

# **Diplomarbeit**

**ACL-Repair**

**State of the Art**

**Literaturreview**

eingereicht von

**Hasan Hadzalic**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie / LKH-Univ. Klinikum**

**Graz**

unter der Anleitung von

**Univ.-Ass. Priv.-Doz. Dr.med. univ Paul Puchwein**

**Univ.-Ass. Dr.<sup>in</sup> med.univ.et scient.med. Renate Krassnig**

Graz, Jänner 2018

### *Eidesstattliche Erklärung*

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

*Graz, am 04.01.2018*

*Hasan Hadzalic eh.*

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Zusammenfassung.....	VI
Abstract.....	VIII
1. Einleitung.....	1
1.1 Das Kniegelenk (Articulatio genus) .....	3
1.1.1. Anatomischer Aufbau des Kniegelenks (Articulatio Genus).....	4
1.1.1.1. Mechanik des Kniegelenks .....	4
1.1.1.2. Gelenkkörper .....	5
1.1.1.3. Gelenkkapsel und Gelenkhöhle .....	7
1.1.1.4. Die Menisken.....	8
1.1.1.5. Bänder des Kniegelenks.....	10
1.1.1.6. Gefäßversorgung.....	13
1.1.1.7. Innervation.....	16
1.2. Die vordere Kreuzbandruptur .....	17
1.2.1. Definition und Formen.....	17
1.2.2. Ätiopathogenese und Epidemiologie.....	19
1.2.3. Klinik .....	22
1.2.4. Diagnostik .....	25
1.2.4.1. klinische Diagnostik .....	26
1.2.4.2. bildgebende Diagnostik .....	30
2. Therapieoptionen .....	33
2.1.    Konservative Therapie .....	35
2.1.1. Therapiekonzept .....	36
2.1.1.1. Verlauf und Komplikationen.....	37
2.1.1.2 Outcome nach konservativer Therapie .....	38
2.1.2. Khalifa Methode .....	40
2.1.2.1. Ergebnisse.....	40
2.2. Operative Therapie .....	42
2.2.1. Zeitpunkt des Eingriffes .....	43
2.2.2. Graftauswahl.....	45
2.2.2.1. Rekonstruktionsverfahren .....	45
2.2.2.2. Autograft vs. Allograft .....	52

2.2.3. Single-bundle vs. Double-bundle .....	54
2.2.3.1. Ergebnisse.....	55
2.3. Operative Verfahren mit Erhaltung des VKB .....	57
2.3.1. Dynamisch intraligamentäre Stabilisation (DIS) .....	60
2.3.1.1. Ergebnisse.....	62
2.3.2. Internal brace ligament augmentation (IBLA).....	63
2.3.2.1. Ergebnisse.....	64
3. Kostenvergleich.....	65
4. Diskussion .....	67
4.1. Schlussfolgerung.....	70
Literaturverzeichnis .....	

## **Glossar und Abkürzungen**

VKB	Vorderes Kreuzband
HKB	Hinteres Kreuzband
AMA	American Medical Association
NNKLR	Norwegian National Knee Ligament Registry
a.-p	anterior-posterior
BMI	Body Mass Index
BPTP	Bone patella tendon bone
AM	anteromedial
PL	posterolateral
DB	Doppelbündeltechnik
SB	Einzelbündeltechnik
IKDC	International Knee Documentation Committee
BEAR	Bridge-enhanced ACL repair
DIS	Dynamisch intraligamentäre Stabilisation
VAS	visuelle Analogskala
IBLA	Internal brace ligament augmentation
QALY	Quality-adjusted life year

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gelenkflächen des Knie (1)

Abbildung 2: Menisci des Kniegelenks (1)

Abbildung 3: rechtes Knie von ventral und dorsal (6)

Abbildung 4: Arterielle Anastomosen (1)

Abbildung 5: Teilruptur, Komplettruptur und Avulsionsfraktur des VKB (15)

Abbildung 6: Aufteilung von Patientinnen/ Patienten nach Alter und Geschlecht nach  
NNKLR (26)

Abbildung 7: Entscheidungsbaum der Diagnostik einer möglichen VKB-Ruptur (21)

Abbildung 8: Prüfung der vorderen Schublade bei fixiertem Fuß (39)

Abbildung 9: Lachman-Noulis Test (22)

Abbildung 10: Vergleich normales (links) mit komplett rupturiertem vorderen  
Kreuzband (rechts) in T2- Gewichtung (46)

Abbildung 11: Therapieoptionen bei VKB (47)

Abbildung 12: Entnahmestelle für zentrales BPTP-Graft und Platzierung von  
Interferenzschraube im femoralen Tunnel (25) (46)

Abbildung 13: Hintere Inzision und Entnahmestelle der Hamstring-Sehnen (46)

Abbildung 14: Tibiale Verankerung einer Quadricepssehne mittels Pull-Press  
Fixierung und Interferenzschraube (35) (46)

Abbildung 15: Single-bundle- und Double-bundle-Technik (105)

Abbildung 16: DIS-Verfahren mit Monoblock und Augmentationsfaden (132)

Abbildung 17: Internal Brace-Technik (139)

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Gradeinteilung für die Beurteilung von Knieinstabilitäten nach AMA

Tabelle 2: VKB-Ruptur von weiblichen Athletinnen und männlichen Athleten in Japan bei unterschiedlichen Sportarten

Tabelle 3: Anamnestiche Angaben von Patientinnen/Patienten mit VKB-Rupturen

Tabelle 4: Differentialdiagnosen des Hämarthros im des Kniegelenks

Tabelle 5: Indikationswert zur konservativen und operativen Versorgung

Tabelle 6: Regenerationszeit der Strukturen des Kniegelenks

Tabelle 7: Ergebnisse nach DIS-Verfahren

# Zusammenfassung

## Hintergrund:

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes zählt zu den häufigsten Sportverletzungen und ist in jeder Form konservativ oder operativ therapiebedürftig um ein ausreichend stabiles und beschwerdefreies Kniegelenk zu gewährleisten. Durch eine wachsende Gesellschaft in der in fast alle Altersschichten immer mehr sportlich aktiv sind, stellt eine adäquate Therapie einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes einen ausschlaggebenden Faktor dar. Im Vordergrund stehen eine effiziente und zielgerichtete Therapie, welche auf jede Patientin/jeden Patienten je nach deren/dessen Anforderungen und Aktivitätsniveau individuell angepasst wird. Dabei spielen das Ergebnis, die Dauer der Therapie und der postoperativen Rehabilitation, eventuelle Neben- oder Langzeitwirkungen, Erwartungen und die Compliance der Patientin/des Patienten eine wichtige Rolle. Ziel dieser Arbeit ist es, durch Auswertung aktueller Studien und Ergebnisse alte und bewährte Methoden den neuen Therapieformen gegenüber zu stellen und zu vergleichen, einen Überblick zu geben und -wenn möglich-, eine Empfehlung auszusprechen.

## Methode:

In dieser Literaturrecherche wurde zunächst Literatur im Zeitraum der letzten 30 Jahre gesichtet und nach deren Aussagekraft und Relevanz beurteilt. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf aktuelle Studien und Publikationen bis zum September 2017 gelegt. Aufgrund der hohen Anzahl an infrage kommenden Ergebnissen, wurden die aktuelle Literatur der letzten drei Jahre mit relevanten Publikationen ergänzt.

## Ergebnisse:

Die Ergebnisse beziehen sich vor allem auf das Alter sowie die sportliche und tägliche Aktivität der Patientin/des Patienten. Je nach Zielgruppe können in Bezug auf Komplikationsraten, Belastbarkeit und Mobilität nach der Therapie, sowie Dauer und Erwartungen der Therapie verschiedene Schlüsse gezogen werden.

Bei Kindern und sportlich aktiven Personen wies das funktionelle Outcome nach einer operativen Therapie deutlich bessere Resultate auf als im Vergleich zur konservativen Therapie. Je nach operativen Verfahren konnten Vor- und Nachteile aufgezeigt werden. Langzeitergebnisse zeigten vergleichbare Resultate zwischen den verschiedenen rekonstruktiven-operativen Verfahren, wobei diese je nach Patientin/Patient und Komorbidität angewandt werden. Operative Verfahren mit Erhaltung des vorderen Kreuzbandes überzeugen durch gute postoperative Resultate und eine kürzere Therapiedauer, welche durch einen früheren Operationszeitpunkt möglich ist. Langzeitergebnisse zu diesen Verfahren fehlen aber noch. Die konservative Methode ist für ältere und inaktivere Gruppen ein entsprechendes Therapiekonzept und zumeist ausreichend um die Erfordernisse und Erwartungen der Patientinnen/Patienten und der Therapeutinnen/Therapeuten zu treffen. Bei einer verzögerten operativen Therapie konnte zum Teil sogar eine alleinige primär durchgeführte konservative Therapie ein genügend gutes Ergebnis liefern, sodass der operative Eingriff entfiel. Langzeitfolgen wie Instabilitäten oder Insuffizienzen im Kniegelenk oder sekundäre Arthrose werden dabei beachtet.

# Abstract

## Background:

The rupture of the anterior cruciate ligament is one of the most common sports injuries and requires a conservative or surgical treatment in any type, to have a sufficiently stable and pain-free knee joint. Due to a growing society, in which almost all age groups are more and more active in sports, an adequate therapy of rupture of the anterior cruciate ligament shows a decisive factor. The main focus is an efficient and purposeful therapy which should be adapted to each patient according to their requirements and level of their activity. In addition to the result, an essential role plays the duration of the therapy and the postoperative rehabilitation, possible side effects or long-term effects, expectations and the patient's compliance. The aim of this work is to confront and compare old and proven methods with the new forms of therapy by evaluating current studies and results, to give an overview and - if possible – to pronounce a recommendation.

## Method:

In this literature search was first sighted the literature over the last 30 years and evaluated according to their significance and relevance. The main focus was placed on recent studies and publications until September 2017. Due to the high number of eligible results, the current literature of the last three years was supplemented with relevant publications.

## Results:

The results relate primarily to the age and the sporting- and daily activity of the patient. Depending on the target group, different conclusions can be drawn with regard to the complication rates, resilience and post-therapy mobility, as well as the duration and expectations of the therapy. With children and physically active people, the functional outcome after operative therapy, showed significantly better results compared to conservative therapy.

Depending on the operative procedure advantages and disadvantages could be recorded. Long-term results showed comparable results between the different reconstructive-surgical procedures and these are applied according to patient and comorbidity. Surgical procedures with preservation of the anterior cruciate ligament are convincing by good postoperative results and a shorter therapy duration which is possible by a previous operation time. These prove to be quite competitive at the present time. However, long time results to these procedures are still missing. The conservative method is an appropriate therapy for the elderly and inactive groups of patients and is usually sufficient to meet most of the requirements and expectations of the patient and the therapist. In the case of a delayed surgical therapy, even a single primary conservative therapy was able to deliver a sufficiently good result, so that the surgical intervention was eliminated. However, long-term consequences such as instability or insufficiency in the knee joint or secondary osteoarthritis should be considered.



# 1. Einleitung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (Ligamentum cruciatum anterius bzw. ACL) ist meist eine Sportverletzung welche besonders bei Kontaktsportarten wie Fußball oder Handball und „Stop-and-Go“-Sportarten wie Tennis, bei welchen plötzliche Bewegungswechsel stattfinden, auftritt.

Typische Verletzungsabläufe sind eine Rotationsbewegungsstellung des Unterschenkels nach außen mit einem Valgusbeugungsstress oder eine Rotationsbewegungsstellung des Unterschenkels nach innen mit einem Varusbeugungsstress. Eine Überstreckung des Kniegelenks, plötzliches Abbremsen im vollen Lauf oder plötzliche Richtungswechsel sind weitere Risikofaktoren.

Ein Riss des vorderen Kreuzbandes kann auch durch eine Luxation der Kniescheibe (Patella), mit daraus resultierendem Stabilitätsverlust des Kniegelenks bedingt sein.

Unter den Bandverletzungen des Knies zählt das vordere Kreuzband zu den häufigsten. Im Vergleich zum hinteren Kreuzband (Ligamentum cruciatum posterius bzw. PCL) reißt das vordere Kreuzband viel häufiger, da es bei typischen Unfällen stärker belastet wird. Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes ist in allen Altersklassen vorzufinden, Frauen sind deutlich häufiger davon betroffen.

Vor allem in den letzten Jahrzehnten wurde die Häufigkeit von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bei Jugendlichen häufiger, da immer mehr Menschen sich in Sportarten, welche das Kreuzband besonders gefährden, aktivieren.

Durch eine Ruptur kommt es zu einer dauerhaften Instabilität und Mehrbeweglichkeit des betroffenen Gelenks, dadurch auch zu einer dauerhaften Mehrbelastung und nachhaltigem Schaden. Eine Spontanheilung durch Verwachsung und Vernarbung ist bei einer Ruptur nicht zu erwarten. Dabei wird nach Betracht der Faktoren und Bedürfnisse der Patientin/des Patienten zwischen einer konservativen und einer chirurgischen Therapie gewählt.

Beide Behandlungsansätze werden kontrovers diskutiert, da mit beiden Verfahren sowohl Vor-, als auch Nachteile verbunden sind.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch Recherche von aktueller Literatur sowie Studien und Publikationen, Behandlungsvorgänge und Ergebnisse zu vergleichen und bei Möglichkeit eine Empfehlung auszusprechen.

## 1.1 Das Kniegelenk (Articulatio genus)

Das Kniegelenk (Articulatio genus), welches als größtes Synovialgelenk des menschlichen Körpers gilt, besteht aus zwei Gelenken.

Das Femorotibialgelenk (Articulatio femorotibialis) wird zwischen Femur und Tibia gebildet und überträgt das Gewicht des Körpers (1). In diesem Gelenk artikulieren die beiden Condyli Femoris mit der Facies articularis superior der Tibia und gleiten auf dieser, wobei die Krümmung der bikonvexen Femurkondylen von vorne nach hinten abnimmt. Die Inkongruenz der beteiligten Gelenkpartner wird durch jeweils zwei eingelagerte Menisci ausgeglichen, wobei sich die Dicke dieser je nach Druckbelastung anpasst. Die Gelenksflächen des Tibiakopfes sind in einem Winkel von 3-7° nach hinten geneigt (2). Es wird dabei in ein mediales und laterales Kompartiment unterteilt (3).

Das Femoropatellargelenk (Articulatio femoropatellaris) wird zwischen Femur und Patella gebildet. Es ist wichtig für die Übertragung der Sehne des Musculus quadriceps femoris über das Knie von dem Oberschenkel auf den Unterschenkel (1).

Das Knie ist ein Drehscharniergelenk (Trochoginglymus), welches eine Flexion, eine Extension sowie eine Rotation um die Längsachse zulässt. Bei einer Flexionsbewegung gleitet die Patella im Femoropatellargelenk nach kaudal, bei einer Extensionsbewegung nach kranial (3).

Die Gelenkskapsel ist an der vorderen Seite und seitlich dünn, wird aber durch die Bänder verstärkt. In den vorderen Teil der Kapsel des Knies ist die Patella eingelassen (4).

## **1.1.1. Anatomischer Aufbau des Kniegelenks (Articulatio Genus)**

### 1.1.1.1. Mechanik des Kniegelenks

Das gestreckte Knie sichert den Stand und sorgt dadurch für eine stabile Lage, welche hauptsächlich durch Muskeln und Bänder gewährleistet wird.

Die maximale Extension kann beim Erwachsenen bis zu einem Winkel von  $150^\circ$  erfolgen, beim Neugeborenen ist dies noch nicht möglich. Die aktive Flexion kann bis zu einem Winkel von  $120^\circ$  erfolgen, passiv sind bis zu  $160^\circ$  möglich.

Bei Stellung des Kniegelenks im rechten Winkel ist eine Außenrotation von  $40^\circ$  und eine Innenrotation von etwa  $10^\circ$  möglich (2).

Die beiden Menisci, welche nur im Bereich der Meniskushörner fixiert sind, verschieben sich bei Bewegung im Gelenk, wobei der mediale Meniskus an einer Stelle mit dem Lig. collaterale mediale verwachsen ist. Dieser ist dadurch nicht so beweglich wie der laterale Meniskus (1).

