation und Entnahme eines in etwa 8 cm langen und 1 cm dicken Quadrizepssehnenstreifens mittels Sehnenmesser. Anschließend Seit-zu-Seit-Verschluss der Quadrizepssehne bei gleichzeitiger Armierung des Transplantates am Nebentisch.
- **Hamstring-Sehnentransplantat:** Längsinzision medial und distal der Tuberositas tibiae, subkutane Präparation und Eröffnen der Sartoriusfaszie, Entnahme der Semitendinosussehne mittels Sehnenstripper. Bei ausreichender Dicke und ausreichendem Durchmesser des Transplantates Zuwendung zur Armierung, ansonsten zusätzliche Entnahme der Gracilissehne. Abschließende Faltung und Armierung des Transplantates bis zu den gewünschten Transplantatmaßen.

Nach Entnahme und Vorbereitung des gewünschten Transplantates wird ein anterolaterales Portal zur diagnostischen Arthroskopie und anschließend ein anteromediales Arbeitsportal unter Sicht angelegt. Nach Präparation des femoralen und des tibialen VKB-Footprints erfolgt die Anlage der Bohrkanäle. Der femorale Kanal wird in anteromedialer Portaltechnik und bei endgradiger Knieflexion eingebracht, die Landmarke für seine Einbringung ist das Hinterhorn des Außenmeniskus. Der tibiale Kanal wird mit Hilfe eines tibialen Zielgerätes, welches in 90° Knieflexion ausgerichtet wird, angelegt. Es folgt der Einzug des vorbereiteten Implantats, welches femoral mittels TightRope-Systems und tibial durch das Eindrehen einer BioComposite-Interferenzschraube in 30° Kniegelenksflexion (beides Fa. Arthrex, Naples, FL, USA) fixiert wird.

3.1.2. Extraartikuläre Tenodese

Zu Beginn des Nachbeobachtungszeitraums ab Februar 2017 kam insbesondere die modifizierte Lemaire-Technik zum Einsatz, ab ca. 2020 wurde aufgrund steigender Erfahrung und der geringeren Wahrscheinlichkeit eines femoralen Bohrkanalkonfliktes zunehmend die modifizierte Ellison-Technik verwendet. Beide Techniken wurden im selben operativen Eingriff mit der VKB- Revisionsoperation und in Rückenlage bei weiterhin angelegter Blutsperrung durchgeführt.

3.1.2.1. Extraartikuläre Tenodese in modifizierter Lemaire-Technik

Inzision auf Höhe des Tuberculum gerdyi mit Hautschnitt über ca. 5 cm in Richtung lateraler Femurepikondylus mit anschließender subkutaner Präparation auf den Tractus iliotibialis. Proximales Absetzen eines ca. 8cm langen und 1cm dicken ITB-Streifens, welcher proximal armiert und anschließend unter dem LCL hindurchgezogen wird. Nach Anlage eines Ankerloches wird das Transplantat leicht proximal und posterior des Ansatzes des LCL am lateralen Femur bei etwa 60° Knieflexion mittels Interferenzschraube befestigt. (Jesani et al., 2019; Flury et al., 2018)

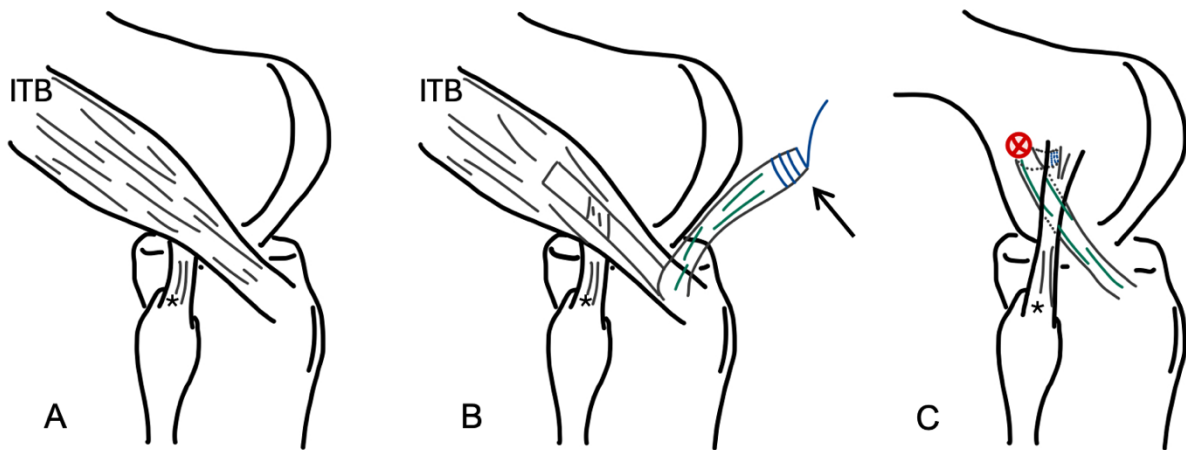


Abbildung 5: Schematische Zeichnung einer extraartikulären Tenodese in modifizierter Lemaire-Technik. A: rechtes Kniegelenk von lateral mit Tractus iliotibialis (ITB) und Ligamentum collaterale laterale (*). B: Proximales Absetzen des Tractusstreifens mit nachfolgender Armierung des proximalen Endes (schwarzer Pfeil). Das distale Ende des ITB verbleibt zu jeder Zeit an seinem Ansatzpunkt, dem Tuberculum gerdyi. C: Laterale Ansicht bei entferntem Tractus iliotibialis. Der Tractusstreifen wird unter dem Außenband hindurchgeführt und leicht posterior und proximal des Ansatzes des LCL mittels Fixierschraube (rotes X) eingebracht. Text- und Bildquelle modifiziert nach Schlichte et al., 2020.

3.1.2.2. Extraartikuläre Tenodese in modifizierter Ellison-Technik

Die Präparation auf den Tractus iliotibialis erfolgt analog zur oben genannten Technik. Auch hier wird ein Streifen von ca. 1 cm Breite aus dem mittleren Drittel des Tractus iliotibialis herauspräpariert, welcher anders als bei der modifizierten Lemaire Technik jedoch distal abgesetzt und armiert wird. Im nächsten Schritt wird der Tractusstreifen unter dem LCL hindurchgezogen und nach distal zum Tuberculum gerdyi geführt, wo er in 10° Kniegelenksflexion und mittels Knochenanker refixiert wird. (Herbort et al., 2022)

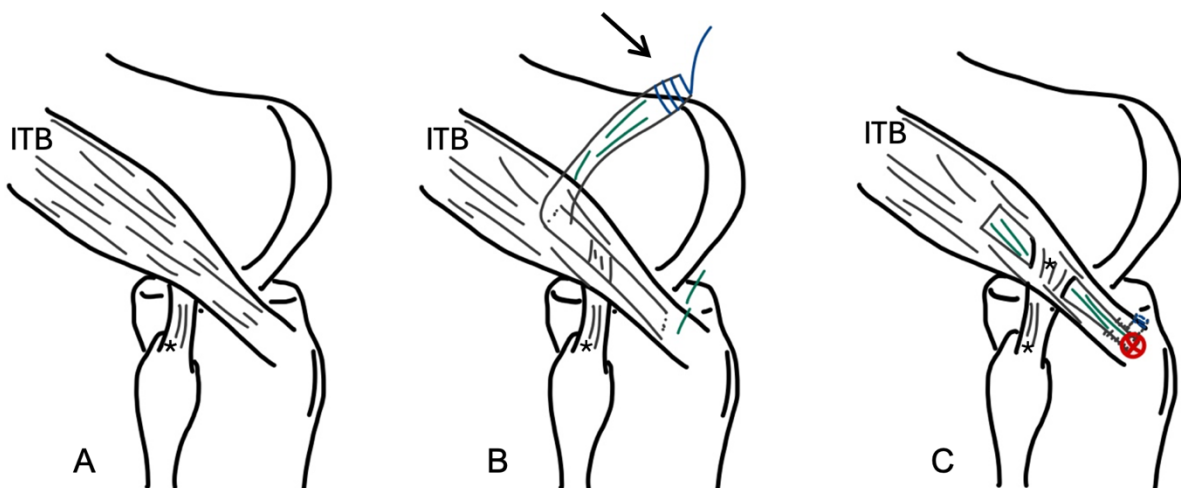


Abbildung 6: Schematische Zeichnung einer extraartikulären Tenodese in modifizierter Ellison-Technik. A: rechtes Kniegelenk von lateral mit Tractus iliotibialis (ITB) und Ligamentum collaterale laterale (*). B: Distales Absetzen des Tractusstreifens mit folgender Armierung des proximalen Endes (schwarzer Pfeil). C: Der Tractusstreifen wird von proximal nach distal unter dem Außenband hindurchgeführt und auf Höhe des Tuberculum gerdyi mittels Knochenanker (rotes X) eingebracht. Text- und Bildquelle modifiziert nach Herbort et al., 2022 und Schlichte et al., 2020.

3.1.3. Postoperatives Procedere

Das postoperative Procedere gestaltete sich in beiden Gruppen gleich. Direkt nach der Operation folgte die Wickelung, Kühlung und Hochlagerung des betroffenen Beins mit zusätzlicher Anlage einer 4 Punkt-Hartrahmenorthese, welche über sechs Monate getragen werden und im Verlauf an den durch das Procedere vorgegebenen Bewegungsumfang angepasst werden sollte. Alle Patienten durchliefen dasselbe postoperative Procedere mit Ausnahme der Patienten, welche eine zusätzliche Meniskusnaht erhielten. Bei dieser Patientengruppe wurde die Entlastungsphase mit 20kg Teilbelastung über sechs (statt zwei) Wochen durchgeführt.

Postoperative Phase	Erlaubtes aktives Bewegungsausmaß	Erlaubte Belastung
1.-2. Woche	90°/0°/0°	20 kg Teilbelastung (nur mit in Streckstellung eingestellter Schiene)
3.-6. Woche	90°/0°/0°	Beschwerdeabhängige Vollbelastung
6.-12. Woche	frei	Beschwerdeabhängige Vollbelastung
Ab 3. Monat	frei	Joggen, Fahrradfahren
Ab 6. Monat	frei	Sportartspezifisches Training
Ab 9. Monat	frei	Kontaktsport

Tabelle 2: Identisches postoperatives Therapieschema für beide Vergleichsgruppen.

Zusätzlich wurde den Patienten Physiotherapie verordnet, welche zu Beginn der postoperativen Phase insbesondere die passive Kniegelenksbeweglichkeit verbessern sowie die Muskelaktivität fördern sollte und ab der sechsten postoperativen Woche vor allem zur Kräftigung und Wiedererlangung der Propriozeption durchgeführt wurde.

3.2. Datenerhebung

3.2.1. Klinische Nachuntersuchung

Mindestens 24 Monate nach der Operation wurden die Patienten zu einer klinischen Nachuntersuchung eingeladen und zwischen August 2023 und Januar 2024 in den Räumlichkeiten der sportorthopädischen Sektion des Klinikums Rechts der Isar in München untersucht.

Jeder Patient erhielt nach ausführlicher Anamnese eine gezielte körperliche Untersuchung des Kniegelenkes mit Inspektion und Palpation und unter Anwendung gängiger, kniespezifischer Stabilitäts- und Provokationstestungen. Die Tests wurden bei jedem

Patienten standardisiert in gleicher Reihenfolge und durch den gleichen Untersucher durchgeführt (siehe Anhang). Sie sollten Aufschluss über mögliche Begleitpathologien des Kapsel-Bandapparates und der Menisken sowie über die Stabilität der passiven Kniegelenksstabilisatoren geben. Neben der Testung des medialen und lateralen Kollateralbandes in Extension und 20° Flexion wurden spezifische Meniskuszeichen sowie die Stabilität des hinteren Kreuzbandes überprüft.

Die Testung des Kreuzbandes (und des anterolateralen Komplexes) erfolgte durch folgende drei Untersuchungen: Zunächst wurde der Pivot-Shift-Test, wie in 1.3.1.2 beschrieben, durchgeführt und klassifiziert. Zur weiteren Testung des VKBs wurden der Lachman-Test, bei dem ein anteriorer Vorschub der Tibia in 30° Knieflexion appliziert wird, und ein vorderer Schubladentest, beim dem der tibiale Vorschub in ca. 90° Kniegelenksflexion überprüft wird, durchgeführt. Zur Beurteilung der Ergebnisse des Lachman- und Schubladentests wurde die Klassifikation des 2000 IKDC Knee Examination Forms der American Orthopaedic Society for Sports Medicine (AOSSM) verwendet (siehe Anhang): Normalbefund (0–2 mm tibialer Vorschub), Grad I (2–5 mm), Grad III (6–10 mm) und Grad IV (>10 mm).

Der Bewegungsumfang beider Kniegelenke wurde mittels Goniometer beurteilt und nach Neutral-Null-Methode dokumentiert.

3.2.1.1. Rolimeter

Das Rolimeter (Aircast Europa, Neubeuern, Deutschland) ist ein analoges Arthrometer zur Quantifizierung der ATT und Objektivierung der anterioren Kniegelenkslaxität (Ganko et al., 2000). Wie in Abbildung 7 zu sehen, liegt das Gerät auf der Patella auf und wird distal mit einem Riemen am Unterschenkel fixiert. Ein Messstab wird auf die Tuberositas tibiae aufgelegt und gibt nach Applikation des tibialen Vorschubs bei Lagerung des Beines in 30° Knieflexion die tibiale Ventralverschiebung in Millimeter an (Ganko et al., 2000).

Die Verwendung des Rolimeters kann als nicht-invasive Entscheidungshilfe (Ganko et al., 2000) bei der klinischen Beurteilung anteriorer Knielaxität helfen, um Insuffizienzen und Risse des vorderen Kreuzbandes zu detektieren, die Kreuzbandstabilität im Follow-up zu quantifizieren und mehr Sicherheit in der Indikationsstellung für eine Kreuzbandoperation zu gewährleisten.

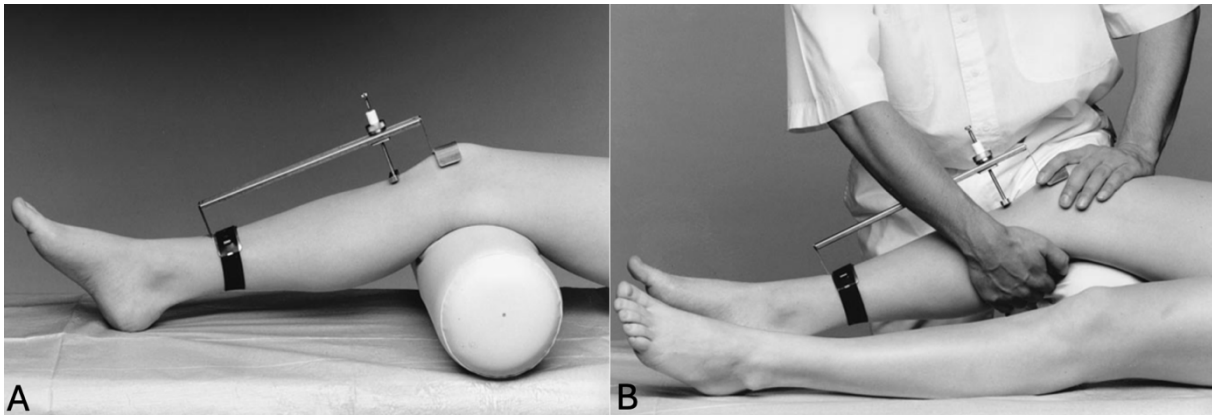


Abbildung 7: A: Korrekte Anlage des Rolimeters bei Lagerung des Beines in 30°Knieflexion durch eine Knierolle. Die Rundung des Rolimeters sollte zentral auf der Patella und der Messstab direkt auf die tuberositas tibia aufgelegt werden. B: Durchführung des Lachman-Tests mit dem Rolimeter. Die linke Hand des Untersuchers fixiert das Rolimeter und den Oberschenkel, die rechte Hand appliziert maximalen tibialen Vorschub. Text- und Bildquelle: Ganko et al., 2000.