Die zwei kräftigen Kreuzbänder verbinden Femur und Tibia und stabilisieren das Knie in dessen Bewegungen. Im flektierten Kniegelenk ist eine Rotation möglich, wobei sich die Flexionsbewegung aus einer Abroll- und Gleitbewegung zusammensetzt (1). Bei Streckung des Knies kommt es zu einer Spannung der Kreuzbänder, welche zu einer Außenrotation (sog. Schlussrotation) um  $5-10^\circ$  führen. Durch die Spannung der Kollateralbänder (Ligg. Collateralia) ist im gestreckten Knie keine Rotation möglich (3).

Die Schlussrotation kommt vor allem durch die Spannung des Lig. cruciatum anterior, durch die Form des Condylus medialis femoris, aber auch durch den Tractus iliotibialis zustande (4).

Bei Flexion des Kniegelenks gleiten die Menisci nach hinten, bei Extension nach vorne. Bei Innenrotation im Gelenk bewegt sich der mediale Meniskus nach vorne und der laterale nach hinten, bei einer Außenrotation bewegt sich der mediale Meniskus nach hinten und der laterale nach vorne (1).

Bei der Innenrotation verdrehen sich die Kreuzbänder ineinander und sind gespannt, bei einer Außenrotation wickeln sich diese auseinander und entspannen sich.

Die Kollateralbänder verhalten sich in diesem Fall genau umgekehrt, spannen sich bei einer Außenrotation und entspannen sich bei Innenrotation des Kniegelenks (2).

#### 1.1.1.2. Gelenkkörper

Die beiden Femurkondylen gleiten auf der Facies articularis superior der Tibia (2). Am distalen Ende des Femurs krümmen sich die beiden Femurkondylen spiralig. Bei gebeugtem Kniegelenk ist die Artikulationsfläche zwischen Femur- und Tibiakondylen geringer als bei einem gestreckten Kniegelenk. Die Kongruenz der beiden beteiligten Gelenkkörper ist dadurch vermindert (3).

Eine stärkere Krümmung hat der Femurkondyl hinten, der Krümmungsradius ist kleiner. Die geringere Krümmung liegt vorne, der Krümmungsradius ist größer (5).

Die Oberfläche der beiden Femurkondylen, welche bei Flexion mit der Tibia artikulieren, ist abgerundet. Die Oberfläche der Tibia, welche bei voller Extension artikuliert, ist flach (1).

Der Tibiakopf trägt die beiden Condylus medialis und lateralis, welche die artikulierende Gelenkfläche der Tibia bilden. Die beiden Kondylen werden durch die Eminentia intercondylaris abgetrennt. Die Gelenkflächen haben dabei eine ovale Form. Der Tibiakopf weist beim Erwachsenen eine Retroversio tibiae auf, eine Neigung nach rückwärts um 3-7°. Beim Neugeborenen beträgt dieser Winkel etwa 30° (5).

Die Patella ist als ein Sesambein in die Sehne des M. quadriceps femoris gelagert und artikuliert auf der überknorpelten Facies patellaris, welche sich an der vorderen Seite der beiden Femurkondylen befindet. Die Patella selbst artikuliert durch zwei überknorpelte Facetten, welche einen Patellaöffnungswinkel von durchschnittlich 130° bilden (3).

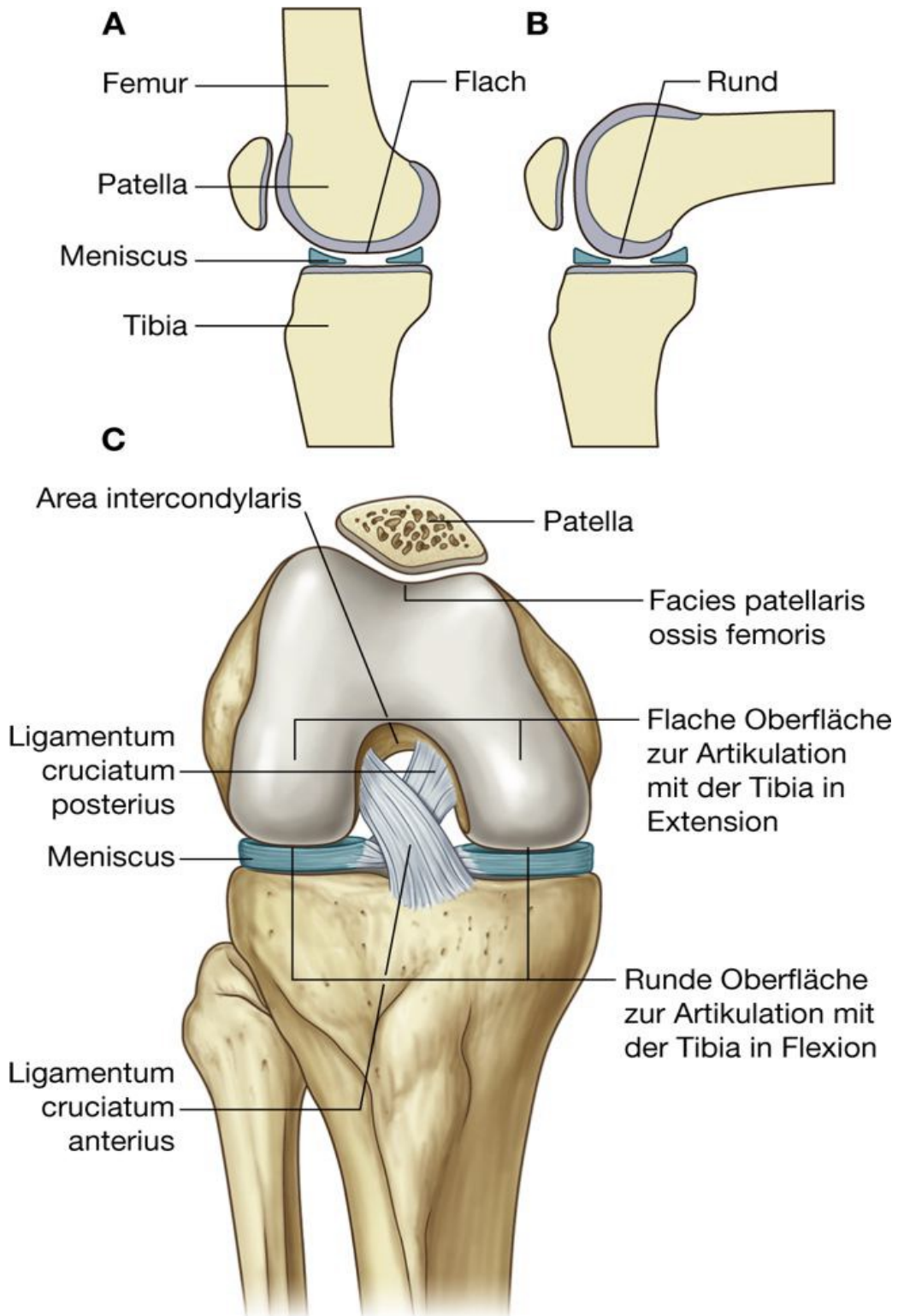


Abbildung 1: Gelenkflächen des Knie (1)

### 1.1.1.3. Gelenkkapsel und Gelenkhöhle

Die Capsula articularis, welche sich aus einer Membrana synovialis und einer Membrana fibrosa zusammensetzt, wird durch Fetteinlagerungen an der Vorder- und der Hinterfläche voneinander getrennt (4).

Die Membrana synovialis verläuft an den Rändern der Gelenkflächen und folgt diesen. Sie setzt an den Ober- und Unterrändern der Menisken an. Die beiden Kreuzbänder, die sich zwischen Area intercondylaris der Tibia und Fossa intercondylaris des Femurs befinden, sind nicht von der Membrana synovialis umfasst und liegen außerhalb der Gelenkhöhle, aber innerhalb der Membrana fibrosa (1).

Zwischen den beiden Blättern liegt das Corpus adiposum infrapatellare (Hoffa-Fettkörper). Dieser liegt somit direkt unter dem Ligamentum und Retinacula patellae. Die Gelenkkapsel ist durchgehend mit der Außenfläche des medialen und lateralen Meniskus verwachsen.

In den vorderen Teil der Gelenkkapsel ist die Kniescheibe eingelassen. Oberhalb der Kniescheibe wird der Recessus suprapatellaris durch die Kapsel gebildet. In diesem befindet sich ein Schleimbeutel (Bursa suprapatellaris), welcher zwischen Femur und Sehne des M. quadriceps femoris eingelagert ist und mit der Gelenkhöhle kommuniziert (5).

Bei Traumen kann es zu Flüssigkeitsansammlung im Kniegelenk kommen. Durch das Ausstreichen des Recessus suprapatellaris von kranial nach kaudal wird die Patella durch den Druck des Ergusses nach oben gedrückt und wird beweglich. Dieses Zeichen wird auch „tanzende Patella“ genannt und ist wichtig für die Differenzialdiagnose von Knieschwellungen.

Die Plica synovialis infrapatellaris ist ein von der Membrana synovialis überzogener Strang, welcher frei vom vorderen Kreuzband zum infrapatellären Fettkörper zieht.

Während die Membrana fibrosa fest mit der Patella verwachsen ist, ist die Synovialmembran in diesem Teil unterbrochen (3).

#### 1.1.1.4. Die Menisken

Die Menisci sind C- bzw. halbmondförmig gebogene eingelagerte Scheiben aus Faserknorpel. Im Querschnitt sind sie keilförmig, wobei die breite Seite außen ist und schmal zulaufende Seite innen ist. Jeweils ein Vorder- und ein Hinterhorn bilden die freien Enden des Meniskus, wobei diese durch kurze, kräftige Faserzüge in der Area intercondylaris der Tibia verwachsen sind. Die Menisken gleiten auf dem Tibiakopf und sind zwischen femoralen und tibialen Gelenkflächen eingelassen (2).

Der äußere Meniskus (Meniscus lateralis) ist in seiner Form ein nahezu geschlossener Ring, der innere Meniskus (Meniscus medialis) ist sichelförmig angelegt.

Der innere Meniskus ist im Gegensatz zum äußeren Meniskus weniger beweglich. Das liegt daran, dass dessen Verankerungen im Knochen (Cornu anterior und posterior) weiter voneinander entfernt liegen und dieser mit dem hinteren Anteil des medialen Kollateralbandes (Lig. collaterale tibiale) verbunden ist (6).

Der laterale Meniskus ist hingegen nicht mit dem lateralen Kollateralband (Lig. collaterale fibulare) verbunden, da dieses außerhalb der Gelenkkapsel verläuft. Von diesem ziehen von vorne und hinten starke Faserzüge zum vorderen bzw. hinteren Kreuzband und bilden das Lig. meniscomemorale anterius und posterius.

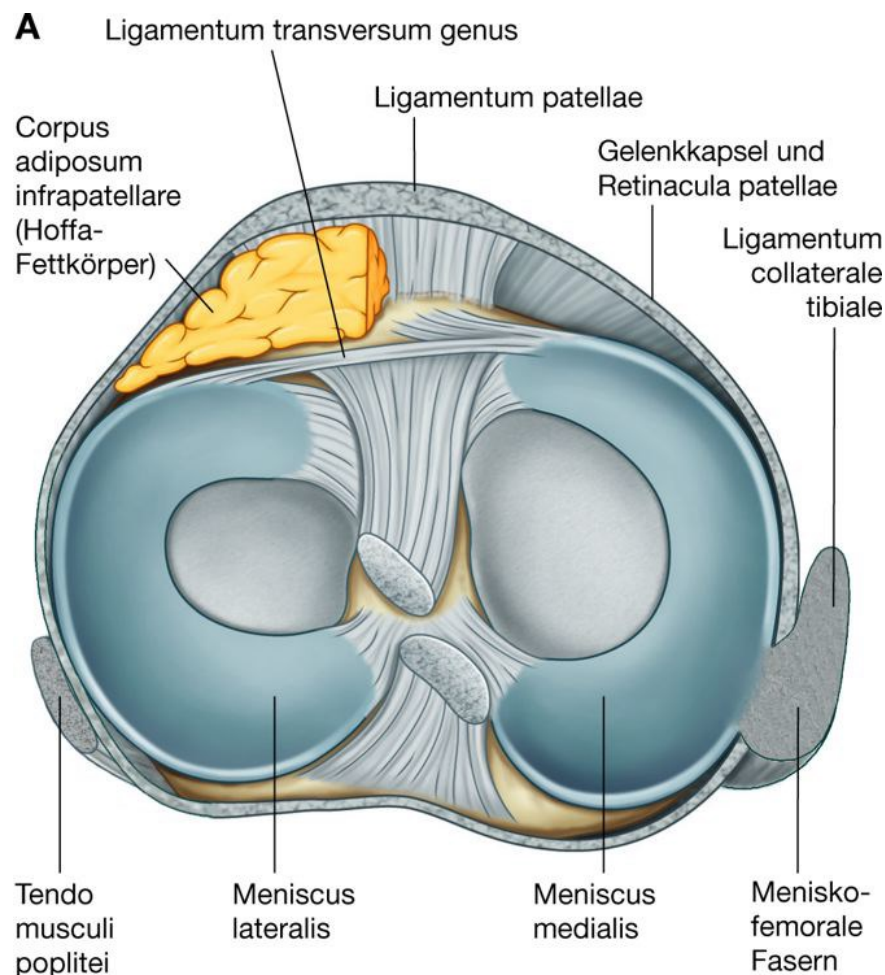
Die beiden Menisken sind vorne durch das Lig. transversum genus miteinander verbunden (5).

Das Vorderhorn des medialen Meniskus ist viel dünner als das Hinterhorn, welches breit auseinanderläuft. Bei Außenrotation des Unterschenkels wird dieser am stärksten belastet und verlagert, bei Innenrotation wird er entlastet.

Der laterale Meniskus ist überall nahezu gleich breit und bei verschiedenen Bewegungen geringer belastet (4).

Bei der Flexion des Kniegelenks werden beide Menisci nach hinten über die Kanten der Tibiakondylen gedrängt; durch Verdrehung der hinteren und proximalen Fasern des Lig. collaterale mediale wird der mediale Meniskus stabilisiert (7).

Bei der Extension gleiten die Menisken auf dem Tibiaplateau nach vorn. Bei Innenrotation gleitet der mediale Meniskus nach vorn und der laterale nach hinten, bei einer Außenrotation gleitet der mediale Meniskus nach hinten und der laterale nach vorn. Meniskusverletzungen treten typischerweise bei Sportarten, bei denen das ausgestreckte Bein abgebremst und der Körper über dieses gedreht wird. Dadurch kommt es im Kniegelenk zu einer starken und plötzlichen Außenrotation. Da der mediale Meniskus nicht so beweglich ist, kann dieser dabei leicht lädiert oder eingeklemmt werden. Oft tritt bei diesem Vorgang ein typischer Längsriss im faserigen Knorpel des Meniskus auf, ein sog. Korbhenkelriss (1).



**Abbildung 2: Menisci des Kniegelenks (1)**

### 1.1.1.5. Bänder des Kniegelenks

#### Ventrale Bänder

Als Verstärkung der Gelenkkapsel sind im ventralen Anteil dieser die Sehne des M. quadriceps femoris, welche sich proximal der Patella befindet und in diese hineinläuft, die Patella und das Ligamentum patellae, welches den distalen Anteil der Quadrizepssehne darstellt, integriert (3). Das Lig. patellae verläuft dabei von der Spitze der Patella zur Tuberositas tibiae (2).

Das Retinaculum patellae laterale wird aus den Fasern des M. vastus lateralis und aus einigen Fasern des M. rectus femoris gebildet. Dazu strahlen auch Fasern aus dem Tractus iliotibialis in dieses ein. Es setzt lateral der Tuberositas tibiae am Schienbein an.

Das Retinaculum patellae mediale wird hauptsächlich aus Fasern des M. vastus medialis gebildet, verläuft medial des Lig. patellae und setzt vor dem Lig. collaterale tibiale an der Tibia an (4).

Weiterhin bestehen noch ein Retinaculum patellae laterale transversale, welches immer vorkommt, und ein Retinaculum patellae mediale transversale, welches nur zu 30 % vorkommt.

Die Retinacula patellae bilden den sog. „Reservestreckappart“, welcher die Gelenkkapsel unterstützt und verstärkt (1).

#### Kollateralbänder

Am Kniegelenk lassen sich zwei Kollateralbänder beschreiben.

Das Lig. collaterale fibulare, welches auf der Außenseite des Kniegelenks vom Epicondylus lateralis des Femurs zum Caput fibulae verläuft. Das Außenband läuft dabei als runder Strang schräg nach distal.

Das Lig. collaterale tibiale ist das breitere der beiden Bänder. Es zieht auf der Innenseite des Kniegelenks vom Epicondylus medialis des Femurs schräg nach distal vorne und setzt etwa 8 cm unterhalb des Tibiakante an der Facies medialis tibiae an (6). Bei der Beugung kommt es zur Verdrehung der hinteren und proximalen

Fasern, wodurch der mediale Meniskus stabilisiert wird (7). Die hinteren Abschnitte des Bandes sind fest mit der Gelenkkapsel und dem medialen Meniskus verwachsen.

In Extension des Kniegelenks sind die Seitenbänder gespannt, in Beugung sind sie gelockert. Aufgrund der Lockerung der Seitenbänder bei Beugung ist eine Abduktions- und Adduktionsbewegung zwischen Tibia und Femur in dieser Stellung möglich. Dadurch kann es, meist durch indirekte Gewalteinwirkung an den Ansätzen, zu einer vermehrten Aufklappbarkeit des Gelenks bei Valgus- bzw. Varusinstabilität kommen (2) (5).

### Dorsale Bänder

Das Ligamentum popliteum obliquum zieht von der hinteren Seite des medialen Tibiakondylus schräg nach kranial zum lateralen Femurepikondylus und ist dabei eine Verstärkung der Gelenkkapsel. Es verhindert gemeinsam mit den Kreuzbändern die Überstreckung des Kniegelenks und hemmt die Außenrotation des Unterschenkels (3).

Das Ligamentum popliteum arcuatum entspringt am Apex capitis fibulae, überkreuzt die Sehne des M. popliteus und läuft in die Gelenkkapsel ein (4). Bogenförmig verlaufenden Fasern verstärken die Kapsel lateral (2).

### Zentrale Bänder

Die Ligg. cruciata befinden sich im Zentrum des Kniegelenks. Sie sind zwischen der Area intercondylaris anterior und posterior und der Fossa intercondylaris des Femurs eingespannt. Die Kreuzbänder liegen innerhalb der Gelenkkapsel zwischen Membrana fibrosa und Membrana synovialis (3)(6).

Das vordere Kreuzband (Lig. cruciatum anterius) verläuft von der Area intercondylaris anterior der Tibia zur medialen Fläche des lateralen Femurkondylus. Es handelt sich dabei um ein verdrehtes Band, welches in 3 Faserbündel unterteilt wird: ein anteromediales, ein intermediäres und ein posterolaterales Bündel (2).

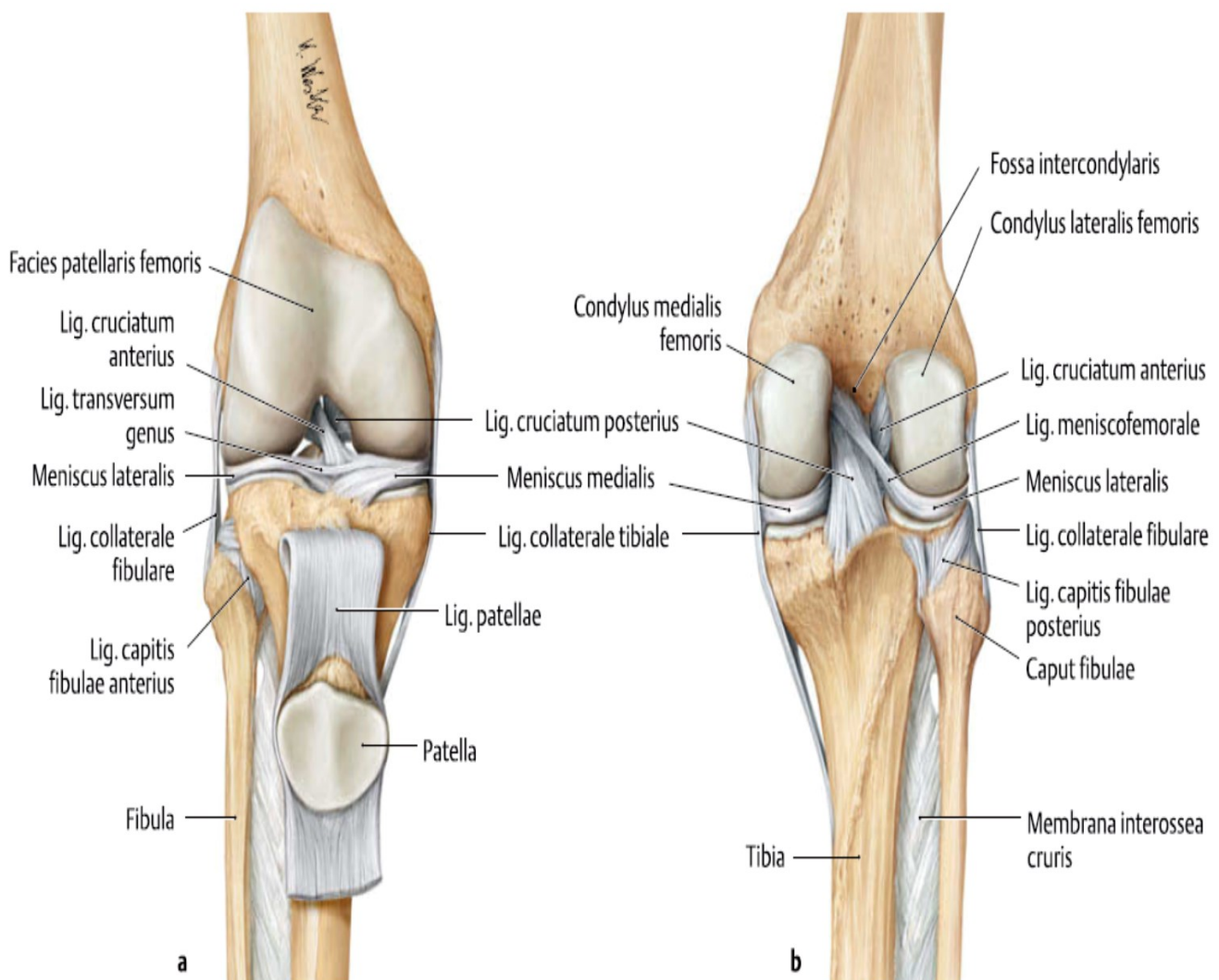
Es verläuft schräg nach ventral, kaudal und medial (3). Es können einige Faserbündel als Ligamentum meniscofemorale anterius in das Hinterhorn des Meniskus lateralis strahlen.

Das vordere Kreuzband überkreuzt das hintere Kreuzband in der Regio intercondylaris. Es verhindert hauptsächlich die Dislokation der Tibia gegenüber dem Femur nach ventral (1). Es ist bei der Streckung des Kniegelenks gespannt und ist an der zwangsläufigen Schlussrotation beteiligt. Dabei kommt es am Spielbein zu einer Außenrotation der Tibia. Bei gebeugtem Knie ist das vordere Kreuzband wiederum gespannt (4).

Das hintere Kreuzband (Lig. cruciatum posterius), welches kräftiger ist, verläuft von der Area intercondylaris posterior zur lateralen Fläche des medialen Femurcondylus. Es steht nahezu im rechten Winkel zum vorderen Kreuzband (6). Es verläuft nach dorsal, kaudal und lateral (3). Das Band strahlt fächerförmig aus und besteht aus 2 Faserbündeln: ein anterolaterales und ein posteromediales Bündel. Das Ligamentum meniscofemorale posterius zieht dabei vom Hinterhorn des lateralen Meniskus zum hinteren Kreuzband.

Das hintere Kreuzband ist bei gebeugtem Knie zum größten Teil gespannt. In der Streckstellung ist es nur teilweise gespannt (2). Es verhindert die dorsale Dislokation der Tibia gegenüber dem Femur (1).

Bei der Innenrotation des Unterschenkels wickeln sich die Kreuzbänder umeinander herum. Bei einer Außenrotation stehen sie fast parallel zueinander. Dadurch ist ein größeres Ausmaß an Außenrotation als Innenrotation möglich (3). Die Kreuzbänder stabilisieren das Knie in der Sagittalebene (1).



**Abbildung 3: rechtes Knie von ventral und dorsal (6)**

### 1.1.1.6. Gefäßversorgung

Die Gefäßversorgung des Kniegelenks wird zum größten Teil über absteigende Äste der Arteria femoralis, der Arteria poplitea, der im Oberschenkel sich befindenden Arteria circumflexa femoris lateralis und des Ramus circumflexus fibularis sowie der Arteriaes recurrentes tibialis anteriores des Unterschenkels gewährleistet. Diese Gefäße bilden durch ihre Äste ein dichtes Gefäßnetzwerk um das Kniegelenk (1).

Die A. femoralis communis ist eine Fortsetzung der A. iliaca externa, welche den Canalis adductorius durchläuft und am Hiatus adductorius in die A. poplitea übergeht. Die A. femoralis communis teilt sich in ihre beiden Äste, die A. femoralis su-

perforans und die A. femoralis profunda. Lateral aus der A. femoralis profunda entspringt die A. circumflexa femoris lateralis, welche durch ihren Ramus descendens hauptsächlich den M. quadriceps femoris versorgt, aber auch Gefäße in das Rete articulare des Knies abgibt (2)(8).

Die A. poplitea läuft in die Fossa poplitea der Kniekehle und nähert sich dort der Gelenkkapsel an. Sie versorgt hauptsächlich das Kniegelenk und die beteiligten Muskeln. Sie bildet auch das Rete articulare genu, welches sich auf der Vorderseite des Kniegelenks befindet. Das Rete articulare genu wird noch von der A. femoralis, A. tibialis anterior und der A. tibialis posterior gespeist. Die A. poplitea gibt folgende Äste ab: *A. superior lateralis genu*, *A. superior medialis genu*, *A. media genu*, *A. inferior lateralis genu*, *A. inferior medialis genu*.

Am Unterrand des M. popliteus teilt sich die A. poplitea in die A. tibialis anterior und A. tibialis posterior auf. Letztere gibt etwas weiter distal die A. fibularis ab (9).

Die Äste der A. poplitea ziehen in das Rete articulare genu, wobei die A. media genu von hinten an die Kreuzbänder und Synovialfalten zieht. Das Rete patellare ist ein Arteriengeflecht an der Patella (10).

Klinisch wichtig ist, dass die A. poplitea nie unterbunden wird, da das Rete articulare genu allein nicht für einen Kollateralkreislauf ausreicht (2).

Die Aa. Surales sind weitere Abgänge der A. poplitea, welche hauptsächlich den M. gastrocnemius, M. soleus, M. plantaris, sowie die Haut über der Wade versorgen (8).

Die A. tibialis anterior gibt nach proximal die Aa. recurrentes tibialis anterior und posterior ab, welche das Rete articulare genu speisen (2).

Der Ramus circumflexus fibularis entsteht als Hauptast der A. tibialis posterior und läuft lateral durch den M. soleus um das Collum fibulae, um dann mit dem Rete articulare genu in Verbindung zu treten (1).

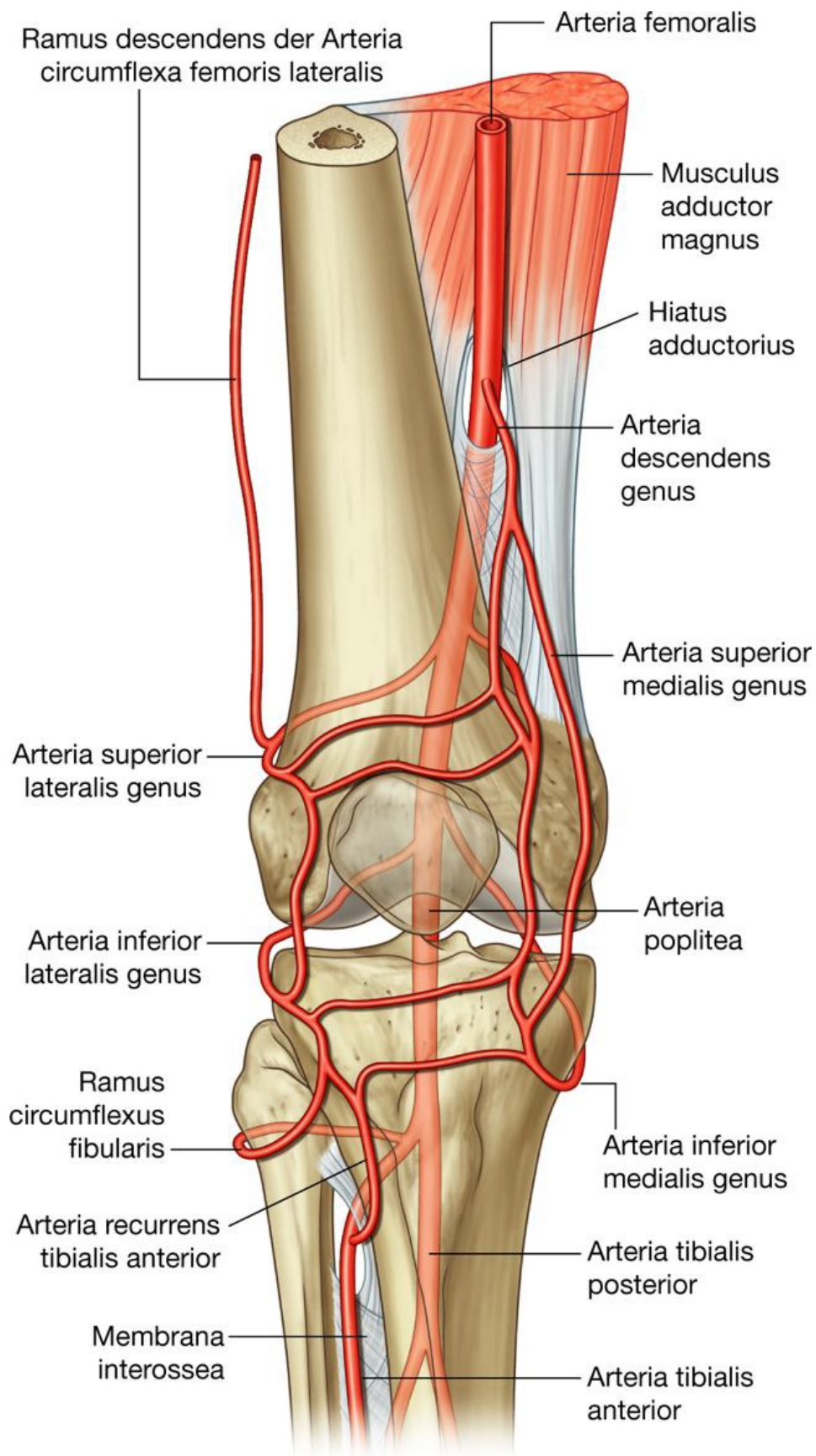


Abbildung 4: Arterielle Anastomosen (1)

### 1.1.1.7. Innervation

Das Kniegelenk wird durch Äste von folgenden Nerven innerviert: N. obturatorius, N. femoralis, N. tibialis, N. fibularis communis.

Der N. obturatorius entspringt aus den Segmenten L2-L4 und beteiligt sich mit seinem Ramus anterior aktiv an der Bewegung des Kniegelenks. Mit seinem Ramus posterior versorgt er unter anderem die Hinterwand des Kniegelenks sensibel (10).

Der N. femoralis entspringt aus den Segmenten L1-L4 und versorgt mit seinen Rr. musculares Muskeln, welche an der aktiven Bewegung des Kniegelenks beteiligt sind. Der N. saphenus ist ein Ast des N. femoralis, welcher den R. infrapatellaris bildet. Dieser versorgt die Haut an der medialen und vorderen Seite des Kniegelenks.

Der zum Plexus sacralis gehörende N. tibialis entspringt aus den Segmenten L4- S1, verläuft vertikal durch die Fossa poplitea und gibt Rr. musculares ab. Diese innervieren Muskeln, welcher an der aktiven Bewegung des Kniegelenks beteiligt sind. Mit seinen Rr. articulares innerviert er direkt das Kniegelenk (1) (2).

Der N. fibularis communis entspringt aus den Segmenten L5-S2 und innerviert das Caput breve des M. biceps femoris, welcher an der Beugung und Außenrotation des Kniegelenks beteiligt ist (9).