In unserer Nachuntersuchung wurde zunächst das nicht-betroffene Bein und im Anschluss daran das betroffene Bein ausgemessen. Die errechnete Seitendifferenz (SSD) gibt dann Aufschluss über die Stabilität des operierten Kniegelenkes und somit indirekt über die Suffizienz des Kreuzbandtransplantates im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Ein Versagen der Kreuzbandplastik wurde analog zu Alm et al. mit einer SSD über 5mm definiert (Alm et al., 2020).

3.2.2. Patient-Reported-Outcome-Measures (PROMs)

Im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung erhielten die Patienten einen Fragebogen zur selbstständigen Bearbeitung. Dieser beinhaltete die im Folgenden aufgeführten, validierten klinischen Scores (PROMs) zur Erfassung der Patientenmeinung nach Revisionsoperation des vorderen Kreuzbandes mit oder ohne zusätzlicher Tenodese.

3.2.2.1. Visuelle Analogskala (VAS)

Zur Beurteilung des postoperativen Schmerzes wurde die visuelle Analogskala verwendet. Sie quantifiziert die subjektive Schmerzwahrnehmung auf einer Skala von 0 - 100 mm bzw. in Zahlen von null bis zehn (Myles et al., 2017). Ein höherer Zahlenwert auf der visuellen Analogskala spricht für ausgeprägtere, postoperative Schmerzen. Als Grenzwert für eine adäquate postoperative Schmerzkontrolle haben wir analog zu Myles et. al einen VAS von 33 mm (= Zahlenwert 3,3) definiert (Myles et al., 2017).

3.2.2.2. Tegner-Aktivitäts-Score (TAS)

Um einen Vergleich des prä- und postoperativen Aktivitätsniveaus zu ermöglichen, wurden die Probanden zu ihrer sportlichen Fähigkeit vor und nach der Operation befragt. Der Tegner-Score (siehe Anhang) beurteilt das Aktivitätsniveau nach ligamentärer

Verletzung des Kniegelenkes und wird auf einer Skala von null bis zehn angegeben. Er reicht von Bewegungsunfähigkeit (=Level 0) bis zur sportlichen Belastung auf kompetitivem und professionellem Niveau (=Level 10) (Tegner et al., 1985).

3.2.2.3. Modifizierter Lysholm-Score

Der aus der Originalpublikation im Jahre 1982 modifizierte Lysholm-Score (Tegner et al., 1985) (siehe Anhang) ermöglicht eine Bewertung der Kniegelenksfunktion in acht verschiedenen, unterschiedlich gewichteten Kategorien, wobei insgesamt 100 Punkte erreicht werden können. Der Fragebogen erfasst durch das Kniegelenk hervorgerufene Beschwerden in den Punkten Hinken, Belastbarkeit, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen und Hocke. Weniger als 65 Punkte sind mit einer unzureichenden, 65-83 Punkte mit einer befriedigenden, 84-95 mit einer guten und mehr als 95 Punkte mit einer hervorragenden Kniegelenksfunktion assoziiert. (Lysholm et al., 1982; Tegner et al., 1985)

3.2.2.4. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)

Dieser Score besteht aus fünf Unterkategorien, die der Bewertung der subjektiven Beeinträchtigung nach Kreuzband-, Meniskus- oder Knorpelverletzung des Kniegelenkes dienen. Die fünf Kategorien sind: Schmerz, Symptome, Aktivitäten des täglichen Lebens, Sport und Freizeit und kniespezifische Lebensqualität (siehe Anhang). Auch hier sind die Untergruppen unterschiedlich gewichtet und es können insgesamt 100 Punkte erreicht werden. Die Testergebnisse reichen von keinerlei (=Zahlenwert 100) bis zu stärkster (=Zahlenwert null) Beeinträchtigung nach Kniegelenksverletzung (Roos et al., 1998).

3.2.2.5. 2000 International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form

Der IKDC-2000-Fragebogen wird nach Bandverletzungen des Kniegelenkes eingesetzt und besteht aus drei Hauptkomponenten: einem Dokumentationsteil, einem Qualifikationsteil und einem Evaluationsteil. Innerhalb der einzelnen Teile gibt es mehrere Unterfragebögen, wovon zwei in unserer Untersuchung Anwendung fanden. Aus dem Qualifikationsteil verwendeten wir den erwähnten IKDC-Knie-Untersuchungsbogen für die Bewertung der klinischen Untersuchung (Hefti 1993) und zur Erfassung der PROMs unserer Patienten wurde der „subjective knee evaluation form“ zur subjektiven Bewertung der Kniegelenksfunktion aus dem Evaluationsteil eingesetzt. Der zuletzt genannte Fragebogen umfasst zehn unterschiedlich gewichtete Fragen und es kann eine Maximalpunktzahl von 100 Punkten erreicht werden. Er deckt die Kategorien Symptome, sportliche Aktivität sowie Kniegelenksfunktion im Alltag ab und kann das postoperative Outcome in diesen Kategorien zuverlässig und validiert darstellen (Irrgang et al., 2001). Die errechnete Gesamtpunktzahl soll indirekt die Kniegelenksfunktion bewerten, wobei ein höherer Wert für wenige Symptome bei hoher Funktionalität steht (siehe Anhang).

3.2.2.6. Return to Sport (RTS)

Auf Basis des erhobenen prä- und postoperativen Tegner Scores wurde ermittelt, ob und auf welchem Niveau ein Patient nach Kreuzbandrevisionsoperation mit oder ohne begleitende LET wieder eine sportliche Aktivität aufnehmen konnte. Ein erfolgreicher RTS wurde als postoperativer TAS ≥ 3 Punkte (=Freizeitsport) definiert. Das Wiedererlangen des präoperativen sportlichen Leistungsniveaus wurde durch das Erreichen eines gleich hohen oder höheren postoperativen TAS im Vergleich zum präoperativen TAS definiert.

3.2.2.7. Anterior Cruciate Ligament Return-to-Sport after Injury Scale (ACL-RSI)

Dieses Bewertungssystem beurteilt psychologische Faktoren, die nach VKB-Verletzung oder operativer VKB-Plastik eine Rückkehr zum Sport beeinflussen könnten. Im Gegensatz zu den anderen Bewertungsbögen spielen hier physische Faktoren wie die Kniegelenksfunktion keine Rolle (Webster et al., 2008). Der Test besteht aus 12 Fragen und das errechnete Maximalergebnis beträgt 100 Punkte. Dieses wird aus dem Durchschnittsergebnis der drei Hauptkategorien Risikobewusstsein, emotionale Bewertung und Selbstvertrauen in die körperliche Fähigkeit gebildet. Eine ausgeprägte psychologische Bereitschaft zur Rückkehr zum Sport ist mit einem höheren Score assoziiert, während niedrige Testergebnisse eine geringere psychologische Bereitschaft markieren (Webster et al., 2008), die zu einer Verzögerung im RTS-Prozess oder einer ausbleibenden Rückkehr zum Sport führen kann (Duncan et al., 2023).

3.2.3. Retrospektiv erhobene Patientendaten

Neben der klinischen Untersuchung und der Erhebung der PROMs wurden relevante Patientendaten retrospektiv aus den elektronischen Patientenakten analysiert. Dazu gehörten demografische Informationen wie Geschlecht, Alter, Operationsalter, Größe und Gewicht sowie Angaben zu Begleiteingriffen im Rahmen der VKB-Operation. Zudem wurden die verwendeten Kreuzbandtransplantate (Hamstring- oder Quadrizepssehne) und die Anzahl vorheriger Kreuzbandrevisionsoperationen am betroffenen Knie dokumentiert. Die Genese der Reruptur wurde in traumatische und atraumatische Ursachen unterteilt und der Nachbeobachtungszeitraum wurde in Monaten dokumentiert.

3.2.4. Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mittels SPSS-Version 26.6 (IBM, New York, NY, USA) durchgeführt. Dabei wurden zwei Gruppen gebildet: Die Patienten der Gruppe rVKB erhielten eine isolierte Revisionsoperation des VKBs, während die Patienten der rVKB+LET-Gruppe neben der VKB-Rekonstruktion eine zusätzliche LET bekamen.

Deskriptive Statistiken wurden verwendet, um kategoriale und kontinuierliche Variablen darzustellen. Kategoriale Variablen werden dabei als Häufigkeiten und Prozentsätze angegeben, während die kontinuierlichen Variablen entweder als Mittelwert \pm Standardabweichung oder als Median mit Interquartilsabstand (IQR) dargestellt werden.

Die Normalverteilung der metrischen Daten wurde jeweils durch die Durchführung eines Shapiro-Wilks-Tests überprüft. Abhängig von der Normalverteilung der metrischen Daten wurde für den Vergleich von prä- und postoperativen Werten innerhalb der Gruppen ein t-Test für unabhängige Stichproben oder ein Mann-Whitney-U-Test verwendet. Um abhängige Variablen innerhalb einer Gruppe, wie die Rolimetermessungen in neutraler Position und in Innenrotation, vergleichen zu können, wurde je nach Normalverteilung der Daten ein gepaarter t-Test oder ein Wilcoxon Test angewendet.

Zum statistischen Vergleich der kategorialen Variablen zwischen den Vergleichsgruppen wurde der Chi-Quadrat Test verwendet. Der Vergleich der Rerupturraten und der RTS-Rate zwischen den Gruppen wurden mittels exaktem Test nach Fisher analysiert.

Das statistische Signifikanzniveau für die statistische Auswertung wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Für die grafische Darstellung der Untersuchungsergebnisse wurde Microsoft Excel Version 16.89.1 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) verwendet.

4. Ergebnisse

Im Zeitraum von Februar 2017 bis Dezember 2021 erhielten 93 Patienten eine Revisionsoperation des VKBs in der Abteilung für Sportorthopädie am Klinikum Rechts der Isar. Aus dieser Studienpopulation konnten nach Anwendung der Ausschlusskriterien und unter Berücksichtigung der ausscheidenden Patienten gesamt 22 Patienten der Gruppe rVKB+LET (=Revision des vorderen Kreuzbandes mit additiver lateraler, extraartikulärer Tenodese) und 23 Patienten der Gruppe rVKB (=isolierter VKB-Ersatz) zugeordnet werden.

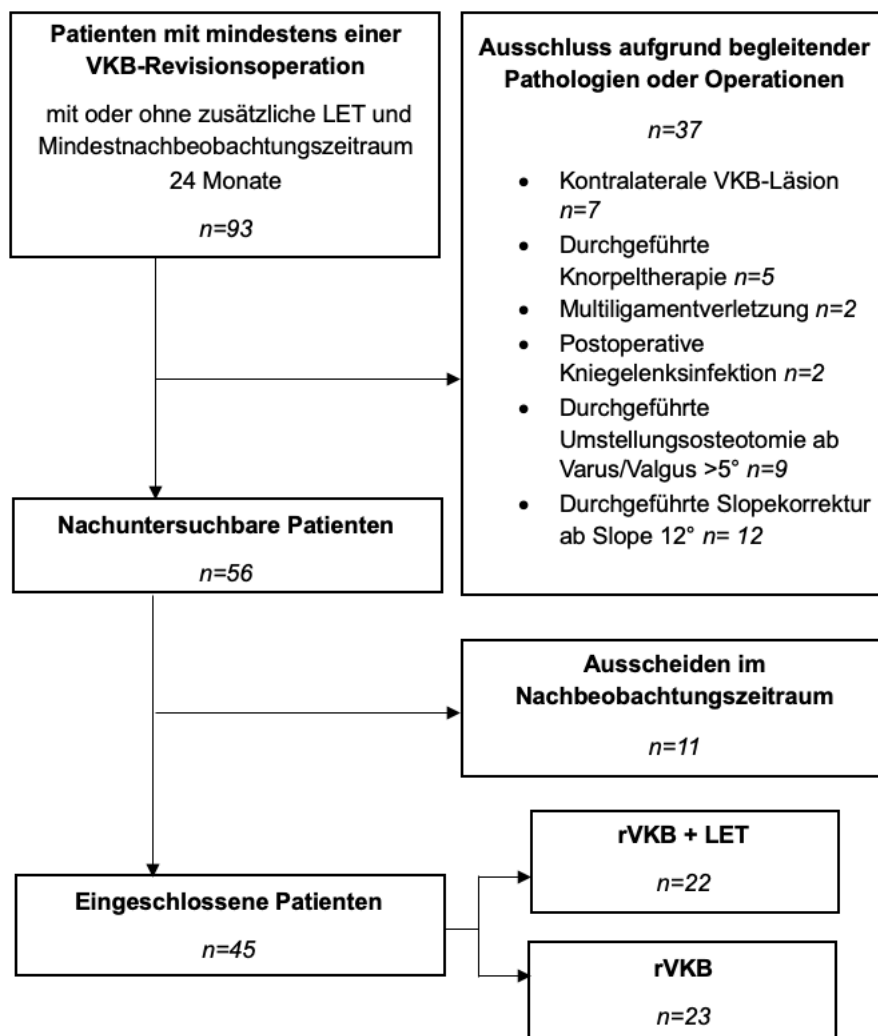


Abbildung 8: Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Studienpopulation unter Anwendung der angegebenen Aus- und Einschlusskriterien und unter Angabe der im Verlauf ausscheidenden Patienten.

4.1. Retrospektive Datenanalyse

4.1.1. Patientenkollektiv

Die demografischen Patientendaten sind in Tabelle 3 grafisch veranschaulicht. Es wurden insgesamt 45 volljährige Patienten mit einem mittleren Follow-up von $48,6 \pm 16,5$ Monaten evaluiert, deren mittleres Alter zum Zeitpunkt der Operation $27,6 \pm 9$ Jahre betrug. Zwischen den untersuchten Gruppen zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der demografischen Parameter (Geschlecht, Alter und BMI), der Auswahl des angewendeten Verfahrens (ein- oder zweizeitig) und der begleitenden Meniskuspathologien. Ebenfalls zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im präoperativen Sportniveau zwischen den Gruppen (vgl. Tabelle 5, $p=0,586$).

27 Patienten (60%) konnten einzeitig operativ revidiert werden, während 18 Patienten (40%) eine Auffüllung der Bohrkanäle vor der Durchführung der VKB-Plastik erhielten. Die VKB-Ersatzplastik wurde in allen Fällen mittels körpereigenen Transplantates versorgt. Insgesamt erhielten 28 Patienten (62%) ein Quadrizeps-Sehnentransplantat und 17 Patienten (38%) eine Rekonstruktion mittels Hamstring-Sehnentransplantat. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied in der Auswahl der Transplantate zwischen den Gruppen ($p=0,848$). Die Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant in der Anzahl der präoperativ erlittenen VKB-Rupturen ($p=0,274$) vor Durchführung der erneuten VKB-Plastik.

In der VKB-LET Gruppe erhielten 2 Patienten eine LET in modifizierter Ellison-Technik (9%) und 20 Patienten eine LET in modifizierter Lemaire-Technik (91%).

	rVKB (n=23)	rVKB+LET (n=22)	p-Wert
Geschlecht (N (%))			0,855
Männlich	13	14	
Weiblich	10	8	
Alter (Jahre)	$28,3 \pm 8,6$	$26,9 \pm 9,7$	0,337
Body-Mass-Index (kg/m²)	$27,5 \pm 6,6$	$24,6 \pm 3,3$	0,175
Follow-Up (Monate)	$51 \pm 16,7$	$46,1 \pm 16,3$	0,397
VKB-Transplantatwahl (N (%))			0,848
Quadrizepssehne	14 (61%)	14 (64%)	
Hamstringsehne	9 (39%)	8 (36%)	

Operationsverfahren (N (%))			0,465
Einzeitig	15 (65%)	12 (55%)	
Zweizeitig	8 (35%)	10 (45%)	
Anzahl der präoperativen VKB-Rerupturen (N (%))			0,274
Eine präoperative Reruptur	22 (96%)	19 (86%)	
Zwei präoperative Rerupturen	1 (4%)	3 (14%)	
Begleitverletzungen und Begleiteingriffe (N (%))			
Verletzung des Innenmeniskus	15 (65%)	10 (45%)	0,236
Innenmeniskusteilresektion	6	2	
Innenmeniskusnaht	5	4	
Kombinationseingriff (Teilresektion + Naht)	4	4	
Verletzung des Außenmeniskus	6 (26%)	6 (27%)	0,928
Außenmeniskusteilresektion	1	0	
Außenmeniskusnaht	5	5	
Kombinationseingriff (Teilresektion + Naht)	0	1	

Tabelle 3: Demografische Patientendaten als Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. als absolute Zahlen mit prozentualer Verteilung.