## 1.2. Die vordere Kreuzbandruptur

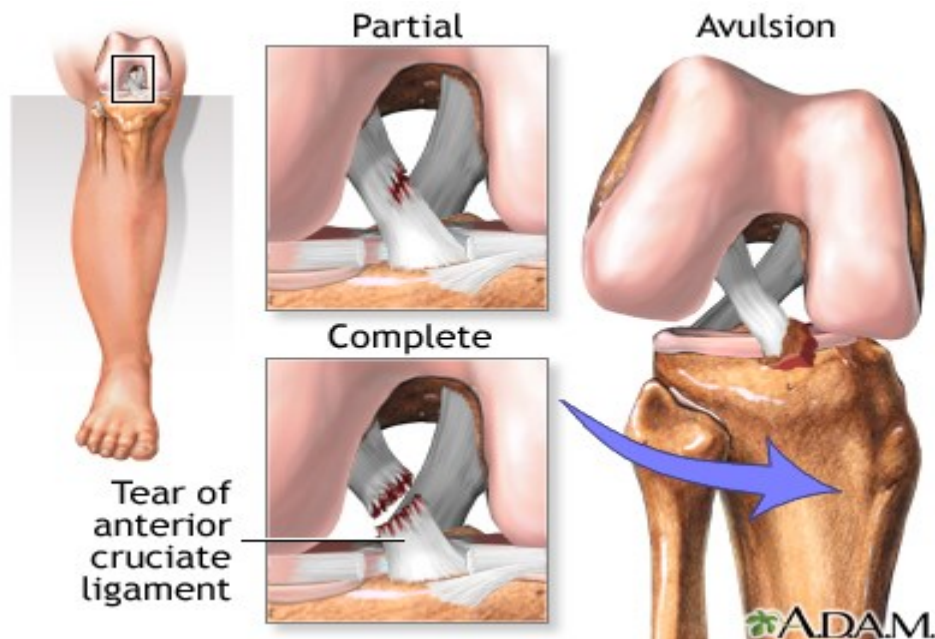
### 1.2.1. Definition und Formen

Unter einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes versteht man eine vollständige oder partielle Kontinuitätsunterbrechung der Faserstruktur des Bandes. Es kann isoliert oder zusammen mit anderen Bandstrukturen des Kniegelenks rupturieren (11).

Die Ruptur des VKB kann als Kombination mit einer Ruptur des Innenbandes und dem Riss des Innenmeniskus auftreten. Diese Konstellation der kombinierten Verletzung nennt man „Unhappy Triad“. Diese Kombination ist allgemein eine seltene, aber schwere Form der Kniegelenksverletzungen. Vor allem korrelieren Verletzungen der medialen Strukturen des Kniegelenks (Innenmeniskus, Innenband) mit Verletzungen des VKB. Verletzungen der lateralen Strukturen des Kniegelenks (Außenmeniskus, Außenband) sind oft mit Verletzungen des HKB verbunden (12).

Verletzungen des Kreuzbandes werden des Weiteren klinisch in Bandschäden ohne (Zerrung) und mit Stabilitätsverlust (Ruptur) unterschieden. Verletzungen mit Instabilität werden in gerade Instabilität (nur eine Bewegungsebene), Rotationsinstabilität (in zwei Bewegungsebenen) und kombinierte Instabilität (mehr als zwei Bewegungsebenen) eingeteilt. Rupturen treten an unterschiedlichen Lokalisationen auf: ossär (Abrissfraktur, meist tibial), am Ansatz und interligamentär.

Bei Verletzungen des VKB in Kombination mit dem medialen Seitenband tritt eine antero-mediale Instabilität auf; in Kombination mit dem lateralen Seitenband tritt eine antero-laterale Instabilität auf (13) (14).



**Abbildung 5: Teilruptur, Komplettruptur und Avulsionsfraktur des VKB (15)**

Das VKB hat neben seiner hauptsächlichen Funktion als mechanischer Stabilisator auch eine wichtige propriozeptive Schutzfunktion. Damit nimmt es Körperbewegungen, die Lage und die Stellung der einzelnen Körperteile im Raum wahr.

Bei Ruptur des VKB kommt es zum irreversiblen Verlust dieser Funktion, welche durch keine therapeutische Maßnahme wiedererlangt werden kann. Lediglich verbliebene Rezeptoren können erhalten werden (16).

In Tabelle 1 werden zur Beurteilung von Instabilitäten des Kniegelenks drei Graden beschrieben (14).

Grad I (Zerrung):	Schublade/Aufklappbarkeit 3 bis 5 mm
Grad II (Teilruptur):	Schublade/Aufklappbarkeit 5 bis 10 mm
Grad III (Vollständige Ruptur):	Schublade/Aufklappbarkeit über 10 mm

**Tabelle 1: Gradeinteilung für die Beurteilung von Knieinstabilitäten nach American Medical Association**

Rein ligamentäre Ausrisse des VKB liegen in den meisten Fällen proximal am Femur (64%), in manchen Fällen im intermediären Abschnitt (22%) und selten distal an der Tibia (14%) (17).

## 1.2.2. Ätiopathogenese und Epidemiologie

Rupturen des VKB entstehen meist bei sportlichen Tätigkeiten. Ein hohes Risiko bringen Sportarten wie Fußball spielen, Tennis oder Skifahren mit sich, da bei diesen Aktivitäten abrupte Manöver und Richtungsänderungen auftreten. Typische Unfallmechanismen sind dabei eine gewaltsame Vorwärtsverlagerung des Unterschenkels bei gebeugtem Knie, welches zudem außenrotiert und abduziert ist. Befindet sich das Gelenk in Varus-Innenrotationsstellung und ist gebeugt, kann bei bestimmten Bewegungen eine Ruptur des VKB auftreten (12)(18)(19).

Isolierte Rupturen des VKB entstehen typischerweise durch Hyperextension im Gelenk mit Innenrotation sowie Dezeleration mit akuter Anspannung des M. quadriceps. Der Fuß ist bei diesem Verletzungsmechanismus meist fixiert mit einer nachfolgenden Blockierung der Schlussrotation des Unterschenkels.

Diese Blockierung kann dabei durch die Stollen eines Fußballschuhs, durch Bodenunebenheiten, einen haftenden Bodenbelag oder durch Skischuhe bedingt sein (19) (20).

Ein reiner Varus- oder Valgusmechanismus kann belastet oder unbelastet auch zu einer Verletzung des VKB führen (21).

Als Begleitverletzungen zur Ruptur des VKB können zusätzlich isoliert Meniskus- oder Kollateralbandverletzungen, „Unhappy Triad“ oder Kniegelenksluxationen auftreten. Die Kniegelenksluxation stellt eine schwere Kapsel- und Bandverletzung im Kniegelenk dar. Oft tritt diese im Rahmen von schweren Traumen auf und es kommt i.d.R. zu kompletter VKB- und HKB-Ruptur sowie zu Verletzungen anderer Kapsel-Band-Strukturen (22).

Eine sekundäre Kreuzbandinsuffizienz mit Ruptur kann nach medialer Menis-  
kektomie entstehen.

Nach Resektion des Meniskus kann dieser nicht mehr vollständig als mechanischer „Bremser“ fungieren, dadurch kommt es zur Überbelastung des VKB (17).

Knieverletzungen machen 15-30% aller Sportverletzungen aus. Davon ist das VKB von den Strukturen des Kniegelenks am zweithäufigsten betroffen. Allgemein treten Verletzungen des VKB bei Frauen häufiger auf. In 75% der Fälle sind zusätzlich zur Ruptur des VKB weitere Kniebinnenverletzungen vorhanden. Bei Dislokationen im Kniegelenk kommt es zu 50% zum Reißen des VKB (23) (24).

Rupturen des VKB treten bei jüngeren Personen meist als rein ligamentäre Verletzungen auf. Bei älteren Personen ist vermehrt eine ossäre Beteiligung vorhanden (25).

Die Prävalenz von Verletzungen des VKB wird mit 1 pro 3000 Menschen angegeben. Die höchste Inzidenz haben junge Menschen in der Altersgruppe der 15- bis 25-Jährigen (26).

In der nachfolgenden Grafik sieht man je nach Alter und Geschlecht die Aufteilung von 2793 Patientinnen/Patienten, welche eine primär operative Rekonstruktion des VKB erhalten haben.

Dabei ist die sehr hohe Inzidenz bei Frauen zwischen dem 15.-19. Lebensjahr zu erkennen (27).

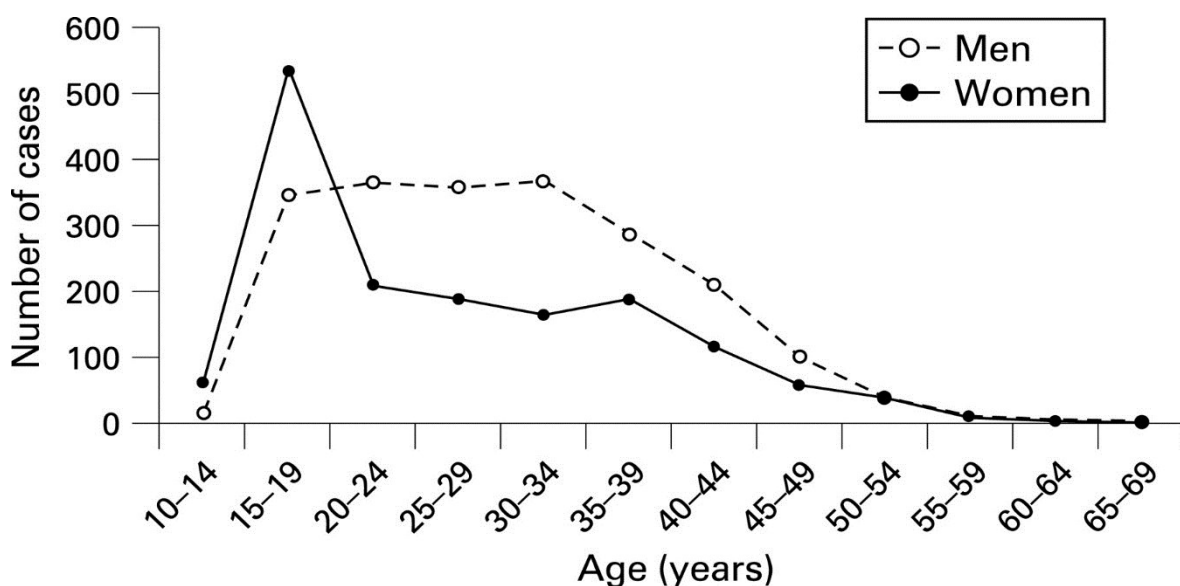


Abbildung 6: Aufteilung von Patientinnen/Patienten nach Alter und Geschlecht nach NNKLR (26)

Nur etwa 50% der Patientinnen/Patienten können nach der Therapie der VKB-Ruptur zum gleichen Leistungsniveau im sportlichen Bereich zurückfinden. Die höchste Wahrscheinlichkeit für eine wiederholte Ruptur nach Therapie tritt zu 10% bei Patientinnen/Patienten unter 20 Jahren auf (25).

Bei nicht operativ behandelten Patientinnen/Patienten mit VKB-Ruptur entwickeln 50-90% nach 10-15 Jahren eine Osteoarthritis (28). Patientinnen/Patienten, welche eine Kreuzbandplastik erhalten haben, weisen zu 41-75% nach 14 Jahren eine Osteoarthritis auf (29).

Das Risiko eine Ruptur des VKB zu erleiden, ist bei weiblichen Athletinnen fünfmal höher als bei männlichen Athleten. Anatomische Unterschiede zwischen den zwei Geschlechtern spielen dabei möglicherweise eine Rolle. Zum einen weisen Frauen eine stärkere X-Beinstellung auf, zum anderen aktivieren Frauen ihre Oberschenkelmuskulatur anders als Männer (30).

In der Tabelle 2 sind je nach Geschlecht die Häufigkeiten einer VKB-Ruptur bei typischen Sportarten eingeteilt. Dabei wurden 1718 männliche Athleten und weibliche Athletinnen, welche eine Sportverletzung erlitten haben, je nach Sportart bei welcher es zur VKB-Ruptur kam, eingeteilt. Fußball, Skifahren und Basketball sind dabei typische Sportarten bei denen Athletinnen/Athleten besonders gefährdet sind (25).

Männlich			Weiblich		
Sport	<i>n</i>	%	Sport	<i>n</i>	%
Fußball	154	18,3	Basketball	333	37,8
Skifahren	118	14,1	Skifahren	134	15,2
Basketball	113	13,5	Handball	106	12,0
Rugby	109	13,0	Volleyball	81	9,2
Handball	57	6,8	Track and field	27	3,1

**Tabelle 2: VKB-Ruptur von weiblichen Athletinnen und männlichen Athleten in Japan bei unterschiedlichen Sportarten**

Über 80% der Rupturen des VKB bei professionellen Athletinnen/Athleten entstehen ohne Fremdeinwirkung und ohne Kontakt. Diese entstehen als Folge eines plötzlichen Richtungswechsels oder einer Sprunglandung (31).

### 1.2.3. Klinik

Primärsymptom bei frischen Kapsel-Band-Verletzungen des Kniegelenks ist die Knieschwellung. Das Knie befindet sich leicht gebeugt in Schonhaltung mit Abwehrhaltung und Muskelspasmus, wenn Bewegungen im Gelenk versucht werden. Bei der Ruptur des VKB beschreiben die meisten Patientinnen/Patienten eine Instabilität und eine spürbare Veränderung im Gelenk. Die Instabilität und die sich rasch entwickelnde Schwellung machen das Fortsetzen der Aktivität unmöglich (26) (32).

In Tabelle 3 sind Angaben aus der Unfallanamnese von 67 Patientinnen/Patienten die eine VKB-Rupturen erlitten haben angeführt. Typische Primärsymptome wie eine schnell auftretende Schwellung, starke Schmerzen und Giving-Way Attacken treten dabei häufig auf (33).

	<b>absolut</b>	<b>Prozent</b>
<b>Hyperextensionstraum</b>	1	1,5 %
<b>Varus-Trauma</b>	2	3,0 %
<b>Valgus-Trauma</b>	7	10,4 %
<b>IRO- Trauma</b>	3	4,5 %
<b>Varus-IRO-Trauma</b>	20	30,0 %
<b>Varus-ARO-Trauma</b>	19	28,0 %
<b>Anpralltrauma</b>	1	1,5 %
<b>keine Angaben zum Unfallhergang</b>	14	20,0 %
<b>knallartige Geräusche</b>	34	51,0 %
<b>starke Schmerzen</b>	45	67,0 %
<b>Schwellung innerhalb 24 Stunden</b>	61	91,0 %
<b>belastbare Extremität</b>	53	79,0 %
<b>Giving-way-Symptomatik</b>	30	45,0 %
<b>Gesamt</b>	<b>67</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 3: Anamnestische Angaben von Patientinnen/Patienten mit VKB-Rupturen

Oft nehmen Patientinnen/Patienten im Moment des Traumas ein peitschenschlagartiges Schnalzen oder ein „Plopp“-Geräusch wahr. Giving-Way Attacken sind typisch für unbehandelte VKB-Rupturen (23).

Ein Hämarthros ist ein deutender Hinweis auf eine Kreuzbandverletzung. Etwa 70% der jungen Patientinnen/Patienten mit einem frisch aufgetretenem Hämarthros haben ein gerissenes VKB.

In Tabelle 4 werden Differentialdiagnosen des Hämarthros in absteigender Wahrscheinlichkeit angeführt (14).

<b>Häufig:</b>
VKB-Ruptur
Patellaluxation
Osteochondralfraktur
Meniskusruptur (basisnah)
<b>selten:</b>
HKB-Ruptur
Synoviaeinriss
villonoduläre Synovialitis
Hämophilie

**Tabelle 4: Differentialdiagnosen des Hämarthros im des Kniegelenks**

Eine chronische Kreuzbandruptur entsteht dann, wenn nach einem Initialtrauma ein Teilriss des VKB mit ungenügender Vernarbung entsteht. Das Band ist in seiner Kontinuität zwar noch erhalten, doch fehlt die Festigkeit und Spannung. Durch weitere kleine Traumen reißt die Synovialis wieder ein und es kommt zu Hämarthrosbildung.

Tritt eine isolierte Ruptur des VKB auf, kann die Patientin/der Patient diese unter Umständen jahrelang kompensieren und ohne größere Behinderung damit leben

und sogar Sport betreiben. Eine weitere Verletzung anterolateral, posteromedial oder einer anderen beteiligten Struktur kann zur Dekompensation und einer vollständigen Instabilität im Kniegelenk führen (34).

Bei gerissenem VKB ist die Kongruenz zwischen Femur und Tibia bzw. Femur und Menisken nicht mehr gegeben. Besonders das Hinterhorn des Meniskus ist dabei stark belastet. Dies verursacht eine Bildung von reaktiv-degenerativen Osteophyten, welche die Instabilität und die Schäden im Gelenk verstärken und zur Arthrose im Kniegelenk führen (35).

Für die weitere Therapie ist die Erhebung der Aktivitäten der Patientin/des Patienten wichtig. Dabei werden 4 Aktivitätsniveaus unterschieden (21).

I	Aktivitäten mit belasteter Rotation, Kontaktsportarten
II	Schwere körperliche Arbeit, Skifahren, Tennis
III	Leichte körperliche Arbeit, Joggen
IV	Alltagsaktivitäten

## 1.2.4. Diagnostik

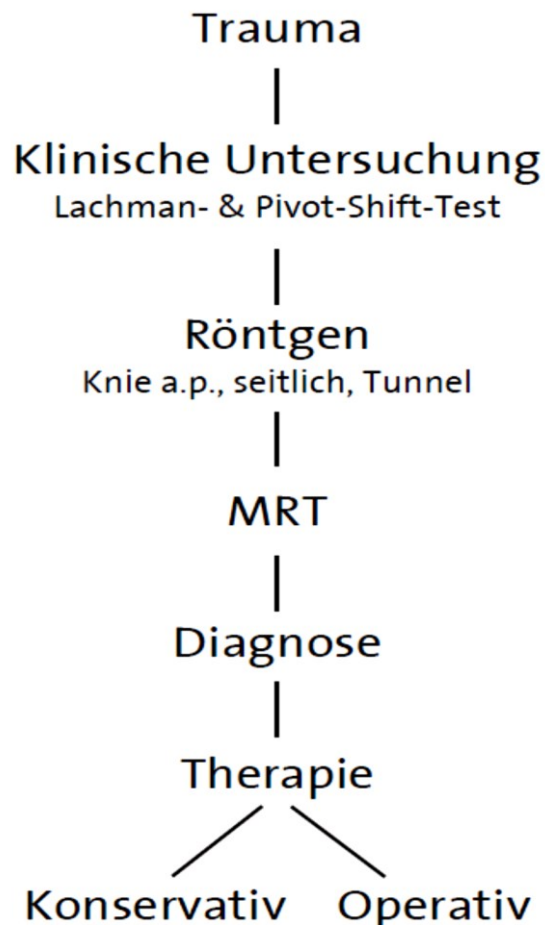


Abbildung 7: Entscheidungsbaum der Diagnostik einer möglichen VKB-Ruptur (21)

Entscheidend in der Diagnostik eines verletzten Kniegelenks, bei möglichen Verletzungen des Kapsel-Band-Apparates, ist der Ausschluss einer Mitbeteiligung der Kreuzbänder, da nicht erkannte und nicht behandelte Verletzungen dieser zu schweren Folgeschäden führen.

Die Diagnose bildet dabei ein Zusammenspiel von klinischen Untersuchungstests und weiteren bildgebenden Verfahren (16).

Bei der klinischen Erstuntersuchung werden 60% der Kreuzbandrupturen nicht erkannt, obwohl 93% der Patientinnen/Patienten in der ersten Woche nach dem Unfallereignis zur Ärztin/zum Arzt gehen (36).

#### 1.2.4.1. klinische Diagnostik

Die klinische Diagnostik umfasst als ersten Punkt die Anamnese. Dabei sind die Fragen ‚Was ist passiert?‘, ‚Wann ist es passiert?‘ und ‚Wie ist es passiert?‘ als Leitfaden zu verwenden. Damit können mögliche andere Pathologien oder Verletzungen schon ausgeschlossen werden.

Durch die Inspektion kann der Verdacht auf eine VKB-Ruptur erhärtet werden. Eine inspektorisch erkennbare Schwellung mit Rötung kann für eine Verletzung des VKB sprechen, doch muss diese primär nicht vorhanden sein. Ein inspektorisch auffälliges Extensionsdefizit und Prellmarken können Diagnosen erhärten (37).

Eine Ergusspalpation, die Palpation der Seitenbandansätze und deren Schmerzpunkte, sowie die Palpation des Gelenkspaltes geben weiteren Aufschluss über Defekte im Bandverlauf (38).

#### 1.2.4.1.1. klinische Untersuchungen und Tests

Die klinische Untersuchung des Kniegelenks erfolgt immer im Seitenvergleich. Stabilitätstests sind für die Frontalebene (Valgus-/Varusstress), für die Sagittalebene (Lachman-/Schubladentest) und als kombinierte Bewegungen (Pivot shift-Test) durchzuführen (37) (39).

Abnormale Bewegungen der Tibia nach vorne bilden die Basis der Diagnose der VKB-Ruptur. Diese werden hauptsächlich mit dem Lachman-Test und dem vorderen Schubladentest evaluiert. Instrumentelle Verfahren wie das Rolimeter können dabei auch angewandt werden. Das VKB hemmt primär die Translation der Tibia, seine größte Spannung hat es in 30° Flexionsstellung (25) (40).

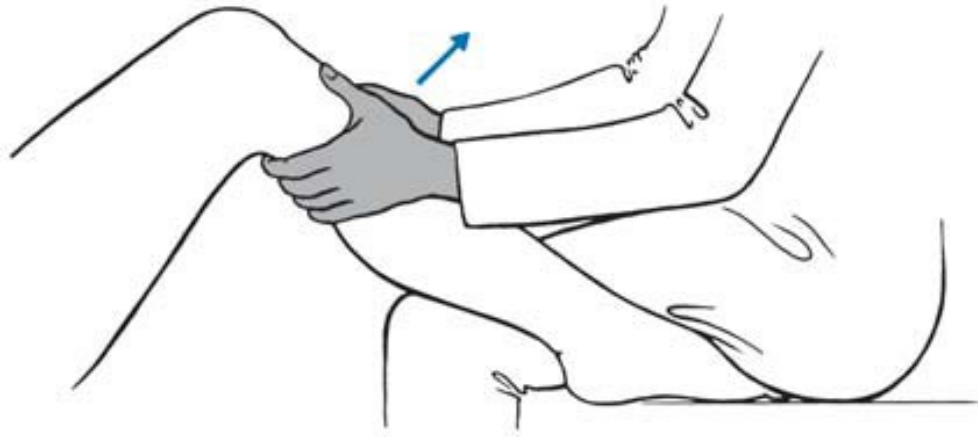
### Prüfung der seitlichen Aufklappbarkeit

Bei dieser Untersuchung wird die Patientin/der Patient in Rückenlage gebracht, der Fuß wird durch die untersuchende Person fixiert. Die untersuchende Person kann dann die Aufklappbarkeit des Gelenks durch Varus-/Valgusstress überprüfen. Die seitliche Aufklappbarkeit und die Prüfung der Bänder werden in Extension und geringer Flexion durchgeführt. In geringer Flexionsstellung werden nur Innen- und Außenband überprüft, da in dieser Position alle anderen Bandstrukturen des Knies entspannt sind. Ist eine vermehrte mediale Aufklappbarkeit in Streckstellung gegeben, ist eine Beteiligung des VKB wahrscheinlich (41).

### Schubladentest

Der Schubladentest gilt als klassischer Test in der Diagnostik der Kreuzbänder. Es wird dabei die vordere Schublade, die Bewegung der Tibia gegen den Femur nach vorne, und die hintere Schublade, die Bewegung der Tibia gegen den Femur nach hinten getestet. Ein wichtiger Punkt bei der Durchführung dieses Tests ist eine komplett entspannte ischiokrurale Muskulatur der Patientin/des Patienten. Durch Anspannung dieser kommt es zu einer Hemmung einer möglichen vorderen Schublade, das Ergebnis erscheint dadurch falsch negativ. Durch eine Insuffizienz des HKB kann es zu einer „Pseudo- vorderen Schublade“ kommen, daher darf diese nicht als eine Verletzung des VKB missinterpretiert werden. Die Überprüfung erfolgt in 90° Flexionsstellung, wobei die Testung in Neutralposition, Innen- und Außenrotation erfolgt. Die untersuchende Person fixiert den Fuß der Patientin/des Patienten, umfasst mit den Fingern den Tibiakopf und legt die Daumen am vorderen Gelenkspalt an. Der Tibiakopf wird dabei nach ventral gezogen.

Bei der Überprüfung der hinteren Schublade legt die untersuchende Person die flache Hand auf die Vorderseite des Gelenks und achtet auf eine mögliche Translation der Tibia nach dorsal (16) (37).

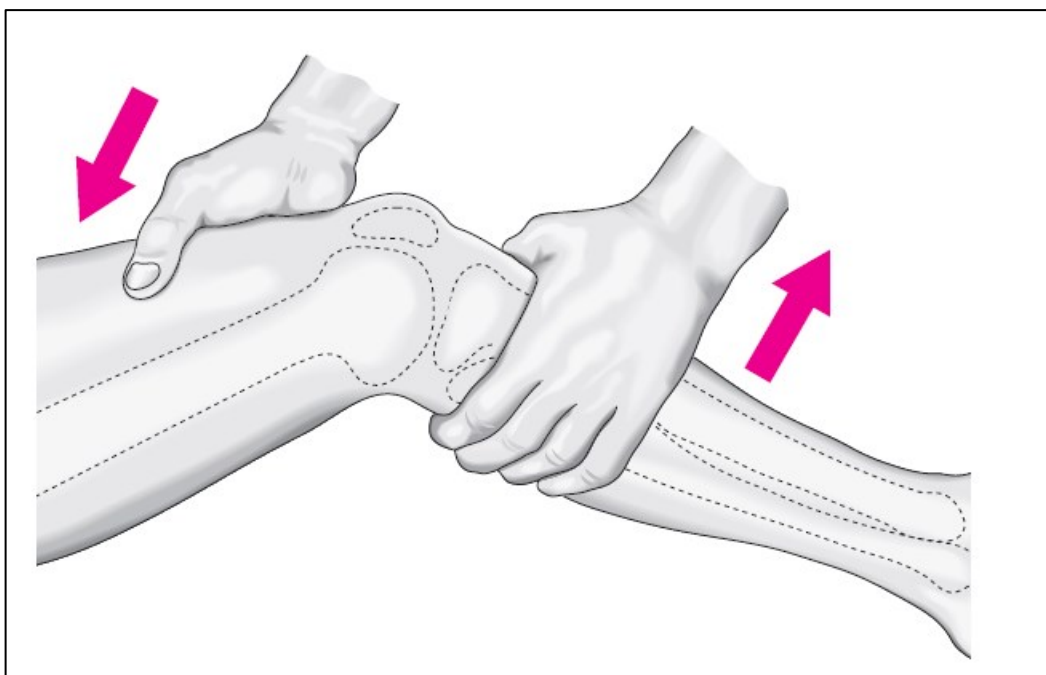


**Abbildung 8: Prüfung der vorderen Schublade bei fixiertem Fuß (39)**

### Lachman-Noullis Test

Der Lachman-Noullis Test, auch bekannt als Lachman-Test, wurde erstmalig mit einer Kniestellung in voller Extension und 15° Flexion beschrieben. Heutzutage wird die Untersuchung standardmäßig in 20-30° Flexionsstellung durchgeführt. Die Tibia ist in einer neutralen Position. Dadurch wird gewährleistet, dass sekundäre Stabilisatoren die Untersuchung nicht beeinträchtigen. Mit einer Hand umfasst die untersuchende Person den Tibiakopf, mit der anderen Hand wird der anterolaterale Teil des distalen Femurs stabilisiert. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die untersuchende Person ein angewinkeltes Knie unter das Femur der Patientin/des Patienten legt. Damit wird der richtige Grad der Flexion im Gelenk induziert und man kann mit der Hand zusätzlich stabilisieren.

Es wird unter Zug der Tibia nach vorne eine mögliche anteriore Translation der Tibia gegenüber dem Femur beobachtet. Ein weicher Anschlag am Endpunkt verstärken ein positives Untersuchungsergebnis (25) (35). Eine anteriore Translation von 1-5 mm wird als Grad I, 6–10 mm als Grad II und größer als 10 mm als Grad III Nachlässigkeit beschrieben (42). Für die Prüfung der seitlichen Aufklappbarkeit und der hinteren Schublade verwendet man dieselbe Einteilung (24).



**Abbildung 9: Lachman-Noullis Test (22)**

### Pivot shift-Test

Beim Pivot shift-Test handelt es sich um einen dynamischen anterioren Subluxations-Test. Anhand von diesem Test kann man die Indikation und das Ergebnis einer möglichen Operation stellen. Das gestreckte Bein der Patientin/des Patienten wird mit einer Hand in Höhe des Sprunggelenks angehoben und innenrotiert, während mit der anderen Hand ein Valgusstress auf den oberen Teil der Tibia ausgeübt wird.

Subluxiert dabei das laterale Tibiaplateau nach anterior, kann von einer VKB-Ruptur ausgegangen werden. Anschließend wird eine Flexionsbewegung durchgeführt; ab ca. 20-30° kommt es zu einer Reposition der Subluxation durch den Zug des Tractus iliotibialis. Dieser Test wird nicht wiederholt durchgeführt. Falsche Ergebnisse treten durch eine angespannte ischiokrurale Muskulatur oder durch eine mögliche Verletzung des Tractus iliotibialis auf (37).

Der Pivot shift-Test dient postoperativ als besseres Maß zur Beurteilung der funktionellen Instabilität und korreliert besser mit der subjektiven Einschätzung der Patientinnen/Patienten, als der Lachman-Test oder die vordere Schublade (43).

#### 1.2.4.2. bildgebende Diagnostik

##### 1.2.4.2.1. Röntgendiagnostik

Die Röntgendiagnostik dient zur Vervollständigung der im Vorhinein durchgeführten klinischen Diagnostik. Auch bei uncharakteristischen Beschwerden wird eine Röntgenaufnahme gemacht, um bestimmte Differentialdiagnosen auszuschließen. Als Zusatzdiagnostik kann man damit Frakturen, degenerative Schäden oder mögliche Gelenkspaltverschmälerungen erkennen oder ausschließen. Standardmäßig werden Röntgenbilder im a.-p. und seitlichen Strahlengang gemacht. Zusätzlich ist eine Tangentialaufnahme auch möglich. Eine beidseitige Röntgenuntersuchung ist nur in Ausnahmefällen indiziert.

Die Röntgendiagnostik wird ebenfalls zur postoperativen Verlaufskontrolle herangezogen. Nach Rekonstruktionen oder Refixationen von Bandstrukturen im postoperativen Verlauf, kann man anhand von Drahtkanälen, Schrauben oder Klammern auf die Lokalisation von dem refixierten Band schließen. Bohrkanäle können nur dann erkannt werden, wenn sie größer als 5-6 mm sind. Weiterhin lässt eine Röntgenaufnahme eine mögliche Fehleranalyse zu. Nach länger stattgefundenen VKB-Rupturen findet man oft eine Einengung der Fossa intercondylaris, auch Notch genannt. Eine posttraumatische auftretende Arthrose nach Bandverletzungen lässt sich mit Übersichtsaufnahmen erfassen. Typisches Auftreten von Osteophyten, subchondraler Sklerosierung, Bandverkalkungen, Achsendeformitäten oder Verengungen des Gelenkspaltes lassen sich beschreiben (16) (19).

Mit der Röntgenaufnahme deuten einige indirekte Zeichen auf Verletzungen des VKB hin. Abrissfrakturen des VKB an der tibialen sowie an der femoralen Insertionszone können dabei erkannt werden. Die Segond-Fraktur ist eine typische Verletzung die mit einer VKB-Ruptur assoziiert ist. Bei dieser Verletzung kommt es zu einer Abrissfraktur an der lateralen Schienbeinkante durch das Lig. collaterale fibulare oder die Sehne des M. biceps femoris. Eine osteochondrale Eindellung im Sulcus des lateralen Femurkondylus (*lateral femoral notch sign*) ist ein sehr spezifisches, indirektes Zeichen auf eine VKB-Ruptur. Eine tiefe Notch mit einem Sulcus, welcher tiefer als 1,5 mm ist, sind darauf hinweisend (44).