4.1.2. Transplantatversagen im Follow-up Zeitraum

Insgesamt vier Patienten verzeichneten im Follow-up Zeitraum von 24 Monaten eine Re-Reruptur oder Insuffizienz des Kreuzbandtransplantates und mussten sich einer weiteren Re-Revisionsoperation des VKBs unterziehen. Im Rahmen der telefonischen Einladung zur Nachuntersuchung wurden zwei dieser Re-Rerupturen festgestellt, weshalb die betroffenen Patienten nicht an der klinischen Nachuntersuchung teilnehmen konnten.

In der rVKB-Gruppe wurden drei Patienten (13%), die allesamt eine VKB-Plastik mittels Quadrizeps-Sehnentransplantat erhielten, als Therapieversager eingestuft. Eine der Rupturen war traumatisch bedingt. Die zwei atraumatischen Insuffizienzen fielen jeweils in unserer klinischen Nachuntersuchung auf. In der rVKB+LET-Gruppe ereignete sich eine traumatisch bedingte Reruptur (4.5%) eines mittels vierfach-gefalteten Hamstring-Sehnentransplantat versorgten Kreuzbandes.

	rVKB (n=23)	rVKB+LET (n=22)	p-Wert
Anzahl der Re-Rerupturen im Follow-up Zeitraum (N (%))	3 (13%)	1 (4,5%)	0,608

Tabelle 4: Re-Rerupturraten der Vergleichsgruppen im Follow-up Zeitraum von mindestens 24 Monaten.

Eine prozentuale Übersicht der Re-Rerupturraten in den jeweiligen Gruppen ist in Abbildung 9 dargestellt. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden (4,5% vs. 13%; $p=0,608$).

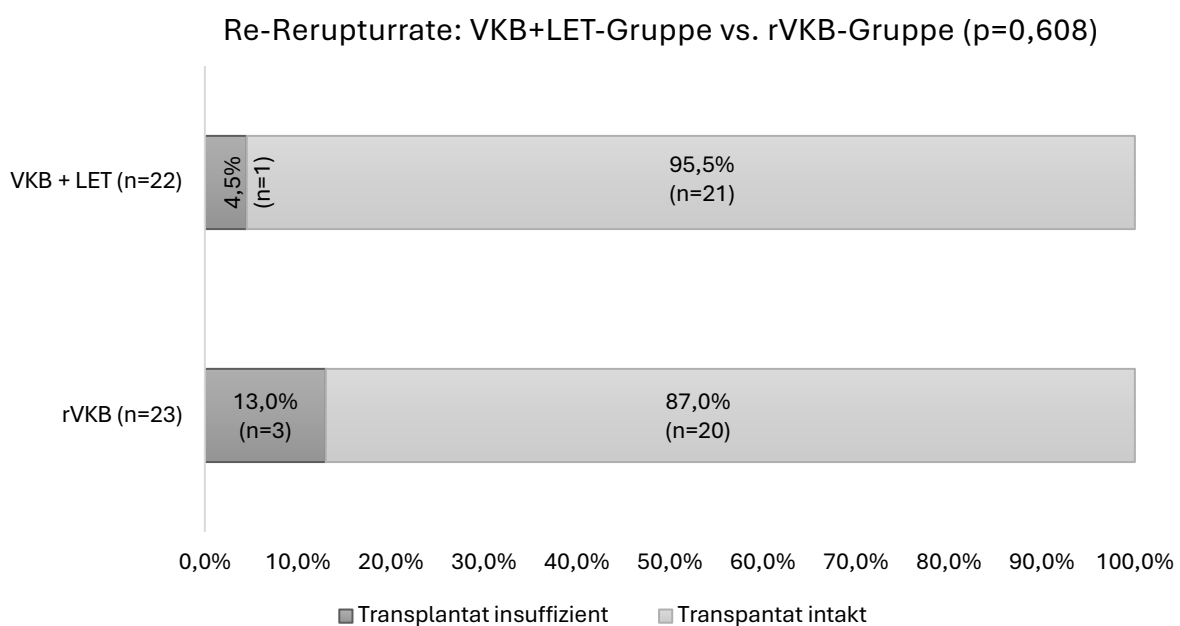


Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der VKB-Revisionsplastik-Versagensquoten im Gruppenvergleich.

4.1.3. Auswertung der Fragebögen (PROMs)

Zur Auswertung der PROMs nach isolierter VKB-Revision versus VKB-Revision mit additiver LET wurden die vier erwähnten Patienten mit Transplantatversagen nicht berücksichtigt. Somit ergibt sich eine Stichprobe von $n=41$ mit 20 Patienten in der rVKB-Gruppe und 21 Patienten in der rVKB+LET-Gruppe.

In keinem der ausgewerteten Fragebögen zeigt sich ein signifikant unterschiedliches Ergebnis zwischen den beiden untersuchten Gruppen (Tabelle 5). Es zeigt sich ebenfalls keine Überlegenheit einer der operativen Techniken in den Punkten Zufriedenheit mit der Operation, postoperativer Schmerz (VAS) und postoperatives sportliches Niveau.

Tendenziell weisen Patienten, die eine isolierte VKB-Rekonstruktion erhielten, in den meisten subjektiven Scores bessere Ergebnisse auf als Patienten, die eine zusätzliche LET erhielten. Dennoch konnte keine signifikante Überlegenheit eines der angewendeten OP-Verfahren zwischen den Gruppen gezeigt werden.

Zudem wurde das sportliche Niveau innerhalb der Gruppen anhand des prä- und postoperativen Tegner-Scores verglichen: unabhängig von der Operationstechnik zeigte sich eine signifikante Reduktion des postoperativen Sportniveaus in beiden Gruppen (rVKB: $p=0,001$; rVKB+LET: $p<0,001$).

	rVKB (n=20)	rVKB+LET (n=21)	p-Wert
IKDC (Minimum-Maximum)	76,9±14,8 (48,3-96,6)	68,7±16,6 (32,2-98,9)	0,102
Lysholm (Minimum-Maximum)	83,5±13,6 (53-100)	77,7±16,6 (46-100)	0,166
KOOS (Minimum-Maximum)			
Symptome	80,9±15,7 (32-100)	72,9±17,6 (46-100)	0,113
Schmerzen	86,7±19,5 (33-100)	79,0±17,1 (47-100)	0,064
Aktivitäten des täglichen Lebens	89,4±17,4 (34-100)	86,8±14,6 (43-100)	0,261
Sport	74,5±27,5 (10-100)	66,7±23,5 (30-100)	0,271
Lebensqualität	66,6±21,2 (25-100)	55,8±21,6 (25-100)	0,111
ACL-RSI (Minimum-Maximum)	44,2±24 (3-86)	35,55±22,7 (1-88)	0,174
Präoperativer Tegner-Score (IQR)	7 (6-7)	7 (5-8)	0,559
Postoperativer Tegner-Score (IQR)	5 (4-6)	4 (4-5)	0,083
VAS (Minimum-Maximum)	1,7±1,7 (0-5)	2,1±2,1 (0-8)	0,611
OP-Zufriedenheit (IQR)	9 (8-10)	8 (7-9)	0,227

Tabelle 5: Durch Patientenfragebögen erhobene klinische Scores. Die Ergebnisse von IKDC, Lysholm, KOOS, ACL-RSI und VAS sind als Mittelwert mit Minimum und Maximum angegeben. Der prä- und postoperative Tegner-Score sowie die OP-Zufriedenheit sind als Median mit zugehörigem Interquartilsabstand angegeben.

4.2. Klinische Nachuntersuchung

Von 45 Patienten, die die Fragebögen beantworteten, konnten 37 Patienten (82,2%) klinisch nachuntersucht werden. Wie bereits erwähnt, wurden zwei VKB-Rerupturen erst in der klinischen Nachuntersuchung detektiert. Diese Patienten wurden aus der Bewertung der klinischen Ergebnisse ausgeschlossen, um die Ergebnisse nach suffizienter VKB-Plastik mit und ohne begleitende LET vergleichbar zu machen. Es ergibt sich hierdurch eine Anzahl von $n=35$ Patienten, deren klinische Nachuntersuchung

statistisch verglichen wird. Es können 18 Patienten der rVKB+LET-Gruppe und 17 Patienten der rVKB-Gruppe zugeordnet werden.

4.2.1. Rolimetermessung der anterioren tibialen Translation

Die Rolimeter-Messung wurde in neutraler Position des Unterschenkels und in 30° in Innenrotation des Unterschenkels durchgeführt, um den Einfluss der LET auf die ATT und die TIR abbilden zu können.

Anteriore tibiale Translation (ATT)	rVKB (n=17)	rVKB+LET (n=18)	p-Wert
Neutralposition			
Nicht-operierte Seite (mm)	6,1±2,1	6,6±1,4	0,432
Operierte Seite (mm)	8,5±2,1	8,6±2,4	0,909
Seitdifferenz (mm)	2,4±1,3	2,0±1,8	0,636
Innenrotation			
Nicht-operierte Seite (mm)	5,2±2,4	4,6±1,6	0,757
Operierte Seite (mm)	6,8±2,3	5,6±2,3	0,136
Seitdifferenz (mm)	1,6±1,2	0,9±1,5	0,162

Tabelle 6: Darstellung der mittels Rolimeter gemessenen anterioren tibialen Translation als Mittelwert ± Standardabweichung.

Zwischen den Gruppen ergibt sich kein signifikanter Unterschied im Bewegungsausmaß der ATT in der apparativen Rolimeter-Messung, sowohl in neutraler Position als auch in eingestellter Innenrotation. Zwei Patienten der rVKB+LET-Gruppe zeigen auf der operierten Seite eine im Vergleich zur gesunden Gegenseite erniedrigte ATT. Keiner der Patienten weist eine SDD von über 5 mm auf.

Unabhängig von der untersuchten Gruppe zeigt sich eine signifikant erhöhte ATT sowohl des gesunden als auch des operierten Kniegelenks in neutraler Position des Unterschenkels im Vergleich zur Messung in innenrotierter Position (Tabelle 7).

Anteriore tibiale Translation (ATT)	Neutralposition	Innenrotation	p-Wert
rVKB			
Nicht-operierte Seite (mm)	6,1±2,1	5,2±2,4	0,015
Operierte Seite (mm)	8,5±2,1	6,8±2,3	<0,001
rVKB+LET			
Nicht-operierte Seite (mm)	6,6±1,4	4,6±1,6	<0,001
Operierte Seite (mm)	8,6±2,4	5,6±2,3	<0,001

Tabelle 7: Vergleich des Bewegungsausmaßes der Rolimeter Messung in neutraler Position versus eingestellter Innenrotation innerhalb der einzelnen Gruppen.

4.2.2. Bewegungsumfang

Bis auf zwei Patienten der rVKB+LET-Gruppe erreichten alle Patienten postoperativ ein physiologisches Bewegungsausmaß des Kniegelenkes. Die genannten Patienten weisen jeweils ein Flexionsdefizit von 15° bzw. 30° im Vergleich zur gesunden Gegenseite auf.

4.2.3. Klinische Untersuchung des VKBs

In den relevanten klinischen VKB-Funktionstests zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten, die eine zusätzliche LET erhielten, und Patienten, die eine isolierte VKB-Plastik erhielten. Postoperativ wurde in keinem der durchgeführten Tests eine zweit- oder drittgradige Instabilität festgestellt. In der rVKB-Gruppe wurden acht erstgradig positive Lachman-Tests (44%), ein erstgradig positiver Pivot-Shift-Test (6%) und zwei erstgradig positive Ergebnisse im vorderen Schubladentest (11%) detektiert. Diesen Ergebnissen stehen zehn erstgradig positive Lachman-Tests (59%), drei positive Pivot-Shift-Tests (18%) sowie sechs erstgradig positiven Ergebnissen im vorderen Schubladentest (35%) in der rVKB+LET-Gruppe gegenüber (Abbildung 10).

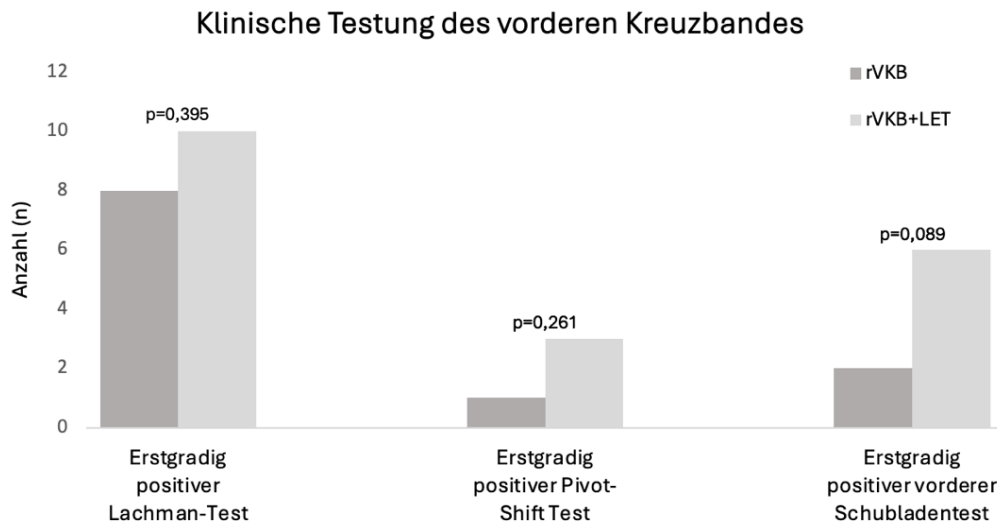


Abbildung 10: Verteilung der erstgradig positiven VKB-Funktionstests in absoluten Zahlen.

4.2.4. Return-to-Sport (RTS)

Nach Anwendung der in 3.2.2.6 erwähnten Grenzwerte ergeben sich die in Tabelle 8 dargestellten Werte für die RTS-Rate beider Gruppen. Es zeigte sich kein statistischer Unterschied zwischen den Gruppen bei vergleichbaren RTS-Raten.

Nur etwa 10% der Patienten der rVKB-Gruppe, die zum Sport zurückkehrten, konnten ihr präoperatives, sportliches Niveau wiedererlangen, während etwa 37% der Patienten der rVKB+LET-Gruppe, die ihre sportliche Aktivität wiederaufnahmen, ihr präoperatives Sportniveau erreichten. Auch hier konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden ($p=0,065$).

Return-to-Sport (RTS)	rVKB (n=23)	rVKB+LET (n=22)	p-Wert
Return-to-Sport (N (%))	20 (87%)	19 (86%)	1,0
Präoperatives Niveau	2 (10%)	7 (37%)	0,065
Niedrigeres Niveau	18 (90%)	12 (63%)	0,065
Kein Return-to-Sport (N (%))	3 (13%)	3 (14%)	1,0
Aufgrund der VKB-Reruptur	3 (100%)	2 (67%)	-
Andere Gründe	0 (0%)	1 (33%)	-

Tabelle 8: Return-to-Sport in absoluten Zahlen und als Quote in Prozent.

5. Diskussion

Das wesentliche Resultat der vorliegenden Studie ist, dass sich die klinischen Ergebnisse von Patienten mit einer isolierten VKB-Revisionsoperation und Patienten, die eine VKB-Revision mit zusätzlicher LET erhielten, hinsichtlich der Kniegelenksstabilität, der PROMs, der Transplantatstabilität sowie der Versagensquoten nicht signifikant voneinander unterscheiden und vergleichbar gute Resultate erzielen. Wenngleich die Durchführung einer zusätzlichen LET eine vorteilhafte Tendenz bezüglich der Kniegelenksstabilität aufweist und einen potenziellen Vorteil bezüglich der Transplantatstabilität gegenüber der rVKB-Gruppe haben könnte, konnte in diesen Punkten keine statistische Überlegenheit der Technik in unserem Patientenkollektiv gezeigt werden. Beide Gruppen zeigen eine vergleichbare Zufriedenheit mit dem operativen Ergebnis, weisen ein ähnlich geringes postoperatives Schmerzniveau auf und können den Sport in äquivalenter Häufigkeit bei jedoch in beiden Gruppen signifikant erniedrigtem postoperativen Sportniveau wiederaufnehmen. Patienten mit isolierter VKB-Revision weisen tendenziell bessere klinische Ergebnisse innerhalb der Nachbeobachtungsperiode von mindestens 24 Monaten auf.