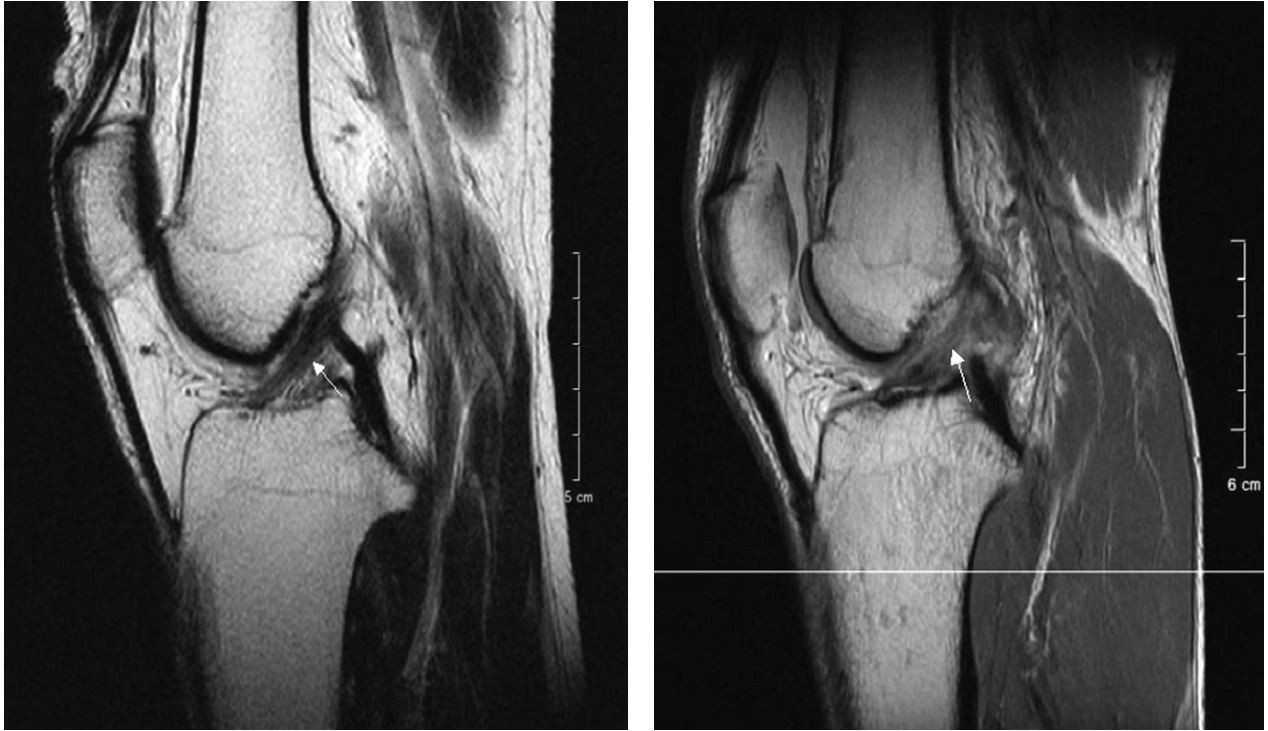
#### 1.2.4.2.2. MRT-Diagnostik

Die Magnetresonanztomographie ist heutzutage das am häufigsten verwendete diagnostische Bildgebungsverfahren für Kreuzbandverletzungen. Mit einer hohen Sensivität und Spezifität ist es ein gutes Werkzeug um VKB-Rupturen, Graft-Rupturen oder Begleitverletzungen zu diagnostizieren. Zur präoperativen Beurteilung durch Messung der Größe und des Neigungswinkels des VKB, der Auswahl des Graft und der postoperativen Evaluation wird die MRT-Untersuchung verwendet (45).

Begleitverletzungen am Knorpel und den Menisken lassen sich beurteilen. Rupturform, Knorpel- sowie Meniskusschäden und subchondrale Mikrofrakturen (*Bone bruises*) können damit erkannt werden. Funktionelle Abläufe lassen sich ebenfalls mit dem MRT darstellen (19) (21).

Eine Positionierung des VKB in einer 10-15° Außenrotation ist günstig, da in dieser Stellung das VKB parallel zur sagittalen Bildebene verläuft. Standardmäßig wird meistens eine T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenz (TSE) angewendet um das VKB darzustellen. Die T1-Gewichtung eignet sich gut zur Darstellung suspekter Frakturen oder freien Gelenkskörpern im Gelenk. Das gesunde VKB weist eine niedrige bis mittlere Signalintensität mit kontinuierlichen Fasern in allen Ebenen und Sequenzen auf. Es läuft parallel oder etwas steiler als die intercondyläre Linie (20) (44).

Bei einer Zerrung des VKB ist die Kontur, Dicke und Länge des Ligaments unverändert. Es kommt zu einer Signalsteigerung in T1 und T2-Gewichtung, wobei der Hauptverlauf der Faser unverändert ist. Die Teilruptur ist durch eine Signalsteigerung in beiden Sequenzen sowie verdickten, unregelmäßigen Fasern zu erkennen. Bei Rupturen der Fasern des VKB kommt es zu Einblutungen und Ödembildung. In der kompletten Ruptur sind eine deutliche Signalsteigerung und eine Diskontinuität der Bandstruktur zu sehen. Eine mögliche Retraktion oder ein abnormer Verlauf sind hinweisend auf eine komplette Ruptur (20).



**Abbildung 10: Vergleich normales (links) mit komplett rupturiertem vorderen Kreuzband (rechts) in T2- Gewichtung (46)**

## 2. Therapieoptionen

Aktuell stehen zwei grundlegende Therapieoptionen bei einer VKB-Ruptur zur Auswahl. Einerseits die konservative Therapie, welche sich aus einer gezielten und langwierigen Physiotherapie; andererseits die operativen Verfahren, welche eine vordere Kreuzbandplastik oder eine vordere Kreuzbandnaht umfassen (47).

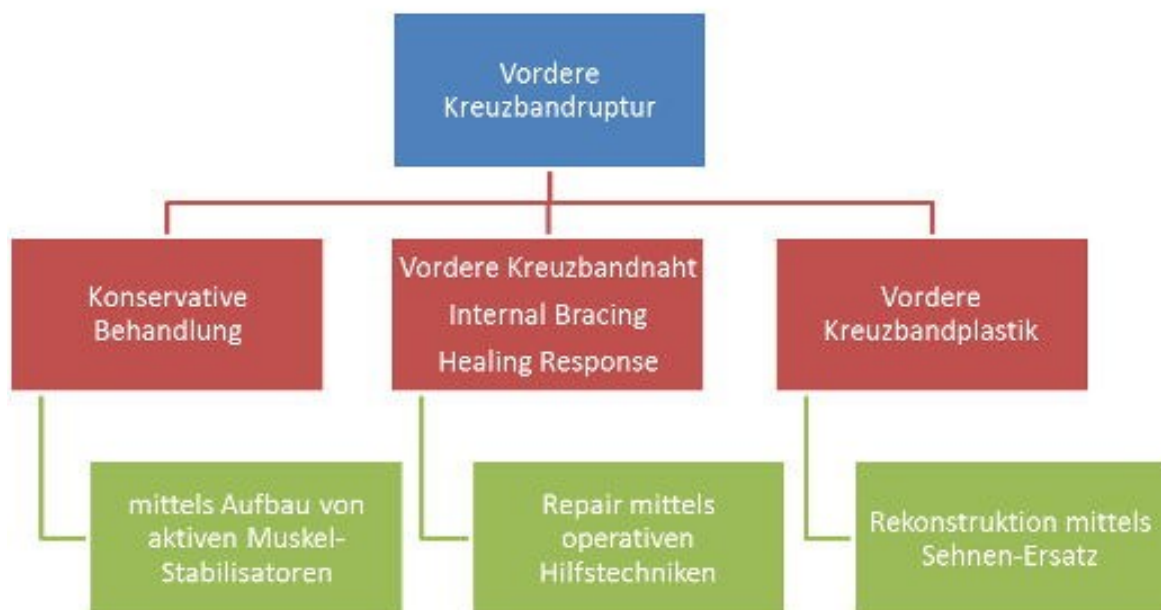


Abbildung 11: Therapieoptionen bei VKB (47)

Die Hauptfunktion des vorderen Kreuzbandes liegt weniger in der mechanischen Stabilisierung als in der Führung des Kniegelenks. Bei Rupturen oder Verletzungen des VKB kommt es vor allem zu einer funktionellen Störung des Roll-Gleit-Mechanismus im Knie. Die bandförmige Verbindung zwischen Ober- und Unterschenkel ist nicht intakt, dadurch können die beteiligten Muskeln das Knie in seiner dynamischen Bewegung weniger stabilisieren oder führen. Zusätzlich zu einem Muskelkraftdefizit, welches durch die posttraumatische Inaktivität bedingt ist, kommt es zu einem Ansteuerungs- und Abstimmungsdefizit (48). Bei Personen die sportlich aktiv sind und bei denen die Kreuzbandruptur eine starke Lebenseinschränkung darstellt,

kann eine chirurgische Therapie ein besseres Outcome liefern. Besteht eine isolierte Ruptur des VKB, ohne andere ligamentäre Beteiligungen und ohne Knorpeldefekte, stellt die konservative Therapie eine Option dar. Wichtig ist dabei auf das berufliche und soziale Umfeld zu achten. Kommt es in der Arbeit zu vermehrt schwenkenden, springenden und rotierenden Bewegungen, kann das Outcome und das Langzeitergebnis einer konservativen Therapie womöglich schlecht sein. Das Alter sowie das Aktivitätsniveau vor dem Unfallereignis ist ebenfalls ein wichtiger Faktor in der Therapiewahl (49) (50).

	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
<b>Initiale Begleitverletzung</b>	Per se OP-Indikation		Per se keine OP-Indikation	Keine Begleitverletzung
<b>Sportart (Innsbruck scale)</b>		High risk pivot	Pivot	Low risk pivot
<b>Zeitlich sportliche Aktivität/Woche</b>		Hoch, Leistungssport (>5 Std.)	Normal (1-5 Std.)	Gering (<1 Std.)
<b>Subjektive Instabilität</b>		ja		nein
<b>Objektive Instabilität</b>			ja	nein
<b>Gelenkstatus</b>			Pathologien vorhanden	unauffällig
<b>Internistische Risikofaktoren</b>			Ja (hoher BMI)	Nein (normaler BMI)
<b>Berufliche Aktivität</b>			Kniebelastend	Nicht Kniebelastend
<b>Compliance</b>			Ja	nein
<b>Punktwert</b>	<b>&gt;9 Punkte OP-Indikation</b> <b>6-8 Punkte Individuelle Gewichtung</b> <b>0-5 Punkte Tendenz konservativ</b>			

Tabelle 5: Indikationswert zur konservativen und operativen Versorgung (51)

## 2.1. Konservative Therapie

Die konservative Therapie der vorderen Kreuzbandruptur stellt eine nicht invasive Therapieoption dar, welche nicht selten gewählt wird (49). Ist die symptomatische Instabilität nach einer durchgemachten konservativen Therapie und nach Wiederaufnahme von Aktivitäten nicht besser geworden, wird zu einem operativen Eingriff geraten, da dies weitere zukünftige Eingriffe aufgrund von Meniskus- und Knorpeldefekten ersparen könnte. Eine Rekonstruktion des VKB erfolgt erst dann, wenn eine völlige Extension des Kniegelenkes möglich ist und Reaktionszeichen der Synovia fast vollständig zurückgebildet sind. Eine Aussage über eine mögliche ausreichend gute konservative Behandlung kann erst zu diesem Zeitpunkt gemacht werden (52).

### 2.1.1. Therapiekonzept

In der ersten Phase der konservativen Therapie ist es wichtig die Patientin/den Patienten auf den Prozess und das Therapiekonzept einzustellen und die nötige Compliance der Patientin/des Patienten zu beachten. Den akuten Entzündungsprozess, mit einhergehender Ausschüttung von Entzündungsmetaboliten, sowie den Schmerz gilt es medikamentös zu behandeln. Diese Prozesse führen dazu, dass eine Beugehaltung gefördert und eine Extensionshaltung gehemmt wird. Einen wichtigen Punkt stellt die frühzeitige Muskelaktivierung dar, da es durch die Immobilisation des M. vastus medialis zu einem Verlust des Umfangs im Muskel von 10-20%, einem Verlust des Querschnitts von 20-30% und einem Kraftverlust von 30-40% kommen kann. Zur Muskelaktivierung und dem Entgegenwirken des Kraftverlustes ist ein sensomotorisches Training Teil der frühen konservativen Therapie. Dadurch wird die Propriozeption als Teil der Sensomotorik, wo Informationen über Bewegungen und Stabilität über kleine Rezeptoren in Muskeln und Gelenken weitergeleitet werden, verbessert. Als Teil der Rehabilitation werden „open-chain-Übungen“, wo die Bewegung über das Kniegelenk läuft und das distale Ende der Extremität nicht fixiert ist (z.B. Beincurls), und „closed-chain-Übungen“, wo das distale Ende fixiert ist (z.B. Kniebeugen), eingesetzt. Eine Hochlagerung und Kühlung des Gelenks kann den Hämarthros und die Schwellung bessern. Eventuelle Kniepunktionen unter sterilen Bedingungen können durchgeführt werden (48) (52) (53). Abschwellende Maßnahmen wie die Kryotherapie oder manuelle Lymphdrainage werden initial nach dem Trauma eingesetzt (51).

In der ersten Phase nach VKB-Ruptur ist mit 80% das „Bone Bruise“ die häufigste Begleitverletzung. Knochenmarksödeme und Mikrofrakturen, welche vor allem am lateralen Kompartiment auftreten, müssen größtenteils ausgeheilt sein bevor die Belastung und die Therapie gesteigert werden. Bei ausgeprägtem Knochenmarksödem in der MRT-Untersuchung werden Stoßbelastungen für mindestens 4 Wochen vermieden (48).

In der Frühphase wird das Knie mit Gehstützen und einer stabilisierenden Orthese, welche keine Bewegungslimitierung darstellen soll, unterstützt. Teilbelastungen finden erst ab der 2. Woche statt. Mit gezieltem Aufbautraining wird erst nach ca. 4 Wochen begonnen.

Gezieltes Kraftausdauertraining mit häufigen Wiederholungen und geringer Intensität verbessert die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung der beteiligten Muskeln und hilft einen Abbau dieser zu verhindern. Neben dem M. quadriceps wird auch die ischiokrurale Muskulatur als Synergist aktiviert, da sie das Kniegelenk stabilisiert und so die Funktion des VKB unterstützt. In der funktionellen Therapie werden Aufklapp- und Rotationsbewegungen vermieden. Eine antiphlogistische und analgetische Begleitmedikation sowie eine individuelle Thromboseprophylaxe wird je nach Bedarf verordnet (38) (54).

#### 2.1.1.1. Verlauf und Komplikationen

Die Abschätzung des Therapieerfolges kann anhand von objektiven und subjektiven Faktoren gestellt werden. Eine klinische und diagnostische Re-Evaluierung findet nach 6 Wochen statt. Danach kann zwischen einer Weiterführung der konservativen oder einem operativen Eingriff entschieden werden. Weitere Kontrolluntersuchungen werden nach 3 Monaten, nach 6 Monaten und danach jährlich geplant (51). Während der Therapie darf nicht vergessen werden, dass die unterschiedlichen Strukturen des Kniegelenks eine bestimmte Zeit brauchen um sich neu zu bilden und sich zu regenerieren. In der unten angeführten Tabelle ist dies veranschaulicht (55).

<b>Matrix</b>	2-9 Tage	<b>Kapsel</b>	300-500 Tage
<b>Kollagen</b>	300-500 Tage	<b>Knorpel</b>	300 Jahre
<b>Knochen</b>	28 Tage	<b>Synovia</b>	14-21 Tage

**Tabelle 6: Regenerationszeit der Strukturen des Kniegelenks (55)**

Als Komplikationen können Gerinnungsstörungen wie Thrombosen oder Embolien durch die Immobilisation entstehen. Bewegungsminderungen und Kräfteinschränkungen, sowie Instabilitäten im Gelenk können bleiben. Meniskusschäden und Knorpelschäden treten bei einem unzureichend verheilten VKB auf. Arthrose und Insertionstendinopathien können als Spätfolgen auftreten (38).

#### 2.1.1.2 Outcome nach konservativer Therapie

Ein definitiver Entscheid über das Outcome und den weiteren Therapieverlauf kann erst nach einer erfolgten konservativen Therapie erfolgen. Wichtig ist eine Re-evaluierung von jeder Patientin/jedem Patienten.

Etwa ein Drittel von primär konservativ therapierten Patientinnen/Patienten, welche vor der VKB-Ruptur sportlich aktiv waren, hatten ein gutes bis sehr gutes Outcome. Sie konnten zu den vorherigen sportlichen Aktivitäten mit reduzierter bis gesteigerter Intensität zurückkehren. Bei etwa zwei Drittel musste ein operativer Eingriff in Aussicht gestellt werden (56).

In einer Gruppe von 2781 aktiven, erwachsenen Personen mit akuten VKB-Rupturen die primär nur eine konservative Therapie erhielten, mussten 32,6% aufgrund von Komplikationen und sekundären Läsionen (Meniskus und Knorpelschäden) am Kniegelenk operiert werden. Bei 26% dieser Gruppe wurde sekundär eine Rekonstruktion des VKB durchgeführt (57).

In einer Gruppe von Patientinnen/Patienten mit einem Alter von 40-80 Jahren, mit dem Durchschnitt von 53 Jahren, konnte ein operatives Vorgehen als bessere Therapieoption festgestellt werden.

Eine höhere Wahrscheinlichkeit für intraoperative und postoperative Komplikationen in dieser Gruppe verringert den erwarteten Wert aber (58).

*Frobell et al.* verglich zwei Gruppen von jungen, aktiven Personen mit einer akuten VKB-Ruptur, wobei die erste Gruppe eine Rehabilitation mit einer frühen operativen Versorgung des VKB, und die zweite Gruppe eine primär konservative Therapie mit der Möglichkeit einer verzögerten operativen Versorgung darstellte. Dabei konnten keine klaren Vorteile der primär chirurgischen Vorgehensweise im Outcome erkannt

werden. Sekundäre Operationen am Meniskus, Arthrose im weiteren Verlauf und funktionelle Scores waren in beiden Gruppen gleich hoch.

Bei einer verzögerten operativen Therapie könnte sogar eine alleinige primär durchgeführte konservative Therapie ein genügend gutes Ergebnis liefern, sodass der operative Eingriff entfallen würde (59).

Bei Kindern und Patientinnen/Patienten die noch kein ausgereiftes Skelettsystem haben, wird von einer alleinigen konservativen Therapie abgeraten, da die Compliance als gering einzustufen ist und Komplikationen im weiteren Verlauf erheblich sein können (60).

*Dhillon K.* beschreibt ein erhöhtes Risiko für eine sekundäre Arthrose nach konservativer Therapie im Vergleich zur operativen Therapie im Follow-up; andererseits konnte auch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Therapieoptionen für die Ausbildung einer Arthrose erkannt werden (61).

## 2.1.2. Khalifa Methode

Die manuelle Khalifa Methode versucht die Funktion des Kniegelenkes nach einer VKB-Ruptur in einem natürlichen Weg wiederherzustellen. Das primäre Ziel ist nicht eine anatomische Wiederherstellung des VKB, sondern eine Funktionelle. Khalifa selbst beschreibt seine Methode als „funktionell-pathologisch“ (62).

Khalifa versucht manuell den Selbstheilungsprozess des Körpers zu stimulieren, indem er in der Amplitude und Stärke sich unterscheidende Drücke auf verschiedene Punkte um und auf das Kniegelenk appliziert. Je nach Patientin/Patient werden diese Punkte als Veränderungen am Körper von der therapierenden Person wahrgenommen und individuell behandelt. Dabei werden alle Segmente, die in Verbindung mit dem verletzten Gelenk stehen (Dermatome, Myotome und Osteome), in einer von der therapierenden Person bestimmten Frequenz therapiert. Die ganze Behandlung dauert in etwa 60 Minuten. Diese Methode wird von Mohamed Khalifa schon 30 Jahre lang praktiziert (63) (64) (65).

### 2.1.2.1. Ergebnisse

Eine randomisierte, multizentrische Studie wurde bei Patientinnen/Patienten mit einer diagnostisch gesicherten VKB-Ruptur an vier österreichischen Krankenhäusern durchgeführt. Einschlusskriterien waren das Alter (zwischen 18 und 45), der BMI (18 bis 28) und eine sportliche Aktivität vor der Verletzung.

Die Studie umfasste 30 Patientinnen/Patienten. 15 Patientinnen/Patienten wurden sechs Wochen mit einer standardisierten konservativen Physiotherapie therapiert, 15 Patientinnen/Patienten erhielten zusätzlich zu der Physiotherapie eine manuelle Khalifa Therapie.

In der nachfolgenden MRT-Untersuchung konnte bei allen 15 Patientinnen/Patienten in der ersten Gruppe, welche nur eine Physiotherapie erhielt, und bei 8 Patientinnen/Patienten der zweiten Gruppe, eine weiterhin bestehende komplette Ruptur des VKB erkannt werden. Bei den restlichen 7 Patientinnen/Patienten der zweiten Gruppe, welche zusätzlich zur Physiotherapie mit der Khalifa Methode behandelt

wurde, konnte eine wiederhergestellte Kontinuität im vorher rupturierten VKB diagnostiziert werden.

Die klinisch-physische Untersuchung zeigte keine Unterschiede zwischen den zwei Gruppen in Bezug auf Bewegungsumfang und Muskelkraft.

Schmerz und allgemeines Wohlbefinden haben sich in der zweiten Gruppe deutlich verbessert. 10 Patientinnen/Patienten der ersten Gruppe (reine Physiotherapie) und 2 Patientinnen/Patienten der zweiten Gruppe (zusätzliche Khalifa Behandlung) würden in naher Zukunft einen operativen Eingriff am VKB erwägen (64).

Nach erfolgter Therapie nach Khalifa konnten an beiden Kniegelenken signifikant erhöhte Temperaturwerte festgestellt werden, mit einer höheren Signifikanz am verletzten Kniegelenk (63).

Eine erhöhte Sauerstoffsättigung im verletzten Kniegelenk im Vergleich zur gesunden Seite konnte nach einer Khalifa Therapie beschrieben werden (66).

## 2.2. Operative Therapie

Mit dem Beginn der operativen Therapie des VKB wurde dieses in offener Technik zusammengenäht. Frei Sehnen-Transplantate wurden mit der Zeit eingeführt, doch entsprachen sie funktionell und anatomisch nicht den Erfordernissen (67).

Die alleinige Naht des VKB ist aufgrund von schlechtem Outcome und den besonderen Erfordernissen, welche mit dieser Methode einhergehen, vermehrt in den Schatten gerückt (67).

Bei dem rekonstruktiven Verfahren des VKB wird das gerissene Band entfernt und mit einem Allograft oder Autograft einer medialen Hamstring-Sehne des M. semitendinosus, M. gracilis oder einer Sehne aus dem mittleren Patelladrittel des Lig. Patellae ersetzt. Auch wenn die Rekonstruktion des VKB als Gold-Standard in der Therapie der symptomatischen VKB-Ruptur gilt, kann die normale Kniefunktion, Kinetik und Kinematik nicht vollständig wiederhergestellt werden. Gründe für dieses Outcome sind meist keine exakte anatomische Insertion der Sehne, ein Verlust der Propriozeption durch den Sehnenersatz, Degeneration der transplantierten Sehne und ein neuromuskuläres Defizit (68) (69) (70).

Die Rekonstruktion erfordert ebenfalls eine Entfernung des Sehnenmaterials aus dem Knie (Autograft), was mit einer Komorbidität wie Gewebsuntergang verbunden sein kann. Ein allogenes Material kann mit Abstossungsreaktionen und anderen Komplikationen verbunden sein.

Eine weitere Frage stellt sich zwischen der Wahl der Ein-Bündel-Technik (Single bundle) und der Doppel-Bündel-Technik (Double bundle). Eine anatomisch bessere Option stellt die Doppel-Bündel-Technik dar (68).

Die operative Therapie des VKB stellt die behandelnden Ärzte oft vor Konflikte. Besonders der Zeitpunkt des operativen Eingriffes und der Rehabilitation sowie die Graftauswahl sind oft Themen der Diskussion (49).

### 2.2.1. Zeitpunkt des Eingriffes

Drei Hauptfaktoren spielen in der zeitlichen Intervention eine Rolle. Eine höhere Inzidenz von Meniskus- und Knorpelschäden, sowie ein Verlust an Muskelkraft welche durch eine verzögerte Intervention auftreten. Ein erhöhtes Auftreten von Arthrofibrose bei verfrühtem operativen Eingriff (49).

Patientinnen/Patienten die initial beim Unfallereignis keine Meniskusschäden hatten und eine verzögerte Therapie erhielten, entwickelten durchschnittlich nach 11 Monaten ohne operativen Eingriff Meniskusschäden in einem Kniegelenk. Meniskusschäden in beiden Kniegelenken wurden in einem durchschnittlichen Zeitraum von 32 Monaten entwickelt (71).

Bei 20% der Patientinnen/Patienten traten initial beim Trauma Knorpelschäden auf. 54% der unbehandelten VKB-Rupturen entwickelten durch einen verzögerten Eingriff im Langzeitverlauf Knorpelschäden (72).

Der Verlust an Muskelkraft kann ebenfalls die Folge eines verzögerten Eingriffes sein und zu schlechten postoperativen Ergebnissen führen. Ein präoperatives Muskelkraftdefizit des M. quadriceps von 20% führte noch zwei Jahre postoperativ zu deutlichen Muskelkraftdefiziten und schlechtem Outcome (73).

80% der Patientinnen/Patienten mit einem verzögerten operativen Eingriff (Durchschnitt 40 Tage) und 53% der Patientinnen/Patienten mit einem frühen operativen Eingriff (Durchschnitt 11 Tage) konnten zwei Monate postoperativ 65% der Muskelkraft des M. quadriceps aufbringen.

Sechs Monate postoperativ konnten 73% der Patientinnen/Patienten mit einem verzögerten operativen Eingriff und 47% der Patientinnen/Patienten mit einem frühen operativen Eingriff 80% der Muskelkraft des M. quadriceps aufbringen (74).

Arthrofibrose stellt einen limitierenden Faktor für einen verfrühten operativen Eingriff dar. Bei einer Studie entwickelten 52% der Patientinnen/Patienten, die in der ersten Woche nach dem Trauma operiert worden sind, einen Grad von Arthrofibrose.

Nur 17% der Patientinnen/Patienten die zwischen dem achten und 21. Tag operiert worden sind, und keine Patientin/kein Patient die/der nach der dritten Woche operiert worden ist entwickelte eine Arthrofibrose (75).

Wird aufgrund der Indikationen für eine frühe Akutoperation des VKB entschieden, erfolgt diese in der Regel innerhalb von 48 Stunden nach dem Unfallhergang um das Arthrofibrose zu minimieren (51).

Besteht bei Patientinnen/Patienten mit offenen Wachstumsfugen eine OP-Indikation, werden besondere Kriterien beachtet. Eine Verwendung von kleinen Bohrkäna len bis zu 8 mm, keine Doppelbündelrekonstruktion, keine Fixation über die Wachstumsfugen und nach Möglichkeit das Verwenden von Hamstring-Sehnen-Grafts (67).

## 2.2.2. Graftauswahl

Die Rekonstruktion des VKB stellt heutzutage den Gold-Standard in der Therapie der VKB-Ruptur dar. Neben der Entscheidung ob ein autologes, körpereigenes Transplantat, oder ein allogenes Transplantat verwendet wird, stellt sich auch die Frage nach der Auswahl der Sehne. Das transplantierte Sehnenmaterial soll strukturell und biomechanisch dem natürlichen VKB ähnlich sein, eine sichere Fixation ermöglichen, sich biologisch schnell anpassen und geringe Morbidität gegenüber dem Empfängergewebe aufweisen. Eine frühe Rehabilitation und Rückkehr zu den Aktivitäten werden angestrebt. Autologe Grafts werden von der ipsilateralen oder kontralateralen Seite entnommen. Allogene Grafts (z.B. von Leichen) können von den selben Entnahmestellen wie Autografts entnommen werden. Das gerissene VKB wird chirurgisch entfernt und durch eine Hamstring-Sehne (M. semitendinosus oder M. gracilis), einem Patellarsehnen-Transplantat (bone-patellar-tendon-bone graft) oder auch einem Quadriceps-Transplantat, mit oder ohne Knochenblock ersetzt.

Synthetische Grafts konnten sich nicht als effektiv erweisen. Die häufigste Ursache für das Versagen von synthetischen Grafts war der Faserabrieb aufgrund von den Biegekräften, höhere Infektionsraten und nicht-anatomische Positionierung (46) (68) (76).

### 2.2.2.1. Rekonstruktionsverfahren

Zur Rekonstruktion des VKB werden meist autologe Transplantate verwendet. Die Transplantate werden in Femur und Tibiakopf verankert. Die Bohrkanäle werden so gesetzt, dass die neue Sehne dem anatomischen Verlauf des VKB entspricht. Die Länge darf sich im vollen Bewegungsumfang von Streckung bis Beugung nicht ändern, damit das Transplantat nicht insuffizient wird. Allgemein werden die Verankerungen des Transplantats an Femur und Tibia gelenksnah, mittels metallischen oder synthetischen Interferenzschrauben, oder mittels gelenksfernen Befestigungsmethoden wie dem Endobutton oder mittels Pins durchgeführt werden.

Eventuelle begleitende Meniskusschäden werden bereits in einer früh-elektiven Arthroskopie behandelt (19) (77).

### Patellarsehnen-Transplantat (bone-patellar-tendon-bone graft)

Beim Patellarsehnen-Transplantat (BPTB) wird aus dem zentralen Drittel der Sehne mit einer Breite von 8-12 mm im Faserverlauf entnommen. Die Knochenblöcke werden aus dem unteren Patellapol und der Tuberositas tibiae entnommen. Die Dicke des Transplantats soll je nach Gewicht und Größe der Patientin/des Patienten bemessen werden. Die Knochenblöcke haben einen Durchmesser von 8-10 mm und eine Länge von etwa 20 mm. Bei der Entnahme wird der Knorpel nicht miterfasst. Die Knochenblöcke werden in die vorgefertigten Tunnel eingeführt und fixiert (19) (76). Der Vorteil des BPTB-Grafts ist die Knochen-zu-Knochen Heilung, welche sich als effektiver als eine Sehnen-zu-Knochen Heilung herausgestellt hat (78). Dichtes Fasergewebe umgibt den Knochenblock 3 Wochen nach Implantation; nach 6 Wochen findet eine komplette Eingliederung statt (79). Einen Monat postoperativ hat das Transplantat intakte Kollagenfasern, ist aber noch komplett azellulär. Drei Monate postoperativ lagern sich Synovialiszellen an und eine Vaskularisierung beginnt. Nach neun Monaten ist der intraartikuläre Teil des Transplantats sehr ähnlich dem natürlichen VKB (80). Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass die Knochenblöcke eine starre, fixe Verbindung darstellen und tägliche Lebensaktivitäten zulassen, während die Sehne sich noch eingliedert.

Eine starre Fixierung des Grafts kann mit Interferenzschrauben oder per Press-fit-Technik durchgeführt werden. Die aktive Rehabilitation kann postoperativ ohne Verzögerungen beginnen. Wichtig zu beachten ist, dass der BPTB-Graft eine fixe Länge hat und genau an die vorgefertigte Tunnellänge anzupassen ist. Wird der Tunnel etwa zu tief der femoralen Notch gesetzt, kann es zu einem Graft-Tunnel-Missverhältnis kommen (76).

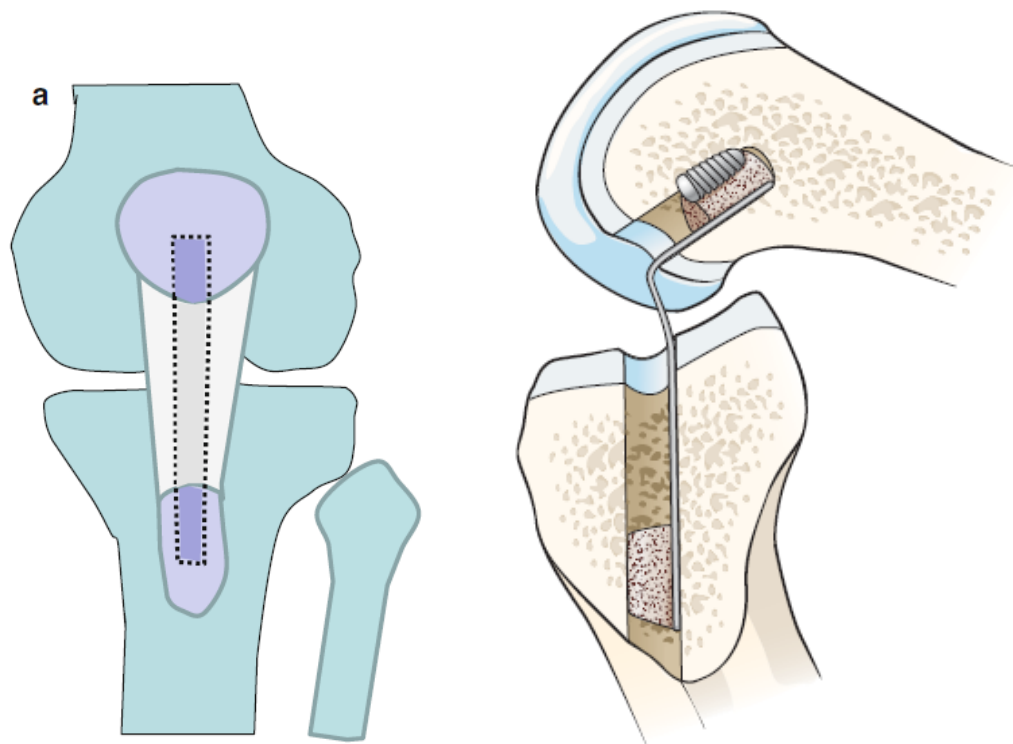
## Ergebnisse

Als Spätfolge kann es an den Transplantatentnahmestellen zu einer Ossifikation kommen, was zu einem Tiefertreten der Patella führen kann (Patella baja) (35). Durch die Entnahmen der Knochenblöcke kann es zu einer Fraktur der Patella kommen. In einem Follow-up von 20 Jahren traten bei 1725 mit einem BPTB-Graft versorgten Patientinnen/Patienten, bei nur 0,2% Komplikationen auf. Diese waren zwei Patellafrakturen und ein postoperativer Riss der Sehne (81).