Re-Rerupturrate

In der VKB-Revisionschirurgie beträgt die Re-Rerupturrate nach isolierter VKB-Revisionsplastik etwa 4,4-21,4% (Saithna et al., 2023; Mahmoud et al., 2022; Helito et al., 2023; Getgood et al., 2020; Eggeling et al., 2022; Vivacqua et al., 2024) und nach Versorgung mittels zusätzlicher LET noch etwa 4,6-11,4% (Vivacqua et al., 2024; Helito et al., 2023; Alm et al., 2020; Trojani et al., 2012; Eggeling et al., 2022; Mahmoud et al., 2022), was mit den in unserer Studie ermittelten Re-Rerupturraten von 4,5% in der rVKB-Gruppe und 13% in der rVKB+LET-Gruppe vergleichbar ist. Einige Studien konnten bereits zeigen, dass die Durchführung einer zusätzlichen LET bei Kreuzbandrevisionsoperationen zu einer signifikanten Verringerung der Versagensrate von VKB-Plastiken führt (Alm et al., 2020; Helito et al., 2023; Rezansoff et al., 2024; Boksh et al., 2024; D'Ambrosi et al., 2025), während - analog zu den Ergebnissen unserer Studie - in mehreren Untersuchungen nur eine positive Tendenz und keine statistische Überlegenheit durch den Einsatz einer zusätzlichen LET festgestellt wurde (Trojani et al., 2012; Eggeling et al., 2022). Betrachtet man die Ergebnisse unserer Studie im Vergleich zu einer wissenschaftlichen Arbeit mit 618 eingeschlossenen Patienten, die den Einsatz einer additiven LET im Vergleich zur Anwendung einer isolierten VKB-Plastik bei primären VKB-Operationen untersuchte, könnte sich durch den Einsatz einer LET die Versagensquote nach Revisionsoperation entscheidend stabilisieren: Getgood et al. (Getgood et al., 2020) detektierten eine Rerupturrate von 4 % in der LET+VKB-Gruppe, während in unserer Studie eine vergleichbare Quote von 4,5% nach zusätzlicher Versorgung mittels LET, allerdings im

Revisionsfall, festgestellt werden konnte. Dies deutet auf eine Effektivität der extraartikulären Augmentierung in der VKB-Revisionschirurgie hin, da sie die Versagensquoten auf ein ähnlich niedriges Niveau wie in der Primärchirurgie reduzieren kann.

Dass in unserer Studie sowie in weiteren Untersuchungen mit kleinerer Stichprobengröße im Gegensatz zu großen Studien wie der von Rezansoff et al. (Rezansoff et al., 2024) mit 553 nachuntersuchten Patienten kein statistischer Unterschied in den Versagensquoten zwischen den Gruppen festgestellt wurde und die tendenzielle Überlegenheit der rVKB+LET-Gruppe somit statistisch nicht bestätigt werden konnte, könnte auf eine zu geringe Fallzahl und damit auf eine unzureichende statistische Power unserer Stichprobe zurückzuführen sein.

Patient-reported outcome measures (PROMs)

Die subjektiven Funktionsbewertungen des Kniegelenkes (Lysholm-, IKDC- und KOOS-Score) der Patienten vor und nach Revisionsoperation mit und ohne zusätzlicher LET zeigen eine deutliche Verbesserung ungeachtet des gewählten Verfahrens (Mahmoud et al., 2022; Grassi et al., 2020) und weisen meist vergleichbar gute Ergebnisse ohne statistische Überlegenheit einer der Vergleichsgruppen auf (Eggeling et al., 2022; Ventura et al., 2021; Getgood et al., 2020; Trojani et al., 2012). Einige Untersuchungen konnten bereits eine statistische Überlegenheit des Einsatzes einer additiven LET bezüglich der subjektiven klinischen Resultate bei VKB-Revisionsoperationen anhand des IKDC-Scores belegen (Alm et al., 2020; Boksh et al., 2024). Mahmoud et al. (Mahmoud et al., 2022) konnten in einer matched-pair-Analyse jedoch keinen statistischen Unterschied in den postoperativen Werten des Lysholm-Scores oder IKDC-Scores zwischen der rVKB- und der rVKB+LET-Gruppe feststellen, was mit den Ergebnissen unserer Studie übereinstimmt. Gleiches scheint für den KOOS-Score zu gelten, der in unserem Studienkollektiv - analog zu anderen Studien (Getgood et al., 2020; Keizer et al., 2023) - gute postoperative Werte auf vergleichbar hohem Niveau in beiden Gruppen zeigt (vgl. Tabelle 5). Dies deutet daraufhin, dass eine additive LET bei Revisionsoperationen des VKBs ein vorteilhafter Eingriff ist, der gute subjektive Ergebnisse erreichen kann, die übereinstimmend mit denen nach isolierter VKB-Rekonstruktion sind.

Die psychologische Bereitschaft einer Rückkehr zum Sport, die im ACL-RSI Score abgebildet wird, ist nach einer Revisionsoperation des VKBs, im Vergleich zu den Ergebnissen nach primärer VKB-Rekonstruktion, geringer (Duncan et al., 2023) und führt häufig zu einer Änderung der Sportart in weniger anspruchsvolle Aktivitäten und einer Absenkung des sportlichen Niveaus (Langford et al., 2008). Dies wird auch in unserer Studie deutlich, welche eine vergleichbar geringe psychologische Bereitschaft zur Rückkehr in den Sport zwischen beiden Gruppen abbildet (ACL-RSI-Score rVKB-Gruppe: $44,2 \pm 24$ vs. rVKB+LET-Gruppe: $35,55 \pm 22,7$). Eine niedrige psychologische Bereitschaft

durch mangelndes Vertrauen oder Angst vor einer erneuten Verletzung nach Revisionsoperation ist als ausschlaggebender Grund für ein Nichterlangen des RTS beschrieben (Rezansoff et al., 2024).

Return-to-Sport

Die Datenlage bezüglich der RTS-Quote nach Revisionsoperation des VKBs ist nicht homogen und wird mit etwa 50% bis 88,4% angegeben (Hurley et al., 2021). Übereinstimmend mit den Ergebnissen unserer Studie wird sie durch die zusätzliche Durchführung einer LET nicht entscheidend beeinflusst (Rezansoff et al., 2024). Das in unserer Studie untersuchte Kollektiv ist dabei generell als sportlich einzustufen, was anhand des medianen, präoperativen TAS von 7 in beiden Gruppen deutlich wird. Trotz der durchgeführten Revisionsoperation erzielen unsere Patienten beachtlich gute Ergebnisse, die mit den Resultaten nach einer primären VKB-Operation vergleichbar sind: Rezansoff et al. konnten zeigen, dass die RTS-Rate nach primärer VKB-Plastik mit und ohne durchgeführter LET (RTS-Rate: 85% in der rVKB- und 89% in der rVKB+LET-Gruppe) bemerkenswert hoch sind (Rezansoff et al., 2024). Diese Werte sind mit den von uns ermittelten Quoten (RTS-Rate: 87% in rVKB- bzw. 86% in der rVKB+LET-Gruppe) vergleichbar und verdeutlichen, dass eine zusätzliche LET sowohl im Primär- als auch im Revisionsfall keinen entscheidenden Einfluss auf die Quote der Rückkehr zum Sport zu haben scheint.

Betrachtet man neben der RTS-Quote jedoch das postoperative Sportniveau, so ergibt sich nach VKB-Revisionsoperation eine deutlich geringere Erfolgsrate. Nur etwa die Hälfte der Patienten kann ihr präoperatives sportliche Niveau wiedererlangen (Keizer et al., 2022). Bezüglich der Rückkehr zum präoperativen Sportniveau wird ein potenzieller Vorteil der LET deutlich: In unserer Studie erreichten 37 % der Patienten in der rVKB+LET-Gruppe ihr präoperatives sportliches Niveau, während dies in der rVKB-Gruppe nur 10 % gelang. In anderen Studien wurde diese Tendenz bereits statistisch bestätigt: Keizer et al. konnten einen signifikanten Vorteil durch den Einsatz einer kombinierten VKB-Revisionsoperation mit LET gegenüber der isolierten Versorgung mittels Revisions-VKB-Plastik feststellen (Keizer et al., 2022). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine LET nach einer VKB-Revisionsoperation möglicherweise begünstigend für die Wiedererlangung des ursprünglichen Sportniveaus sein kann. Diese Tendenz konnte für den Primärfall ebenfalls beschrieben werden (Balendra et al., 2021). Allerdings nimmt in unserer Untersuchung das postoperative Sportniveau in beiden Gruppen signifikant ab, was durch eine signifikante Reduktion des Tegner-Scores deutlich wird (rVKB: $p=0,001$; rVKB+LET: $p<0,001$). Ein protektiver Effekt der LET auf den Rückgang des TAS nach einer VKB-Revisionsoperation ist somit nicht nachweisbar, was mit den Ergebnissen anderer Studien übereinstimmt (Mahmoud et al., 2022; Porter et al., 2018).

Stabilität

Postoperativ zeigte sich statistisch kein Unterschied in der Anzahl positiver Pivot-Shift- oder Lachman-Tests sowie in der ATT zwischen den Gruppen. Dies deutet darauf hin, dass die LET, obwohl sie häufig bei Patienten mit höherem Risikoprofil durchgeführt wird, in Bezug auf die Stabilität des Kniegelenks vergleichbare Ergebnisse wie die isolierte VKB-Revisionsersatzplastik erzielt, wenngleich die LET in unserer Studie tendenziell eine Verringerung der ATT bewirken konnte (SDD rVKB: $2,4 \pm 1,3\text{mm}$ vs. SDD rVKB+LET: $2,0 \pm 1,8\text{mm}$; $p=0,636$). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Eggeling et al., die in einer ähnlichen Untersuchung ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Kniegelenksstabilität zwischen den Gruppen herausarbeiten konnten (Eggeling et al., 2022). Im Gegensatz dazu konnten andere Studien zeigen, dass Patienten mit zusätzlicher LET eine klinisch signifikant geringere Knielaxität aufweisen: Dies konnte anhand einer signifikanten Reduktion positiver Ergebnisse im postoperativen Pivot-Shift-Test (Alm et al., 2020; Ventura et al., 2021; Getgood et al., 2020) sowie anhand einer mittels Arthrometer gemessenen, signifikant verringerten ATT festgestellt werden (Boksh et al., 2024; Porter et al., 2018).

Betrachtet man die Messungen unserer Studie im Genauen, so wiesen in der Rolimetermessung zwei Patienten der rVKB+LET-Gruppe eine verringerte ATT im Vergleich zur nicht voroperierten, gesunden Gegenseite auf. Hier könnte durch die extraartikuläre Augmentation eine Überkorrektur der ATT erzielt worden sein, welche über das physiologische Maß hinaus geht. Dies wird in der Literatur häufig als sog. overconstraint beschrieben und könnte einen Risikofaktor für die Entwicklung einer postoperativen Arthrose sein (D'Ambrosi et al., 2025). Allerdings ist hierfür die Studienlage aufgrund der meist zu kurzen Follow-up-Perioden nicht ausreichend (Inderhaug et al., 2017) und es zeigt sich in einem aktuellen Review aus 2025 keine erhöhte Komplikationsrate, wenn eine zusätzliche LET bei VKB-Revisionsoperationen durchgeführt wurde (D'Ambrosi et al., 2025)

Schmerz

Bezüglich des postoperativen Schmerzes nach einer VKB-Revisionsoperation konnten in der Literatur bisher keine signifikanten Vor- oder Nachteile durch die zusätzliche Durchführung einer LET gegenüber der isolierten VKB-Revisionsoperation beschrieben werden (Eggeling et al., 2022; Alm et al., 2020). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Studie, welche weder im Vergleich der mittleren VAS-Werte noch im Vergleich der Kategorie Schmerz des KOOS-Scores einen signifikanten Gruppenunterschied beweisen konnte. Tendenziell zeigt sich in unserem Patientenkollektiv ein leicht erhöhtes postoperatives Schmerzniveau in der rVKB+LET-Gruppe. Dies könnte durch die Durchführung der LET verursacht worden sein, da der Begleiteingriff die Spannung im lateralen Kompartiment des Kniegelenkes erhöhen und somit lateralseitigen Schmerz verursachen könnte (Helito et al., 2023). Hierfür bleibt in unserer

Studie, wie auch in anderen Studien (Eggeling et al., 2022; Alm et al., 2020), der statistische Beweis jedoch aus. Insgesamt zeigen sich in beiden Gruppen erfreulich niedrige VAS-Werte ($rVKB=1,7 \pm 1,7$ und $rVKB+LET=2,1 \pm 2,1$; $p=0,611$), was im Mittel in beiden Gruppen als adäquate postoperative Schmerzkontrolle bei Werten unter $VAS=3,3$ interpretiert werden kann (Myles et al., 2017).

Indikation

Die Interpretation der zuvor diskutierten Ergebnisse hängt maßgeblich von der Auswahl der Patienten für eine Operation ab. Es gibt einige Handlungsempfehlungen, die die Abwägung für oder gegen die zusätzliche Anwendung einer LET bei VKB-Revisionsoperationen erleichtern sollen (siehe 1.6.4), die Entscheidung ist jedoch durch die persönliche Präferenz des Chirurgen und dessen subjektive Einschätzung nach Abwägung aller Befunde beeinflusst (Wright et al., 2021). Ein Review von Zabrzynski et al., welches sich mit den meistgewählten Indikationen für die Anwendung einer LET in anderen wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigte, fand dabei sportliche Aktivität, begleitende Meniskuseingriffe und ein mindestens zweitgradig positives Ergebnis im Pivot-Shift-Test als die von orthopädischen Chirurgen am häufigsten gewählten Indikationen für die Versorgung mit einer zusätzlichen LET (Zabrzynski et al., 2025). Der isolierte VKB-Revisionseingriff ohne die genannten Risikofaktoren stellt keine der am häufigsten gewählten Indikationen dar (Zabrzynski et al., 2025).

Hierdurch wird auch deutlich, dass die klinische Untersuchung und Einschätzung des Operateurs bezüglich der LET-Indikation den wichtigsten Teil der präoperativen Diagnostik darstellt und der Pivot-Shift-Test dabei elementar ist. Obwohl biomechanische Studien bereits zeigen konnten, dass eine LET das VKB schützt (Marom et al., 2020) und die TIR, die ATT (Rosenstiel et al., 2019; Saithna et al., 2023) und demnach den Pivot-Shift-Test entscheidend limitieren kann (Porter et al., 2018), konnte sich dies klinisch in unserer Studie nicht bestätigen. Dies könnte an einer limitierten Anwendbarkeit biomechanischer Studien auf die klinische Praxis liegen, da die aktiven Stabilisatoren nicht in die biomechanischen Testungen miteinbezogen werden können.

In Anbetracht der erwähnten Indikationen und Risikofaktoren ist davon auszugehen, dass mit einer LET versorgten Patienten, eine tendenziell schlechtere präoperative Ausgangslage haben als Patienten, die eine Versorgung mittels isolierter VKB-Plastik erhalten. Umso erstaunlicher ist es, dass die Ergebnisse unserer Studie vergleichbare Ergebnisse der $rVKB+LET$ -Gruppe bei höherem Risikoprofil im Vergleich zur $rVKB$ -Gruppe zeigen konnte.

Eine definitive Indikation für die Anwendung einer LET gibt es aber noch nicht (Zabrzynski et al., 2025). Die Indikationsstellung wird intensiv diskutiert und bleibt aufgrund mangelnder, qualitativ hochwertiger Studien unklar (Porter et al., 2018). Die LET ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht als verpflichtender Begleiteingriff zu werten und sollte insbesondere Patienten mit hoher präoperativer Instabilität vorbehalten sein (Mahmoud

et al., 2022; Grassi et al., 2020; Alm et al., 2020; Boksh et al., 2024; Sonnery-Cottet et al., 2017; Getgood et al., 2020). Patienten ohne jenes Risikoprofil können ein erfolgsversprechendes Ergebnis durch eine alleinige Kreuzbandrevisionsoperation erwarten. Analog zum Vorgehen von Porter et al. scheint es sinnvoll, zunächst eine isolierte VKB-Revisionsoperation durchzuführen und diese je nach intraoperativem Befund im Pivot-Shift-Test um eine LET zu erweitern (Porter et al., 2018).

Limitationen

Bei der vorliegenden Studie sind einige Limitationen zu beachten, die in die Interpretation der geschilderten Ergebnisse miteinbezogen werden sollten. Zunächst handelt es sich in einem großen Teil der Arbeit um eine Analyse retrospektiver Daten, weshalb ein Selektionsbias bezüglich der ausgewählten Patienten vorliegen könnte. Betrachtet man die Fallzahlen dieser Studie, so wird deutlich, dass aufgrund der geringen Stichprobengrößen in der statistischen Auswertung einiger Parameter keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen herausgearbeitet werden konnten und damit der Effekt einer LET unterschätzt werden könnte. Zusätzlich wurde die Mindestdauer des Follow-up auf 24 Monate festgelegt, wodurch chronische Folgeschäden nur eingeschränkt detektierbar sind und die endgültige Haltbarkeit der Revisionstransplantate nur mittelfristig beurteilt werden kann. Eine weitere Limitation stellt der gemischte Einsatz zweier LET-Techniken (modifizierte Ellison- vs. modifizierte Lemaire-Technik) dar, die einen exakten Vergleich trotz klinischer Gleichwertigkeit limitiert. Betrachtet man die Einschlusskriterien der Studie, so konnten Patienten mit begleitenden Meniskuspathologien nicht ausgeschlossen werden, was eine Interpretation der erhobenen PROMs und des postoperativen Schmerzniveaus erschwert. Die kritischste Limitation der Studie scheint die Auswahl der Patienten für den Einsatz einer LET zu sein: Als entscheidender Faktor für das Durchführen der Zusatzoperation galt die subjektive Wahrnehmung des Chirurgen auf Basis der präoperativen Befunde. Wie oben diskutiert, scheint eine exakte und vergleichbare Indikationsstellung für den Zusatzeingriff nach aktueller Evidenz noch nicht möglich. Es könnte demnach sein, dass der Behandler den Zusatzeingriff intuitiv bei Patienten höheren Anspruchs- und Risikoprofils indizierte und somit ein statistischer Typ-2-Fehler bezüglich der Wirksamkeit einer additiven LET bei VKB-Revisionsoperationen vorliegen könnte.

6. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse unserer Studie bestätigen die Wirksamkeit einer VKB-Revisionsoperation mit und ohne zusätzlich durchgeführte LET. Der Einsatz einer additiven LET zeigt keinen Einfluss auf die Kniegelenksstabilität, die Versagensrate nach durchgeführter VKB-Revisionsplastik oder die PROMs. Die Patienten beider Gruppen kehren zu einem hohen Anteil, jedoch auf niedrigerem Niveau zu ihrer sportlichen Aktivität zurück. Beide Gruppen weisen ein erfreulich geringes postoperatives Schmerzlevel auf und zeigen sich zufrieden mit dem postoperativen Ergebnis.

Die Wirksamkeit einer LET hängt maßgeblich von der individuellen Risikokonstellation sowie dem Anforderungsprofil des Patienten ab und sollte nach umfassender Nutzen-Risikoanalyse durchgeführt werden. Es bedarf weiterer, insbesondere prospektiver Studien großer Kollektive, um die genauen Indikationen für den Einsatz einer LET bei VKB-Revisionsoperationen herausarbeiten zu können und einen evidenzbasierten Handlungsalgorithmus zu etablieren. Eine Quantifizierung der anterolateralen Rotationsinstabilität durch eine validierte Messmethode könnte dabei helfen, das exakte Ausmaß der Instabilität festzustellen und den Einsatz einer LET anhand von definierten Grenzwerten zu definieren.

7. Zusammenfassung

Einleitung: Es konnte bereits gezeigt werden, dass die Durchführung einer additiven lateralen extraartikulären Tenodese (LET) bei Operationen des vorderen Kreuzbandes (VKB) zu besseren klinischen Ergebnissen, erhöhter Kniegelenksstabilität und einer verminderten Versagensrate im Vergleich zur Durchführung einer isolierten Kreuzbandplastik führen kann. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die mittelfristigen patient-reported outcome measures (PROMs), die Re-Rupturraten und den Return-to-Sport bei Patienten mit einer Revisionsoperation des VKBs mit und ohne additiver LET zu vergleichen.

Methodik: Insgesamt 45 volljährige Patienten, die in einem Zeitraum zwischen Februar 2017 und Dezember 2021 eine Revisionsoperation des VKBs mit (rVKB+LET-Gruppe) oder ohne (rVKB-Gruppe) zusätzliche Durchführung einer LET erhielten und mindestens 24 Monate nachbeobachtet werden konnten, wurden in die Studie eingeschlossen. Patienten, die eine kontralaterale VKB-Ruptur, eine Multiligamentverletzung oder einen postoperativen Kniegelenksinfekt erlitten, eine varische oder valgische Beinachsendiformität über 5°, einen posterioren tibialen Slope (PTS) über 12° aufwiesen oder sich einer Umstellungsosteotomie bzw. einer operativen Knorpeltherapie unterzogen, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Die demografischen Daten wurden zunächst retrospektiv analysiert und die Patienten anschließend klinisch nachuntersucht. Die anschließende Erhebung der PROMs erfolgte durch Fragebögen mittels IKDC-, Lysholm-, Tegner-, KOOS- und ACL-RSI Score. Außerdem wurde die RTS-Rate und das postoperative Schmerzniveau (VAS) erfasst. Die Versagensrate der Revisionstransplantate wurde analysiert und die Kniegelenksstabilität durch Messung der anterioren tibialen Translation (ATT) mittels Rolimeter quantifiziert.

Ergebnisse: Die Vergleichsgruppen unterschieden sich nicht in den demografischen Parametern. In keinem der erhobenen Funktionsscores konnte ein signifikanter Unterschied bei insgesamt guten Ergebnissen in beiden Gruppen festgestellt werden. Auch die RTS-Quote unterschied sich nicht signifikant, jedoch kehrten die Patienten beider Gruppen postoperativ auf einem signifikant verminderten Niveau zum Sport zurück (rVKB: $p=0,001$; rVKB+LET: $p<0,001$). Bezüglich der Versagensraten der VKB-Plastiken zeigte sich tendenziell ein protektiver Effekt der LET (rVKB-Gruppe 13% vs. 4,5% Versagensquote bei rVKB+LET; $p=0,608$), welcher jedoch keine statistische Signifikanz erreichte. Die ATT unterschied sich ebenfalls nicht signifikant (SDD rVKB: $2,4 \pm 1,3$ mm vs. SDD rVKB+LET: $2,0 \pm 1,8$ mm; $p=0,636$).

Schlussfolgerung: VKB-Revisionsoperationen zeigen sowohl mit als auch ohne Durchführung einer additiven LET mittelfristig gute Ergebnisse in Bezug auf PROMs, das postoperative Schmerzlevel und die RTS-Quote. Der Einsatz einer LET trägt tendenziell zur

Verbesserung der Kniegelenksstabilität und zur Reduktion der Versagensrate von Revisionskreuzbandplastiken bei.

8. Abstract

Background: Previous studies have indicated that adding a lateral extra-articular tenodesis (LET) in surgery of the anterior cruciate ligament (ACL) results in better clinical outcomes, enhanced knee joint stability, and a lower failure rate compared to isolated ACL revision reconstruction. This study aimed to compare mid-term patient-reported outcome measures (PROMs), re-rupture rates, and return-to-sport (RTS) outcomes between patients who underwent ACL revision surgery with and without additional LET.

Methods: 45 adult patients who underwent revision ACL surgery with (rACL+LET group) or without (rACL group) an additional LET between February 2017 and December 2021, and a minimum follow-up of 24 months, were included. A retrospective analysis of demographic data and re-rupture rates, followed by a prospective clinical examination and analysis of the PROMs, was conducted. Patients with contralateral ACL rupture, multi-ligament injury, postoperative knee joint infection, varus or valgus malalignment exceeding 5° or posterior tibial slope (PTS) greater than 12° were excluded. Patients who received additional osteotomy or surgical cartilage repair were also excluded. PROMs were assessed using the IKDC-, Lysholm-, Tegner- (TAS), KOOS-, and ACL-RSI questionnaires. Additionally, the RTS rate (defined as TAS >3) and postoperative pain level (visual analogue scale (VAS)) were recorded. Revision graft failure rates were analyzed, and knee joint stability was quantified by measuring anterior tibial translation (ATT) using a rolimeter device.

Results: The groups did not differ in demographic parameters. No significant differences were found in functional scores and RTS rates, with overall good outcomes in both groups. However, patients in both groups returned to sports at a significantly reduced level postoperatively (rACL: $p=0.001$; rACL+LET: $p<0.001$). Regarding ACL graft failure rates, there was a trend towards a protective effect of additional LET (rACL group: 13% vs. 4.5% in rACL+LET group; $p=0.608$), although this did not reach statistical significance. ATT measurements did not show a significant difference (SDD rACL: 2.4 ± 1.3 mm vs. SDD rACL+LET: 2.0 ± 1.8 mm) between the groups.

Conclusions: Mid-term results in ACL revision surgery are promising and show comparable results regarding clinical outcomes, pain, and RTS rates. Using a LET tends to improve knee joint stability and may reduce failure rates in revision ACL surgery.

9. Literaturverzeichnis

- Achtnich, A., & Petersen, W. (2018). Vorderes Kreuzband – Neue Operationstechniken. *Arthroskopie*, 31(3), 193-195. <https://doi.org/10.1007/s00142-018-0218-6>
- Alm, L., Drenck, T. C., Frosch, K. H., & Akoto, R. (2020). Lateral extra-articular tenodesis in patients with revision anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and high-grade anterior knee instability. *Knee*, 27(5), 1451-1457. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2020.06.005>
- Amis, A. A., Bull, A. M. J., & Lie, D. T. T. (2005). Biomechanics of rotational instability and anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 15(1), 29-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1053/j.oto.2004.10.009>
- Amis, A. A., & Scammell, B. E. (1993). Biomechanics of intra-articular and extra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br*, 75(5), 812-817. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.75b5.8376447>
- Balendra, G., Jones, M., Borque, K. A., Willinger, L., Pinheiro, V. H., & Williams, A. (2021). Factors affecting return to play and graft re-rupture after primary ACL reconstruction in professional footballers. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(7), 2200-2208. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06765-8>
- Balendra, G., Willinger, L., Pai, V., Mitchell, A., Lee, J., Jones, M., & Williams, A. (2022). Anterolateral complex injuries occur in the majority of 'isolated' anterior cruciate ligament ruptures. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(1), 176-183. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06543-6>
- Benjaminse, A., Gokeler, A., & van der Schans, C. P. (2006). Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 36(5), 267-288. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2011>
- Boksh, K., Sheikh, N., Chong, H. H., Ghosh, A., & Aujla, R. (2024). The Role of Anterolateral Ligament Reconstruction or Lateral Extra-articular Tenodesis for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Clinical Studies. *Am J Sports Med*, 52(1), 269-285. <https://doi.org/10.1177/03635465231157377>
- Claes, S., Vereecke, E., Maes, M., Victor, J., Verdonk, P., & Bellemans, J. (2013). Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat*, 223(4), 321-328. <https://doi.org/10.1111/joa.12087>
- Condello, V., Beaufileis, P., Becker, R., Ahmad, S. S., Bonomo, M., Dejour, D., Eriksson, K., Filardo, G., Feucht, M. J., Grassi, A., Wilson, A., Menetrey, J., Pujol, N., Rathcke, M., Seil, R., Strauss, M. J., & Tischer, T. (2023). Management of anterior cruciate

ligament revision in adults: the 2022 ESSKA consensus: part II-surgical strategy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 31(11), 4652-4661.
<https://doi.org/10.1007/s00167-023-07550-5>

- D'Ambrosi, R., Corona, K., Cerciello, S., Guerra, G., Mercurio, M., Galasso, O., Valli, F., Abermann, E., & Fink, C. (2025). Combining an Anterolateral Complex Procedure With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Reduces Graft Reinjury Without Increasing the Rate of Complications: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med*, 3635465241285887. <https://doi.org/10.1177/03635465241285887>
- Dejour, H., & Bonnin, M. (1994). Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br*, 76(5), 745-749.
- Desai, N., Björnsson, H., Musahl, V., Bhandari, M., Petzold, M., Fu, F. H., & Samuelsson, K. (2014). Anatomic single- versus double-bundle ACL reconstruction: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 22(5), 1009-1023.
<https://doi.org/10.1007/s00167-013-2811-6>
- Diermeier, T. A., Rothrauff, B. B., Engebretsen, L., Lynch, A., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E. A., Meredith, S. J., Rauer, T., Ayeni, O. R., Paterno, M., Xerogeanes, J. W., Fu, F. H., Karlsson, J., & Musahl, V. (2021). Treatment after ACL injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Br J Sports Med*, 55(1), 14-22. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102200>
- Duncan, B. R., Reid, M., Kleihege, J., Higbie, S., Gardner, E. P., Lowe, W., & Bailey, L. (2023). Comparison of Psychological Readiness to Return to Sport After Primary Versus Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 11(5), 23259671231159408. <https://doi.org/10.1177/23259671231159408>
- Eberle, C. (2022). Vordere Kreuzband-Revision. *OUP*, 11, 165-162. <https://doi.org/DOI10.53180/oup.2022.0155-0162>
- Eggeling, L., Drenck, T. C., Frings, J., Krause, M., Korthaus, A., Krukenberg, A., Frosch, K. H., & Akoto, R. (2022). Additional lateral extra-articular tenodesis in revision ACL reconstruction does not influence the outcome of patients with low-grade anterior knee laxity. *Arch Orthop Trauma Surg*, 142(2), 291-299.
<https://doi.org/10.1007/s00402-021-04145-y>
- Ellison, A. E. (1979). Distal iliotibial-band transfer for anterolateral rotatory instability of the knee. *JBJS*, 61(3).
https://journals.lww.com/jbjsjournal/fulltext/1979/61030/distal_iliotibial_band_transfer_for_anterolateral.2.aspx
- Ferretti, A., Monaco, E., Redler, A., Argento, G., De Carli, A., Saithna, A., Helito, P. V. P., & Helito, C. P. (2019). High Prevalence of Anterolateral Ligament Abnormalities on

- MRI in Knees With Acute Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Case-Control Series From the SANTI Study Group. *Orthop J Sports Med*, 7(6), 2325967119852916. <https://doi.org/10.1177/2325967119852916>
- Flato, R., Passanante, G. J., Skalski, M. R., Patel, D. B., White, E. A., & Matcuk, G. R., Jr. (2017). The iliotibial tract: imaging, anatomy, injuries, and other pathology. *Skeletal Radiol*, 46(5), 605-622. <https://doi.org/10.1007/s00256-017-2604-y>
- Flury, A., Hasler, J., Imhoff, F. B., Finsterwald, M., Camenzind, R. S., Helmy, N., & Antoniadis, A. (2019). Die modifizierte Lemaire-Technik: Indikation, Eingriff und klinische Ergebnisse. *Der Orthopäde*, 48(3), 248-256. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-03663-9>
- Ganko, A., Engebretsen, L., & Ozer, H. (2000). The Rolimeter: a new arthrometer compared with the KT-1000. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 8(1), 36-39. <https://doi.org/10.1007/s001670050008>
- Garcia-Mansilla, I., Zicaro, J. P., Martinez, E. F., Astoul, J., Yacuzzi, C., & Costa-Paz, M. (2022). Overview of the anterolateral complex of the knee. *World J Clin Cases*, 10(24), 8474-8481. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i24.8474>
- Geeslin, A. G., Chahla, J., Moatshe, G., Muckenhirn, K. J., Kruckeberg, B. M., Brady, A. W., Coggins, A., Dornan, G. J., Getgood, A. M., Godin, J. A., & LaPrade, R. F. (2018). Anterolateral Knee Extra-articular Stabilizers: A Robotic Sectioning Study of the Anterolateral Ligament and Distal Iliotibial Band Kaplan Fibers. *Am J Sports Med*, 46(6), 1352-1361. <https://doi.org/10.1177/0363546518759053>
- George, M. S., Dunn, W. R., & Spindler, K. P. (2006). Current concepts review: revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 34(12), 2026-2037. <https://doi.org/10.1177/0363546506295026>
- Georgoulis, A. D., Ristanis, S., Moraiti, C. O., Paschos, N., Zampeli, F., Xergia, S., Georgiou, S., Patras, K., Vasiliadis, H. S., & Mitsionis, G. (2010). ACL injury and reconstruction: Clinical related in vivo biomechanics. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 96(8, Supplement), S119-S128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.09.004>
- Getgood, A., Brown, C., Lording, T., Amis, A., Claes, S., Geeslin, A., Musahl, V., Amis, A., Brown, C., Cavaignac, E., Claes, S., Daggett, M., Dejour, D., Engebretsen, L., Feng, H., Fleming, B., Fu, F., Geeslin, A., Getgood, A.,...Group, A. L. C. C. (2019). The anterolateral complex of the knee: results from the International ALC Consensus Group Meeting. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(1), 166-176. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5072-6>
- Getgood, A. M. J., Bryant, D. M., Litchfield, R., Heard, M., McCormack, R. G., Rezansoff, A., Peterson, D., Bardana, D., MacDonald, P. B., Verdonk, P. C. M., Spalding, T.,

- Willits, K., Birmingham, T., Hewison, C., Wanlin, S., Firth, A., Pinto, R., Martindale, A., O'Neill, L.,...Van Haver, M. (2020). Lateral Extra-articular Tenodesis Reduces Failure of Hamstring Tendon Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: 2-Year Outcomes From the STABILITY Study Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med*, 48(2), 285-297. <https://doi.org/10.1177/0363546519896333>
- Grassi, A., Nitri, M., Moulton, S. G., Marcheggiani Muccioli, G. M., Bondi, A., Romagnoli, M., & Zaffagnini, S. (2017). Does the type of graft affect the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction? a meta-analysis of 32 studies. *Bone Joint J*, 99-b(6), 714-723. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.99b6.bjj-2016-0929.r2>
- Grassi, A., Zicaro, J. P., Costa-Paz, M., Samuelsson, K., Wilson, A., Zaffagnini, S., & Condello, V. (2020). Good mid-term outcomes and low rates of residual rotatory laxity, complications and failures after revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACL) and lateral extra-articular tenodesis (LET). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 28(2), 418-431. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05625-w>
- Green, D. W., Hidalgo Perea, S., Brusalis, C. M., Chipman, D. E., Asaro, L. A., & Cordasco, F. A. (2023). A Modified Lemaire Lateral Extra-articular Tenodesis in High-Risk Adolescents Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Quadriceps Tendon Autograft: 2-Year Clinical Outcomes. *Am J Sports Med*, 51(6), 1441-1446. <https://doi.org/10.1177/03635465231160681>
- Guenther, D., Griffith, C., Lesniak, B., Lopomo, N., Grassi, A., Zaffagnini, S., Fu, F. H., & Musahl, V. (2015). Anterolateral rotatory instability of the knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(10), 2909-2917. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3616-6>
- Guenther, D., Rahnama-Azar, A. A., Bell, K. M., Irrarrázaval, S., Fu, F. H., Musahl, V., & Debski, R. E. (2017). The Anterolateral Capsule of the Knee Behaves Like a Sheet of Fibrous Tissue. *Am J Sports Med*, 45(4), 849-855. <https://doi.org/10.1177/0363546516674477>
- Hallén, L. G., & Lindahl, O. (1966). The "screw-home" movement in the knee-joint. *Acta Orthop Scand*, 37(1), 97-106. <https://doi.org/10.3109/17453676608989407>
- Hefti, F., Müller, W., Jakob, R. P., & Stäubli, H. U. (1993). Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1(3-4), 226-234. <https://doi.org/10.1007/bf01560215>
- Helito, C. P., Sobrado, M. F., Moreira da Silva, A. G., Castro de Pádua, V. B., Guimarães, T. M., Bonadio, M. B., Pécora, J. R., Gobbi, R. G., & Camanho, G. L. (2023). The Addition of Either an Anterolateral Ligament Reconstruction or an Iliotibial Band

Tenodesis Is Associated With a Lower Failure Rate After Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Retrospective Comparative Trial. *Arthroscopy*, 39(2), 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.06.039>

- Herbort, M., Abermann, E., Feller, J. A., & Fink, C. (2022). Anterolaterale Stabilisierung mittels modifizierter Ellison-Technik – Behandlung anterolateraler Instabilitäten und Verminderung des VKB-Rerupturrisikos. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 34(3), 231-238. <https://doi.org/10.1007/s00064-021-00741-8>
- Hughes, J. D., Rauer, T., Gibbs, C. M., & Musahl, V. (2019). Diagnosis and treatment of rotatory knee instability. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 6(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40634-019-0217-1>
- Hughston, J. C., Andrews, J. R., Cross, M. J., & Moschi, A. (1976). Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment. *J Bone Joint Surg Am*, 58(2), 173-179.
- Hurley, E. T., Manjunath, A. K., Strauss, E. J., Jazrawi, L. M., & Alaia, M. J. (2021). Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Extra-Articular Augmentation: A Systematic Review. *Arthroscopy*, 37(1), 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2020.06.007>
- Inderhaug, E., Stephen, J. M., Williams, A., & Amis, A. A. (2017). Biomechanical Comparison of Anterolateral Procedures Combined With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*, 45(2), 347-354. <https://doi.org/10.1177/0363546516681555>
- Irrgang, J. J., Anderson, A. F., Boland, A. L., Harner, C. D., Kurosaka, M., Neyret, P., Richmond, J. C., & Shelborne, K. D. (2001). Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med*, 29(5), 600-613. <https://doi.org/10.1177/03635465010290051301>
- Jakob, R. P., Stäubli, H. U., & Deland, J. T. (1987). Grading the pivot shift. Objective tests with implications for treatment. *J Bone Joint Surg Br*, 69(2), 294-299. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.69b2.3818763>
- Jesani, S., & Getgood, A. (2019). Modified Lemaire Lateral Extra-Articular Tenodesis Augmentation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JBJS Essential Surgical Techniques*, 9(4). https://journals.lww.com/jbjses/fulltext/2019/12000/modified_lemaire_lateral_extra_articular_tenodesis.12.aspx
- Kaplan, E. B. (1958). The iliotibial tract; clinical and morphological significance. *J Bone Joint Surg Am*, 40-a(4), 817-832.
- Keizer, M. N. J., Brouwer, R. W., de Graaff, F., & Hoogeslag, R. A. G. (2023). Higher return to pre-injury type of sports after revision anterior ligament reconstruction with

- lateral extra-articular tenodesis compared to without lateral extra-articular tenodesis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 31(5), 1699-1703. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07018-y>
- Kittl, C., El-Daou, H., Athwal, K. K., Gupte, C. M., Weiler, A., Williams, A., & Amis, A. A. (2016). The Role of the Anterolateral Structures and the ACL in Controlling Laxity of the Intact and ACL-Deficient Knee. *Am J Sports Med*, 44(2), 345-354. <https://doi.org/10.1177/0363546515614312>
- Kittl, C., Inderhaug, E., Williams, A., & Amis, A. A. (2018). Biomechanics of the Anterolateral Structures of the Knee. *Clin Sports Med*, 37(1), 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2017.07.004>
- Kittl, C., Weiler, A., & Amis, A. A. (2014). Anterolaterale Rotationsinstabilität. *Arthroskopie*, 27(3), 170-176. <https://doi.org/10.1007/s00142-014-0816-x>
- Kohn, L., Rembeck, E., & Rauch, A. (2020). Verletzung des vorderen Kreuzbandes beim Erwachsenen. *Der Orthopäde*, 49(11), 1013-1028. <https://doi.org/10.1007/s00132-020-03997-3>
- Kopf, S., Kauert, R., Halfpaap, J., Jung, T., & Becker, R. (2012). A new quantitative method for pivot shift grading. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(4), 718-723. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1903-z>
- Langford, J. L., Webster, K. E., & Feller, J. A. (2009). A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Br J Sports Med*, 43(5), 377-381. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.044818>
- Liechti, D. J., Chahla, J., Dean, C. S., Mitchell, J. J., Slette, E., Menge, T. J., & LaPrade, R. F. (2016). Outcomes and Risk Factors of Rerevision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthroscopy*, 32(10), 2151-2159. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.04.017>
- Lind, M., Lund, B., Faunø, P., Said, S., Miller, L. L., & Christiansen, S. E. (2012). Medium to long-term follow-up after ACL revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(1), 166-172. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1629-3>
- Lysholm, J., & Gillquist, J. (1982). Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10(3), 150-154. <https://doi.org/10.1177/036354658201000306>
- Lemaire, M. (1967). Rupture ancienne du ligament croisé antérieur du genou; fréquence, clinique, traitement(46 cas). *J Chir(Paris)*, 93(3), 311-320.
- Mahmoud, A., Torbey, S., Honeywill, C., & Myers, P. (2022). Lateral Extra-Articular Tenodesis Combined With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Effective in Knees With Additional Features of Lateral, Hyperextension, or

- Increased Rotational Laxity: A Matched Cohort Study. *Arthroscopy*, 38(1), 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.04.068>
- Marom, N., Ouanezar, H., Jahandar, H., Zayyad, Z. A., Fraychineaud, T., Hurwit, D., Imhauser, C. W., Wickiewicz, T. L., Pearle, A. D., & Nawabi, D. H. (2020). Lateral Extra-articular Tenodesis Reduces Anterior Cruciate Ligament Graft Force and Anterior Tibial Translation in Response to Applied Pivoting and Anterior Drawer Loads. *Am J Sports Med*, 48(13), 3183-3193. <https://doi.org/10.1177/0363546520959322>
- Mayr, R., Sigloch, M., Coppola, C., Hoermann, R., Iltschev, A., & Schmoelz, W. (2022). Modified Lemaire tenodesis reduces anterior cruciate ligament graft forces during internal tibial torque loading. *J Exp Orthop*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40634-022-00484-w>
- Muramatsu, K., Saithna, A., Watanabe, H., Sasaki, K., Yokosawa, K., Hachiya, Y., Banno, T., Helito, C. P., & Sonnery-Cottet, B. (2018). Three-dimensional Magnetic Resonance Imaging of the Anterolateral Ligament of the Knee: An Evaluation of Intact and Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knees From the Scientific Anterior Cruciate Ligament Network International (SANTI) Study Group. *Arthroscopy*, 34(7), 2207-2217. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.02.014>
- Musahl, V., Engler, I. D., Nazzari, E. M., Dalton, J. F., Lucidi, G. A., Hughes, J. D., Zaffagnini, S., Della Villa, F., Irrgang, J. J., Fu, F. H., & Karlsson, J. (2022). Current trends in the anterior cruciate ligament part II: evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(1), 34-51. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06825-z>
- Musahl, V., Hoshino, Y., Ahliden, M., Araujo, P., Irrgang, J. J., Zaffagnini, S., Karlsson, J., & Fu, F. H. (2012). The pivot shift: a global user guide. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(4), 724-731. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1859-4>
- Myles, P. S., Myles, D. B., Gallagher, W., Boyd, D., Chew, C., MacDonald, N., & Dennis, A. (2017). Measuring acute postoperative pain using the visual analog scale: the minimal clinically important difference and patient acceptable symptom state. *Br J Anaesth*, 118(3), 424-429. <https://doi.org/10.1093/bja/aew466>
- Neri, T., Dabirrahmani, D., Beach, A., Grasso, S., Putnis, S., Oshima, T., Cadman, J., Devitt, B., Coolican, M., Fritsch, B., Appleyard, R., & Parker, D. (2021). Different anterolateral procedures have variable impact on knee kinematics and stability when performed in combination with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Isakos*, 6(2), 74-81. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2019-000360>
- Noyes, F. R., Huser, L. E., & Levy, M. S. (2017). Rotational Knee Instability in ACL-Deficient Knees: Role of the Anterolateral Ligament and Iliotibial Band as Defined by

Tibiofemoral Compartment Translations and Rotations. *JBJS*, 99(4).

https://journals.lww.com/jbjsjournal/fulltext/2017/02150/rotational_knee_instability_in_acl_deficient.4.aspx

- Nwachukwu, B. U., Patel, B. H., Lu, Y., Allen, A. A., & Williams, R. J., III. (2019). Anterior Cruciate Ligament Repair Outcomes: An Updated Systematic Review of Recent Literature. *Arthroscopy*, 35(7), 2233-2247.
<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2019.04.005>
- Park, J.-G., Han, S.-B., Lee, C.-S., Jeon, O. H., & Jang, K.-M. (2022). Anatomy, Biomechanics, and Reconstruction of the Anterolateral Ligament of the Knee Joint. *Medicina*, 58(6), 786. <https://www.mdpi.com/1648-9144/58/6/786>
- Peez, C., Herbst, E., Deichsel, A., Raschke, M. J., Briese, T., Glasbrenner, J., & Kittl, C. (2024). Anterolaterale Instabilität – Anatomie, Biomechanik und Therapiemöglichkeiten. *Knie Journal*, 6(1), 31-41.
<https://doi.org/10.1007/s43205-023-00252-5>
- Persson, A., Fjeldsgaard, K., Gjertsen, J. E., Kjellsen, A. B., Engebretsen, L., Hole, R. M., & Fevang, J. M. (2014). Increased risk of revision with hamstring tendon grafts compared with patellar tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 12,643 patients from the Norwegian Cruciate Ligament Registry, 2004-2012. *Am J Sports Med*, 42(2), 285-291.
<https://doi.org/10.1177/0363546513511419>
- Petersen, W., Guenther, D., Imhoff, A. B., Herbort, M., Stein, T., Schoepp, C., Akoto, R., Höher, J., Scheffler, S., Stoehr, A., Stoffels, T., Häner, M., Hees, T., Mehl, J., Ellermann, A., Krause, M., Mengis, N., Eberle, C., Müller, P. E.,...Achnich, A. (2023). Management after acute rupture of the anterior cruciate ligament (ACL). Part 1: ACL reconstruction has a protective effect on secondary meniscus and cartilage lesions. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 31(5), 1665-1674. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-06960-1>
- Porter, M. D., Shadbolt, B., & Pomroy, S. (2018). The Augmentation of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Modified Iliotibial Band Tenodesis to Correct the Pivot Shift: A Computer Navigation Study. *Am J Sports Med*, 46(4), 839-845. <https://doi.org/10.1177/0363546517750123>
- Rezansoff, A., Firth, A. D., Bryant, D. M., Litchfield, R., McCormack, R. G., Heard, M., MacDonald, P. B., Spalding, T., Verdonk, P. C. M., Peterson, D., Bardana, D., & Getgood, A. M. J. (2024). Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Plus Lateral Extra-articular Tenodesis Has a Similar Return-to-Sport Rate to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alone but a Lower Failure Rate. *Arthroscopy*, 40(2), 384-396.e381. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2023.05.019>

- Roos, E. M., Roos, H. P., Lohmander, L. S., Ekdahl, C., & Beynnon, B. D. (1998). Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther*, 28(2), 88-96. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.28.2.88>
- Rosenstiel, N., Praz, C., Ouanezar, H., Saithna, A., Fournier, Y., Hager, J.-P., Thauinat, M., & Sonnery-Cottet, B. (2019). Combined Anterior Cruciate and Anterolateral Ligament Reconstruction in the Professional Athlete: Clinical Outcomes From the Scientific Anterior Cruciate Ligament Network International Study Group in a Series of 70 Patients With a Minimum Follow-Up of 2 Years. *Arthroscopy*, 35(3), 885-892. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.09.020>
- Runer, A., Csapo, R., Hepperger, C., Herbort, M., Hoser, C., & Fink, C. (2020). Anterior Cruciate Ligament Reconstructions With Quadriceps Tendon Autograft Result in Lower Graft Rupture Rates but Similar Patient-Reported Outcomes as Compared With Hamstring Tendon Autograft: A Comparison of 875 Patients. *Am J Sports Med*, 48(9), 2195-2204. <https://doi.org/10.1177/0363546520931829>
- Saithna, A., Monaco, E., Carrozzo, A., Marzilli, F., Cardarelli, S., Lagusis, B., Rossi, G., Vieira, T. D., Ferretti, A., & Sonnery-Cottet, B. (2023). Anterior Cruciate Ligament Revision Plus Lateral Extra-Articular Procedure Results in Superior Stability and Lower Failure Rates Than Does Isolated Anterior Cruciate Ligament Revision but Shows No Difference in Patient-Reported Outcomes or Return to Sports. *Arthroscopy*, 39(4), 1088-1098. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.12.029>
- Samitier, G., Marcano, A. I., Alentorn-Geli, E., Cugat, R., Farmer, K. W., & Moser, M. W. (2015). Failure of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arch Bone Jt Surg*, 3(4), 220-240.
- Schlichte, L. M., Aitchison, A. H., Green, D. W., & Cordasco, F. A. (2020). Modified Lemaire Lateral Extra-articular Tenodesis in the Pediatric Patient: An Adjunct to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy Techniques*, 9(1), e111-e116. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2019.09.010>
- Schlumberger, M., Schuster, P., Schulz, M., Immendörfer, M., Mayer, P., Bartholomä, J., & Richter, J. (2017). Traumatic graft rupture after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: retrospective analysis of incidence and risk factors in 2915 cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 25(5), 1535-1541. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3699-0>
- Shaikh, H., Herbst, E., Rahnemai-Azar, A. A., Bottene Villa Albers, M., Naendrup, J.-H., Musahl, V., Irrgang, J. J., & Fu, F. H. (2017). The Second Fracture Is an Avulsion of the Anterolateral Complex. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(10), 2247-2252. <https://doi.org/10.1177/0363546517704845>

- Slette, E. L., Mikula, J. D., Schon, J. M., Marchetti, D. C., Kheir, M. M., Turnbull, T. L., & LaPrade, R. F. (2016). Biomechanical Results of Lateral Extra-articular Tenodesis Procedures of the Knee: A Systematic Review. *Arthroscopy*, 32(12), 2592-2611. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.04.028>
- Slichter, M. E., Wolterbeek, N., Auw Yang, K. G., Zijl, J. A. C., & Piscaer, T. M. (2018). A novel test for assessment of anterolateral rotatory instability of the knee: the tibial internal rotation test (TIR test). *J Exp Orthop*, 5(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40634-018-0141-9>
- Sonnery-Cottet, B., Lutz, C., Daggett, M., Dalmay, F., Freychet, B., Niglis, L., & Imbert, P. (2016). The Involvement of the Anterolateral Ligament in Rotational Control of the Knee. *Am J Sports Med*, 44(5), 1209-1214. <https://doi.org/10.1177/0363546515625282>
- Sørensen, O. G., Faunø, P., Konradsen, L., Nielsen, T., Schaarup, S., Mygind-Klavsen, B., Krogsgaard, M., & Lind, M. (2023). Combined anterior cruciate ligament revision with reconstruction of the antero-lateral ligament does not improve outcome at 2-year follow-up compared to isolated acl revision; a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 31(11), 5077-5086. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07558-x>
- Suero, E. M., Njoku, I. U., Voigt, M. R., Lin, J., Koenig, D., & Pearle, A. D. (2013). The role of the iliotibial band during the pivot shift test. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21(9), 2096-2100. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2257-2>
- Tegner, Y., & Lysholm, J. (1985). Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*(198), 43-49.
- Terry, G. C., Hughston, J. C., & Norwood, L. A. (1986). The anatomy of the iliopatellar band and iliotibial tract. *Am J Sports Med*, 14(1), 39-45. <https://doi.org/10.1177/036354658601400108>
- Trojani, C., Beaufils, P., Burdin, G., Bussièrè, C., Chassaing, V., Djian, P., Dubrana, F., Ehkirch, F. P., Franceschi, J. P., Hulet, C., Jouve, F., Potel, J. F., Sbihi, A., Neyret, P., & Colombet, P. (2012). Revision ACL reconstruction: influence of a lateral tenodesis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(8), 1565-1570. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1765-9>
- van der Wal, W. A., Meijer, D. T., Hoogslag, R. A. G., & LaPrade, R. F. (2022). Meniscal Tears, Posterolateral and Posteromedial Corner Injuries, Increased Coronal Plane, and Increased Sagittal Plane Tibial Slope All Influence Anterior Cruciate Ligament-Related Knee Kinematics and Increase Forces on the Native and Reconstructed Anterior Cruciate Ligament: A Systematic Review of Cadaveric Studies. *Arthroscopy*, 38(5), 1664-1688.e1661. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.11.044>

- van der Wal, W. A., Meijer, D. T., Hoogslag, R. A. G., & LaPrade, R. F. (2024). The Iliotibial Band is the Main Secondary Stabilizer for Anterolateral Rotatory Instability and both a Lemaire Tenodesis and Anterolateral Ligament Reconstruction Can Restore Native Knee Kinematics in the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knee: A Systematic Review of Biomechanical Cadaveric Studies. *Arthroscopy*, 40(2), 632-647.e631. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2023.05.005>
- van Eck, C. F., Schkrohowsky, J. G., Working, Z. M., Irrgang, J. J., & Fu, F. H. (2012). Prospective analysis of failure rate and predictors of failure after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with allograft. *Am J Sports Med*, 40(4), 800-807. <https://doi.org/10.1177/0363546511432545>
- van Yperen, D. T., Reijman, M., van Es, E. M., Bierma-Zeinstra, S. M. A., & Meuffels, D. E. (2018). Twenty-Year Follow-up Study Comparing Operative Versus Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in High-Level Athletes. *Am J Sports Med*, 46(5), 1129-1136. <https://doi.org/10.1177/0363546517751683>
- Ventura, A., Legnani, C., Boisio, F., Borgo, E., & Peretti, G. M. (2021). The association of extra-articular tenodesis restores rotational stability more effectively compared to contralateral hamstring tendon autografts ACL reconstruction alone in patients undergoing ACL revision surgery. *Orthop Traumatol Surg Res*, 107(2), 102739. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.06.022>
- Vivacqua, T. A., Winkler, P. W., Lucidi, G. A., Firth, A. D., Musahl, V., & Getgood, A. (2024). Lateral Extra-articular Tenodesis Does Not Decrease Graft Failure in Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction When Combined With Quadriceps or Patellar Tendon Grafts. *Arthroscopy*, 40(10), 2601-2609. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.01.034>
- Webster, K. E., Feller, J. A., & Lambros, C. (2008). Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport*, 9(1), 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2007.09.003>
- Williams, A. (2018). Editorial Commentary: The Anterolateral Ligament: The Emperor's New Clothes? *Arthroscopy*, 34(4), 1015-1021. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.12.026>
- Willinger, L., Athwal, K. K., Holthof, S., Imhoff, A. B., Williams, A., & Amis, A. A. (2023). Role of the Anterior Cruciate Ligament, Anterolateral Complex, and Lateral Meniscus Posterior Root in Anterolateral Rotatory Knee Instability: A Biomechanical Study. *Am J Sports Med*, 51(5), 1136-1145. <https://doi.org/10.1177/03635465231161071>

- Wolfson, T. S., Mannino, B., Owens, B. D., Waterman, B. R., & Alaia, M. J. (2023). Tunnel Management in Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Concepts. *Am J Sports Med*, 51(2), 545-556.
<https://doi.org/10.1177/03635465211045705>
- Wright, R. W., Huston, L. J., Haas, A. K., Pennings, J. S., Allen, C. R., Cooper, D. E., DeBerardino, T. M., Dunn, W. R., Lantz, B. B. A., Spindler, K. P., Stuart, M. J., Albright, J. P., Amendola, A. N., Andrish, J. T., Annunziata, C. C., Arciero, R. A., Bach, B. R., Jr., Baker, C. L., 3rd, Bartolozzi, A. R.,...York, J. J. (2021). Association Between Graft Choice and 6-Year Outcomes of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the MARS Cohort. *Am J Sports Med*, 49(10), 2589-2598. <https://doi.org/10.1177/03635465211027170>
- Yabroudi, M. A., Björnsson, H., Lynch, A. D., Muller, B., Samuelsson, K., Tarabichi, M., Karlsson, J., Fu, F. H., Harner, C. D., & Irrgang, J. J. (2016). Predictors of Revision Surgery After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 4(9), 2325967116666039.
<https://doi.org/10.1177/2325967116666039>
- Yamamoto, Y., Hsu, W. H., Fisk, J. A., Van Scyoc, A. H., Miura, K., & Woo, S. L. (2006). Effect of the iliotibial band on knee biomechanics during a simulated pivot shift test. *J Orthop Res*, 24(5), 967-973. <https://doi.org/10.1002/jor.20122>
- Zabrzyński, J., Kwapisz, A., Erdmann, J., Zabrzyńska, M., Błachowski, M., Ohla, J., Adamczyk, M., Sokołowski, M., Majchrzak, B., & Huri, G. (2025). Indications for Lateral Extra-articular Tenodesis in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Am J Sports Med*, 3635465241309282.
<https://doi.org/10.1177/03635465241309282>

10. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Anterolateraler Komplex rechts, Ansicht von lateral, nach Entfernung der Muskulatur und der Kniegelenkshöhle. PKF: proximale Kaplan Fasern, DKF: distale Kaplan Fasern, ALL: anterolaterales Ligament, ITB: Tractus iliotibialis FCL: fibulares Kollateralband, PLT: Popliteussehne, LGT: laterale Gastrocnemiussehne. Text- und Bildquelle: Geeslin et al., 2018. 3
- Abbildung 2:** Veränderung der Rotationsachse in Innenrotation bei intaktem vs. rupturiertem VKB. Bei intaktem VKB befindet sich das Rotationszentrum in Neutralstellung zentral auf Höhe der eminentia intercondylaris. Nach VKB-Riss verlagert sich die Rotationsachse in das mediale Kompartiment, woraus eine erhöhte Innenrotation (schwarzer Pfeil) sowie eine erhöhte anteriore Translation (grauer Pfeil) resultiert. Text- und Bildquelle modifiziert nach Amis et. al, 2005. 6
- Abbildung 3:** Protonendichte, fettsupprimierte MRT-Sequenz in koronarer Schnittebene. A: rechtes Kniegelenk mit intakten Kaplan-Fasern (weißer Pfeil). B: Linkes Kniegelenk mit Ruptur der KF (gelber Pfeil) sowie korrespondierendem Knochenmarksödem an der lateralen Femurkondyle (*). Text- und Bildquelle: Balendra et al., 2022. 10
- Abbildung 4:** Röntgenaufnahme in anterior-posterior Projektion des linken Kniegelenkes mit Segond-Fraktur am anterolateralen Tibiaplateau. Text- und Bildquelle: Peez et al., 2024. 11
- Abbildung 5:** Schematische Zeichnung einer extraartikulären Tenodese in modifizierter Lemaire-Technik. A: rechtes Kniegelenk von lateral mit Tractus iliotibialis (ITB) und Ligamentum collaterale laterale (*). B: Proximales Absetzen des Tractusstreifens mit nachfolgender Armierung des proximalen Endes (schwarzer Pfeil). Das distale Ende des ITB verbleibt zu jeder Zeit an seinem Ansatzpunkt, dem Tuberculum gerdyi. C: Laterale Ansicht bei entferntem Tractus iliotibialis. Der Tractusstreifen wird unter dem Außenband hindurchgeführt und leicht posterior und proximal des Ansatzes des LCL mittels Fixierschraube (rotes X) eingebracht. Text- und Bildquelle modifiziert nach Schlichte et al., 2020. 21
- Abbildung 6:** Schematische Zeichnung einer extraartikulären Tenodese in modifizierter Ellison-Technik. A: rechtes Kniegelenk von lateral mit Tractus iliotibialis (ITB) und Ligamentum collaterale laterale (*). B: Distales Absetzen des Tractusstreifens mit folgender Armierung des proximalen Endes (schwarzer Pfeil). C: Der Tractusstreifen wird von proximal nach distal unter dem Außenband hindurchgeführt und auf Höhe des Tuberculum gerdyi mittels Knochenanker (rotes X) eingebracht. Text- und Bildquelle modifiziert nach Herbort et al., 2022 und Schlichte et al., 2020. 21
- Abbildung 7:** A: Korrekte Anlage des Rolimeters bei Lagerung des Beines in 30°Knieflexion durch eine Knierolle. Die Rundung des Rolimeters sollte zentral auf der Patella und der Messstab direkt auf die tuberositas tibia aufgelegt werden. B: Durchführung des Lachman-Tests mit dem Rolimeter. Die linke Hand des Untersuchers fixiert das Rolimeter

und den Oberschenkel, die rechte Hand appliziert maximalen tibialen Vorschub. Text- und Bildquelle: Ganko et al., 2000.	24
Abbildung 8: Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Studienpopulation unter Anwendung der angegebenen Aus- und Einschlusskriterien und unter Angabe der im Verlauf ausscheidenden Patienten.	28
Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der VKB-Revisionsplastik-Versagensquoten im Gruppenvergleich.	31
Abbildung 10: Verteilung der erstgradig positiven VKB-Funktionstests in absoluten Zahlen.....	35

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung des Pivot-Shift-Tests von Grad 0 bis Grad 3. Modifiziert nach Jakob et al., 1987 und Hefti et al., 1993.	9
Tabelle 2: Identisches postoperatives Therapieschema für beide Vergleichsgruppen...22	
Tabelle 3: Demografische Patientendaten als Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. als absolute Zahlen mit prozentualer Verteilung.	30
Tabelle 4: Re-Rupturraten der Vergleichsgruppen im Follow-up Zeitraum von mindestens 24 Monaten.....	31
Tabelle 5: Durch Patientenfragebögen erhobene klinische Scores. Die Ergebnisse von IKDC, Lysholm, KOOS, ACL-RSI und VAS sind als Mittelwert mit Minimum und Maximum angegeben. Der prä- und postoperative Tegner-Score sowie die OP-Zufriedenheit sind als Median mit zugehörigem Interquartilsabstand angegeben.	32
Tabelle 6: Darstellung der mittels Rolimeter gemessenen anterioren tibialen Translation als Mittelwert \pm Standardabweichung.....	33
Tabelle 7: Vergleich des Bewegungsausmaßes der Rolimeter Messung in neutraler Position versus eingestellter Innenrotation innerhalb der einzelnen Gruppen.....	34
Tabelle 8: Return-to-Sport in absoluten Zahlen und als Quote in Prozent.	35

12. Vorveröffentlichung

Die Ergebnisse dieser Studie wurden zu einem Teil bereits in folgender Publikation veröffentlicht:

Titel: Lateral Extraarticular Tenodesis in Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: An Analysis of Clinical Outcomes and Failure Rates

Autoren: Lorenz Fritsch, Luca Bausch, Armin Runer, Philipp W. Winkler, Romed P. Vieider, Sebastian Siebenlist, Julian Mehl und Lukas Willinger

Journal: Journal of Clinical Medicine

Ausgabe: 13 (23)

Seiten: 7201 (1-9)

Datum: 27. November 2024

DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13237201>

Link: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/23/7201>

13. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich in den letzten zwei Jahren auf dem Weg zur erfolgreichen Promotion begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer PD Dr. Lukas Willinger, der mir das Promotionsvorhaben ermöglicht hat und dem ich meine ersten wissenschaftlichen Schritte zu verdanken habe. Mit großer fachlicher Expertise, wertvollen Ratschlägen und seiner empathischen Art stand er mir als menschlicher wie wissenschaftlicher Mentor stets zur Seite und ist eine Inspiration für meinen weiteren beruflichen Werdegang.

Gerne möchte ich mich bei PD Dr. Armin Runer und PD Dr. Philipp Winkler für ihr offenes Ohr, ihre wissenschaftliche Beratung und die Unterstützung bedanken, die maßgeblich zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben. Besonders bedanken möchte ich mich bei Dr. Lorenz Fritsch, der mich während des gesamten Projekts, sowohl in der inhaltlichen Planung, der Umsetzung und auf persönlicher Ebene, mit großem Engagement begleitet und unterstützt hat. Ohne seine wertvolle Hilfe wäre die Realisierung dieses Projektes nicht möglich gewesen. Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Dr. Siebenlist, der mir die Möglichkeit gab, in seiner Abteilung zu promovieren und mir das Vertrauen für meine erste ärztliche Weiterbildungsstelle schenkt.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern. Eure beständige Unterstützung und euer Rückhalt sind die Basis für meinen Werdegang. Ohne euch wäre das alles nicht möglich gewesen.

Ebenso möchte ich mich bei meinen Brüdern, meinen Freunden aus München und Marburg und insbesondere den O'Breos für Ihre Unterstützung und Begleitung in den letzten Jahren bedanken.

Abschließend möchte ich noch meine Großeltern Karin, Rudi, Richard und Irmi grüßen.

14. Anhang

14.1. Untersuchungsbogen und Rolimetermessung

UNIVERSITÄRE
SPORTORTHOPÄDIE



Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München

Untersuchungsbogen VKB/LET Studie

Datum _____

Patient*in: _____

Gruppe: VKB+LET VKB isoliert

Betroffenes Kniegelenk: RECHTS LINKS

Consent unterschrieben: JA NEIN

Fragebögen ausgehändigt: JA NEIN

Inspektion: Rötung Schwellung Überwärmung Erguss

Kreptitationen: patellofemoral medial lateral

Palpation: Druckschmerz , Lokalisation: _____

Besonderheiten:

ROM (Ex/Flex): rechts: ____-____-____ links: ____-____-____

Beinachse:

Klinisch: varus valgus Grad: _____

Radiologisch: varus valgus Grad: _____

MCL

- 0° Flexion:	rechts	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
	Links	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
- 20° Flex:	rechts	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
	Links	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>

LCL

- 0° Flexion:	rechts	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
	Links	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
- 20° Flex:	rechts	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
	Links	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>

Patellofemoral

Zahlenzeichen:	rechts: pos / neg	links: pos / neg
Apprehension Test:	rechts: pos / neg	links: pos / neg

Meniskuszeichen

Links:	Negativ <input type="checkbox"/>	Lateral <input type="checkbox"/>	Medial <input type="checkbox"/>
Rechts:	Negativ <input type="checkbox"/>	Lateral <input type="checkbox"/>	Medial <input type="checkbox"/>

Hinteres Kreuzband

Sag sign:	rechts:	Negativ <input type="checkbox"/>	Positiv <input type="checkbox"/>
	links:	Negativ <input type="checkbox"/>	Positiv <input type="checkbox"/>

Hintere Schublade:	rechts:	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>
	links:	stabil <input type="checkbox"/>	I° <input type="checkbox"/>	II° <input type="checkbox"/>	III° <input type="checkbox"/>

Vorderes Kreuzband

Lachmann (Graduierung nach IKDC: **1:** 2-5mm, **2:** 6-10mm, **3:** >10mm)

rechts: stabil I° II° III°
 links: stabil I° II° III°

Pivot Shift (Graduierung nach IKDC: **0:** normal, **1:** gleiten, **2:** klicken, **3:** Subluxation):

rechts: stabil I° II° III°
 links: stabil I° II° III°

Vordere Schublade:

rechts: stabil I° II° III°
 links: stabil I° II° III°

Rolimeter (tibialer Vorschub in mm):

		Lachmann-Test	Vordere Schublade
Normal:	Rechts:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____
	Links:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____
IRO:	Rechts:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____
	Links:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____
ARO:	Rechts:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____
	Links:	1.____ 2.____ 3.____	1.____ 2.____ 3.____

Untersucher: _____

Unterschrift: _____

14.2. ACL-RSI-Skala

ACL-RSI Skala

Kreuzen Sie für jede Frage dasjenige Kästchen zwischen den beiden beschriebenen Extremen an, welches Ihr **derzeitiges** Befinden wiedergibt. Beantworten Sie folgende Fragen zu der Sportart, die Sie als Hauptsportart **vor** Ihrer Verletzung ausgeübt haben:

Hauptsportart vor 1. Kreuzbandriss: _____ kein Sport

Weiter mit KOOS
auf Seite 5



1. Sind Sie zuversichtlich, dass Sie den Sport auf demselben Niveau wie vorher ausüben können?

Überhaupt nicht zuversichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig zuversichtlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

2. Halten Sie es für wahrscheinlich, Ihr Knie durch die Teilnahme an ihrem Sport wieder verletzen zu können?

Sehr wahrscheinlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig unwahrscheinlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

3. Macht Sie der Gedanke an die Ausübung ihres Sports nervös?

Sehr nervös	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gar nicht nervös
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

4. Sind Sie zuversichtlich, dass Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports nicht nachgeben wird?

Überhaupt nicht zuversichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig zuversichtlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

5. Sind Sie zuversichtlich, dass Sie ihren Sport ausüben können, ohne Bedenken wegen Ihres Knies zu haben?

Überhaupt nicht zuversichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig zuversichtlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

6. Finden Sie es frustrierend, dass Sie in Bezug auf Ihren Sport Ihr Knie berücksichtigen müssen?

Sehr frustrierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht frustrierend
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

7. Befürchten Sie, dass Sie Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports wieder verletzen könnten?

Habe große Sorge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Habe überhaupt keine Sorge
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

8. Sind Sie zuversichtlich, dass Ihr Knie unter Belastung standhält?

Überhaupt nicht zuversichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig zuversichtlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

9. Haben Sie Angst, dass Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports versehentlich wieder verletzt werden könnten?

Habe große Angst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Habe überhaupt keine Angst
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

10. Hält Sie der Gedanke daran, nochmals operiert und nachbehandelt werden zu müssen davon ab, Ihren Sport auszuüben?

die ganze Zeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zu keinem Zeitpunkt
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

11. Sind Sie zuversichtlich, Ihren Sport gut ausüben zu können?

Überhaupt nicht zuversichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig zuversichtlich
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

12. Sind Sie gelassen, wenn es um die Ausübung Ihres Sports geht?

Gar nicht gelassen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Völlig gelassen
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

14.3. KOOS-Score

KOOS

Beantworten Sie bitte jede Frage durch Ankreuzen des zugehörigen Kästchens. Bitte **nur ein Kästchen pro Frage** ankreuzen. Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Symptome

Diese Fragen beziehen sich auf **Kniegelenksbeschwerden in der vergangenen Woche**.

S1. Haben Sie Schwellungen an Ihrem Knie?

niemals selten manchmal oft immer

S2. Fühlen Sie manchmal ein Mahlen, hören Sie manchmal ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihr Knie bewegen?

niemals selten manchmal oft immer

S3. Bleibt Ihr Knie manchmal hängen, oder blockiert es, wenn Sie es bewegen?

niemals selten manchmal oft immer

S4. Können Sie Ihr Knie ganz ausstrecken?

immer oft manchmal selten nie

S5. Können Sie Ihr Knie ganz beugen?

immer oft manchmal selten nie

Steifigkeit

Die nachfolgenden Fragen betreffen die Steifigkeit Ihres Kniegelenkes während der letzten Woche. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit Ihr Kniegelenk zu bewegen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

S6. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

S7. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit nach dem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten im Verlauf des Tages?

keine schwach mäßig stark sehr stark

Schmerzen

P1. Wie oft tut Ihnen Ihr Knie weh?

niemals wöchentlich täglich immer

Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der vergangenen Woche als Sie z.B.:

P2. sich im Knie drehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P3. Ihr Knie ganz ausstrecken?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P4. Ihr Knie ganz beugen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P5. auf ebenem Boden gehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P6. Treppen herauf oder heruntergehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P7. nachts im Bett liegen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P8. saßen oder lagen, z.B. auf der Couch?

keine schwach mäßig stark sehr stark

P9. aufrecht stehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

Aktivitäten des täglichen Lebens

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Leistungsfähigkeit. Hierunter verstehen wir Ihre Fähigkeit sich selbständig zu bewegen bzw. sich selbst zu versorgen. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

Welche Schwierigkeiten hatten Sie letzte Woche als Sie z.B.:

A1. Treppen herunterstiegen?

keine wenig einige große sehr große

A2. Treppen heraufstiegen?

keine wenig einige große sehr große

A3. vom Sitzen aufstanden?

keine wenig einige große sehr große

Welche Schwierigkeiten hatten Sie letzte Woche als Sie z.B.:

A4. standen?

keine wenig einige große sehr große

A5. sich bückten um z.B. etwas vom Boden aufzuheben?

keine wenig einige große sehr große

A6. auf ebenen Boden gingen?

keine wenig einige große sehr große

A7. ins Auto ein- oder ausstiegen?

keine wenig einige große sehr große

A8. einkaufen gingen?

keine wenig einige große sehr große

A9. Strümpfe/Socken anzogen?

keine wenig einige große sehr große

A10. vom Bett aufstanden?

keine wenig einige große sehr große

A11. Strümpfe/Socken auszogen?

keine wenig einige große sehr große

A12. im Bett lagen und sich drehten, ohne das Knie dabei zu beugen?

keine wenig einige große sehr große

A13. in oder aus der Badewanne kamen?

keine wenig einige große sehr große

A14. saßen?

keine wenig einige große sehr große

A15. sich auf die Toilette setzten oder aufstanden?

keine wenig einige große sehr große

A16. schwere Hausarbeit verrichteten (schrubben, Garten umgraben, ...)?

keine wenig einige große sehr große

A17. leichte Hausarbeit verrichteten (Staub wischen, kochen, ...)?

keine wenig einige große sehr große

Sport und Freizeit

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen eher sportlicher Aktivitäten. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

Hatten Sie Schwierigkeiten letzte Woche als Sie z.B.:

SP1. in die Hocke gingen?

keine wenig einige große sehr große

SP2. rannten?

keine wenig einige große sehr große

SP3. hüpfen?

keine wenig einige große sehr große

SP4. sich auf Ihrem kranken Knie umdrehen?

keine wenig einige große sehr große

SP5. sich hinknieten?

keine wenig einige große sehr große

Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie

Q1. Wie oft spüren Sie Ihr erkranktes Knie?

nie monatlich wöchentlich täglich immer

Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert, um eventuell Ihrem Knie schadende Tätigkeiten zu vermeiden? nicht wenig etwas stark vollständig

Q3. Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, dass Ihr Knie nicht stabil ist?

gar nicht wenig einiges schlimm sehr schlimm

Q4. Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten, die Sie durch das Knie haben?

keine wenig etwas große sehr große

14.4. Tegner-Score

Tegner Aktivitäts-Fragebogen

Kreuzen Sie bitte an, welches die anspruchsvollste Tätigkeit ist, die Sie ohne Einschränkungen **derzeit** ausführen können:

10	Nationale oder internationale Turniere	Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt (z.B. Handball, Basketball)
9	Nationale oder internationale Turniere	Abfahrtslauf, Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt (z.B. Squash, Badminton)
	Regionale Turniere	Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt
8	Turniersport	Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt, Eishockey, Abfahrtslauf
7	Turniersport Freizeitsport	Tennis, Turnen, Ringen, Leichtathletik
		Fußball, Hallen- Ballsport, Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf
6	Freizeitsport	Tennis, Leichtathletik, Turnen
		Joggen mindestens 5x/Woche
5	Arbeit	schwere körperliche Arbeit (z.B. Bauarbeit, Waldarbeit)
	Turniersport Freizeitsport	Radfahren, Langlauf, Rudern Jogging auf unebenem Boden mind. 2x/Woche
4	Arbeit Freizeitsport	mittelschwere körperliche Arbeit (z.B. Lastwagenfahren, Bodenreinigung)
		Radfahren, Langlauf, Jogging auf ebenem Boden einmal wöchentlich
3	Arbeit	leichte körperliche Arbeit (z.B. Krankenschwester)
	Turnier- und Freizeitsport	Schwimmen, Waldspaziergänge
2	Arbeit	leichte körperliche Arbeit
		Gehen auf unebenem Boden
1	Arbeit	sitzende Tätigkeit Gehen auf ebenem Boden
0	wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet	

Tegner Aktivitäts-Fragebogen

Kreuzen Sie bitte an, welches die anspruchsvollste Tätigkeit ist, die Sie ohne Einschränkungen **vor dem ersten Kreuzbandriss** ausführen konnten:

10	Nationale oder internationale Turniere	Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt (z.B. Handball, Basketball)
9	Nationale oder internationale Turniere Regionale Turniere	Abfahrtslauf, Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt (z.B. Squash, Badminton) Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt
8	Turniersport	Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt, Eishockey, Abfahrtslauf
7	Turniersport Freizeitsport	Tennis, Turnen, Ringen, Leichtathletik Fußball, Hallen- Ballsport, Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf
6	Freizeitsport	Tennis, Leichtathletik, Turnen Joggen mindestens 5x/Woche
5	Arbeit Turniersport Freizeitsport	schwere körperliche Arbeit (z.B. Bauarbeit, Waldarbeit) Radfahren, Langlauf, Rudern Jogging auf unebenem Boden mind. 2x/Woche
4	Arbeit Freizeitsport	mittelschwere körperliche Arbeit (z.B. Lastwagenfahren, Bodenreinigung) Radfahren, Langlauf, Jogging auf ebenem Boden einmal wöchentlich
3	Arbeit Turnier- und Freizeitsport	leichte körperliche Arbeit (z.B. Krankenschwester) Schwimmen, Waldspaziergänge
2	Arbeit	leichte körperliche Arbeit Gehen auf unebenem Boden
1	Arbeit	sitzende Tätigkeit Gehen auf ebenem Boden
0	wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet	

14.5. IKDC-Score

IKDC

Wählen Sie die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben. Jeweils **EIN** Kreuz pro Frage!

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

2. Wie OFT hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?

Kreisen Sie eine Zahl in der nachstehenden Skala ein! Die Skala beginnt mit 0 (nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (ständig Schmerzen).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nie Schmerzen										ständig
Schmerzen										

3. Wie STARK sind Ihre Schmerzen?

Kreisen Sie eine Zahl in der nachstehenden Skala ein! Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht mit zunehmender Stärke der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Keine Schmerzen										unerträgliche Schmerzen

4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung?

- überhaupt nicht
- etwas
- ziemlich
- sehr
- extrem

5. Was ist das höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund eines geschwollenen Knies keine der genannten Aktivitäten ausführen

6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung ein gesperrtes Knie oder ist Ihr Knie aus- und wieder eingeschnappt?

Ja Nein

7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund der Knieschwäche keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

14.6. Lysholm-Score

Lysholm Score

Hinken

<input type="checkbox"/> Nein	5
<input type="checkbox"/> Wenig oder zeitweise	3
<input type="checkbox"/> Stark oder immer	0

Belastung

<input type="checkbox"/> Vollbelastung	5
<input type="checkbox"/> Gehstützen oder Stock	2
<input type="checkbox"/> Belastung nicht möglich	0

Blockierung

<input type="checkbox"/> Keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung	15
<input type="checkbox"/> Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung	10
<input type="checkbox"/> Gelegentliche Blockierung	6
<input type="checkbox"/> Häufige Blockierung	2
<input type="checkbox"/> Blockiertes Gelenk bei Untersuchung	0

Instabilität

<input type="checkbox"/> Niemals „giving way“ Phänomen	25
<input type="checkbox"/> „giving way“ selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung	20
<input type="checkbox"/> „giving way“ häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich daran teilzunehmen)	15
<input type="checkbox"/> „giving way“ gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10
<input type="checkbox"/> „giving way“ oft während Tätigkeiten des Alltags	5
<input type="checkbox"/> „giving way“ bei jedem Schritt	0

Schmerzen

<input type="checkbox"/> keine	25
<input type="checkbox"/> unregelmäßig und gering während schwerer Anstrengung	20
<input type="checkbox"/> deutlich/ ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15
<input type="checkbox"/> deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2km	10
<input type="checkbox"/> deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2km	5
<input type="checkbox"/> ständig	0

Schwellung

<input type="checkbox"/> keine	10
<input type="checkbox"/> bei schwerer Anstrengung	6
<input type="checkbox"/> bei gewöhnlicher Anstrengung	2
<input type="checkbox"/> ständig	0

Treppensteigen

<input type="checkbox"/> kein Problem	10
<input type="checkbox"/> ein wenig beeinträchtigt	6
<input type="checkbox"/> Schritt für Schritt	2
<input type="checkbox"/> Nicht möglich	0

Hocken

<input type="checkbox"/> Kein Problem	5
<input type="checkbox"/> Wenig beeinträchtigt	4
<input type="checkbox"/> Nicht über 90°	2
<input type="checkbox"/> Nicht möglich	0

GESAMTPUNKTZAHL	
------------------------	--