Diese Komplikation kann dadurch vermieden werden, indem der Knochenblock nicht mehr als die Hälfte der Länge der Patella einnimmt, quere Schnitte gesetzt werden und nicht tiefer als 10mm geschnitten wird.

Knieschmerz in der vorderen Region trifft gehäuft auf. Patientinnen/Patienten die im Alltag kniende Tätigkeiten ausführen, kann zu einem anderen Verfahren geraten werden (76).

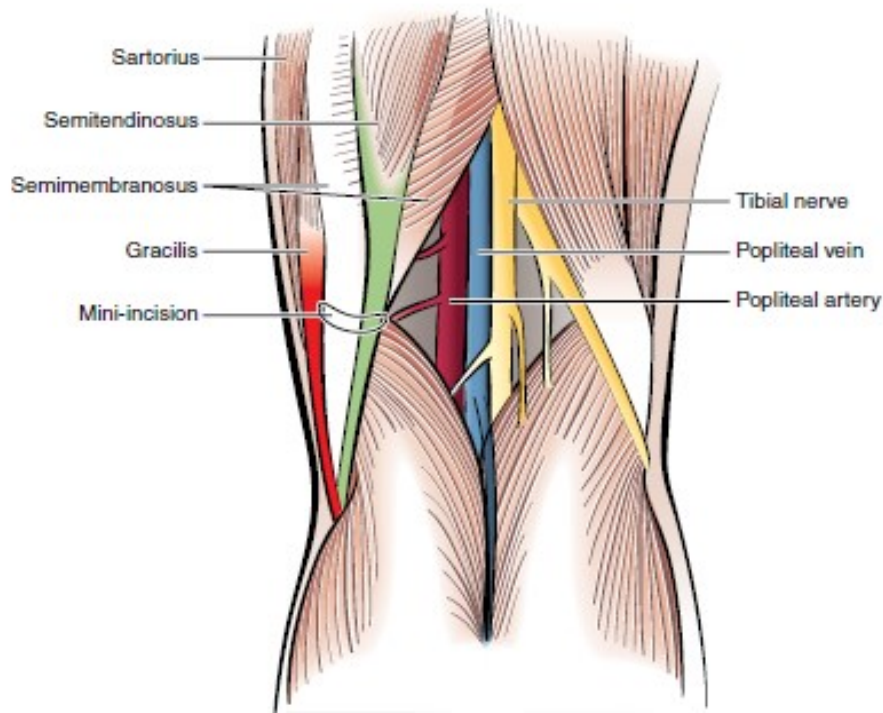
Patientinnen/Patienten bei denen ein Patellarsehnen-Transplantat verwendet wurde, konnte ein Verlust des Extensionsumfanges und ein Verlust der Extensionskraft des Knies nachgewiesen werden (82).



**Abbildung 12: Entnahmestelle für zentrales BPTP-Graft und Platzierung von Interferenzschraube im femoralen Tunnel (25) (46)**

### Hamstring-Transplantat

Die Sehne des M. semitendinosus wird am Pes anserinus dargestellt, mobilisiert und mit einem Stripper entnommen. Ist die Sehne länger als 24 cm, kann sie 4-fach, sonst nur 3-fach gefaltet werden. Die Transplantate aus dem M. semitendinosus und dem M. gracilis können auch getrennt entnommen und dann zu einer Sehne kombiniert werden. Dazu werden sie 4-fach gefaltet und zusammengenäht (Quadruple-Technik). Einige Autorinnen/Autoren beschreiben, dass eine 5- oder 6-fache Faltung die Stärke der Sehne erhöht. Hamstring-Grafts werden vor der Insertion gestreckt, um Ausweitungen in den Sehnen zu entfernen und sie zu festigen. Zuerst wird der femorale Bohrkanal gesetzt, indem die Notch von Bandresten und Periost befreit wird und der Knochen sichtbar wird. Wichtig ist es den isometrisch richtigen Punkt zu treffen und die Notch genügend zu erweitern, um ein Impingement des Transplantats zu verhindern. Der tibiale Insertionspunkt liegt vor dem Faserbündel des HKB. Der tibiale Stumpf wird weitgehend belassen, da er propriozeptive Fasern enthält, die transplantierte Sehne verstärkt und die Einheilung dieser fördert. Für eine gute Einheilung des Transplantats in den Bohrkanälen, wird die Press-fit-Technik angewendet. Wichtig ist, das Transplantat zu gleichen Teilen im tibialen und femoralen Bohrkanal einzuziehen. Um die richtigen Insertionspunkte zu treffen, empfiehlt es sich einen Bildwandler zu verwenden. Wurde die Isometrie getroffen, wird das Transplantat am femoralen Bohrloch mit einem Endobutton versorgt, und distal am tibialen Bohrloch gelenknah oder gelenkfern fixiert. Bei gelenkferner Fixierung muss auf eine mögliche Tunnelerweiterung (tunnel-widening) Acht gegeben werden (14) (19) (76).



**Abbildung 13: Hintere Inzision und Entnahmestelle der Hamstring-Sehnen (46)**

### Ergebnisse

Rekonstruktionen durch Hamstring-Transplantate zeigen ein postoperatives kosmetisch besseres Ergebnis, da kleinere Inzisionen gesetzt werden.

Es konnten gering bessere Ergebnisse im klinischen Outcome im Vergleich zum BPTB-Graft gezeigt werden (83).

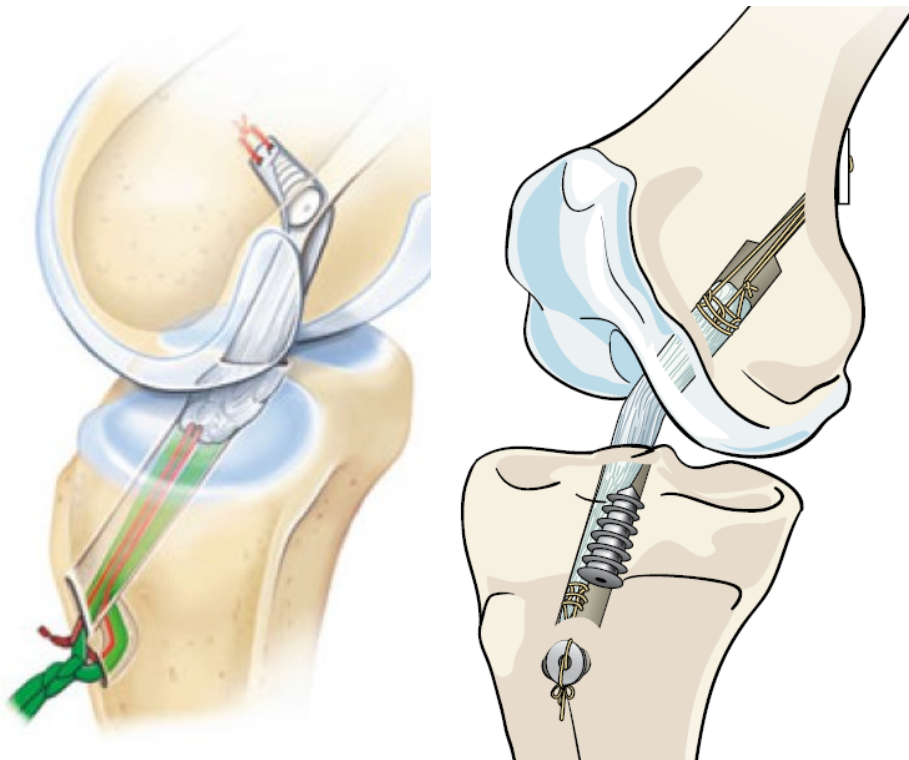
Eine Abschwächung der Innenrotation um 8% und der ischiokruralen Muskulatur, welche als Agonist wirkt, sowie ein häufiger aufgetretenes „Tunnel-widening“ sind Nachteile des Hamstring-Grafts (84).

Im Vergleich zum BPTB-Verfahren, traten bei der Hamstring-Methode in einem 15-Jahres Follow-up weniger Fälle von postoperativer Arthrose auf. Eine Graft-Ruptur trat bei 17% der Hamstring-Patientinnen/Patienten und bei 8% der Patientinnen/Patienten mit Patellarsehnen auf. Diese war assoziiert mit männlichem Geschlecht und nicht idealer Tunnel-Positionierung. Gleichzeitig traten kontralaterale VKB-Rupturen vermehrt bei BPTB- Patientinnen/Patienten (26%) im Vergleich zu Hamstring-Patientinnen/Patienten (12%) auf (85).

Patientinnen/Patienten bei denen ein Hamstring-Transplantat verwendet wurde konnte ein Verlust des Flexionsumfanges und ein Verlust der Flexionskraft des Knies nachgewiesen werden (82).

### Quadriceps-Transplantat

Trotz gutem Outcome in Studien ist das Quadriceps-Transplantat eine eher selten verwendete Alternative der VKB-Rekonstruktion. Diese Methode spielt in der Revisionschirurgie eine vermehrte Rolle. Es kann mit einem Knochenblock, welcher mit einer Länge von 15mm aus der Patella entnommen werden kann und femoral fixiert wird, oder als Soft-tissue-graft, also nur die Sehne, verwendet werden. Mit dem Knochenblock, kann eine Knochen-zu-Knochen Heilung auf einer Seite induziert werden. Studien zeigten, dass die Quadricepssehne länger und dicker als die Patellarsehne ist. Beim Quadriceps-Transplantat wird eine Inzision im proximalen Anteil der Patella gesetzt. Das Graft wird aus dem dickeren medialen Teil der Quadricepssehne entnommen. Die Länge der entnommenen Sehne liegt zwischen 6.5-7 cm, die Tiefe der Entnahme ist nicht mehr als 7mm. Vom proximalen Pol der Patella wird der Stripper entlang der Quadricepssehne geführt. Es wird darauf geachtet, nicht zu tief zu schneiden, da die Kapsel eröffnet werden könnte. Nach Entnahme der Sehne wird mit dem Arthroskop eine ausreichend dicke Restsehne und eine nicht eröffnete Kapsel nachgewiesen. Der distale Anteil der Sehne wird getrimmt, damit sich der Durchschnitt der Sehne nicht unterscheidet. Das Ende mit dem größeren Durchmesser wird femoral verankert. Der Graft wird entsprechend präpariert und die Bohrlöcher gesetzt. Die durchschnittliche Länge der Tunnel liegt zwischen 30-40mm. Der Graft wird, je nachdem ob mit Knochenblock oder ohne, entweder per Endobutton, Interferenzschrauben oder femoral verpresst werden, oder tibial mit einem Faden mittels Pull-press Fixierung verankert werden. (35) (76) (86).



**Abbildung 14: Tibiale Verankerung einer Quadricepssehne mittels Pull-Press Fixierung und Interferenzschraube (35) (46)**

### Ergebnisse

Die große Querschnittsfläche eines Quadriceps-Transplantats bietet ein größeres intraartikuläres Volumen und kann in der Revisionschirurgie des VKB gut genutzt werden, um erweiterte Tunnel zu füllen. Die Quadriceps- und die Patellarsehne sind beide in den biomechanischen Eigenschaften fester und stärker als das natürliche VKB. Ein großer Vorteil ist, dass die Länge des Grafts im Vergleich zu einem BPTB-Graft besser angepasst werden kann, und ein Graft-Tunnel-Missverhältnis weniger wahrscheinlich ist. Die Methode eignet sich gut bei Patientinnen/Patienten mit offenen Wachstumsfugen, da die tibiale Apophyse nicht verletzt wird. Der Einsatz von Quadriceps-Grafts kann zu einer postoperativen Abschwächung der Extensionskraft führen. Nachgewiesen wurde auch ein verstärktes Ungleichgewicht der Quadriceps- und der ischiokruralen Muskulatur beim Einsatz von Hamstring-Sehnen im Vergleich zum Quadriceps-Sehnen, was in der Folge zu einer Instabilität und zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für Bandverletzungen im Kniegelenk führen kann.

Im Vergleich zu Hamstring-Grafts, konnte bei Patientinnen/Patienten mit Quadriceps-Grafts im postoperativ Management eine geringere Anforderung und Verbrauch von Analgetika nachgewiesen werden (76) (87) (88).

Im Vergleich zu BPTB-Grafts konnten in Bezug auf das Versagen des Grafts sowie postoperativen Gelenksinstabilitäten keine deutlichen Unterschiede gefunden werden (89).

Im funktionellen Outcome konnte sich das Quadriceps-Transplantat gleichwertig bis gering besser als das Hamstring-Transplantat erweisen. Die Revisionsrate war minimal höher bei Quadriceps-Transplantaten (90).

#### 2.2.2.2. Autograft vs. Allograft

Als Grafts für die VKB-Rekonstruktion stehen Auto- und Allografts zur Auswahl. Autografts überzeugen durch eine frühere Integration des Gewebes, kaum Transplantatabstoßungen und keiner Übertragung von Krankheiten. Dennoch kann es zu Komplikationen und Verwachsungen an der Entnahmestellen kommen. Allografts werden aus mehreren Körperstellen gewonnen, verkürzen die Operationsdauer und die postoperative Rehabilitation. Die Morbidität, welche sich durch die Entnahme von einem Autograft ergeben kann, wird auch umgangen. Entnahmestellen für Allografts bei Spenderinnen/Spendern sind die Patellasehne, die Achillessehne, die Hamstring-Gruppe, der M. tibialis anterior und posterior, sowie der M. quadriceps. Die Verwendung eines Allografts ist im Vergleich zum Einsatz von einem Autograft mit höheren Kosten verbunden (76) (91).

Allografts können mit geringen und höheren Dosen von Gamma-Strahlung bestrahlt werden, um das Risiko der Übertragung von Erregern und Krankheiten zu minimieren. Höhere Dosen (>30 kGy) konnten bakterielle und virale Pathogene abtöten, doch war dies mit einem schlechteren funktionellen Outcome und einem strukturellen Defizit des Grafts verbunden. Bei Patientinnen/Patienten, die ein bestrahltes Allograft erhielten, nahm das Aktivitätsniveau ab und postoperatives Unwohlsein war vermehrt vorhanden (92) (93).

Es wurde eine 33% Versagensrate von bestrahlten Allografts und eine 2,4% Versagensrate für nicht bestrahlte Allografts festgestellt (94).

Bei besonderen Indikationen können größere Allografts (z.B. Achillessehne) in der Revisionschirurgie, wenn die von der Chirurgin/von dem Chirurgen bevorzugte Stelle zur Entnahme eines Autografts bereits verwendet wurde, dazu verwendet werden, um erweiterte Tunnel zu füllen oder mit einem zusätzlichen Knochenblock zu versorgen. Bei Revisionsoperationen konnten sich Autografts und nicht bestrahlte Allografts als annähernd gleichwertig herausstellen (76) (95).

Die postoperative Laxheit war bei der Verwendung von Autografts deutlich geringer. Der primäre Einsatz von Allografts führte zu einem vermehrten „Tunnel-widening“ (91) (96).

Die postoperative Muskelkraft war bei beiden Gruppen gleich gut, wobei sich der synoviale Überzug bei dem Autograft besser entwickelte (97).

Ein postoperatives Versagen des Transplantats konnte bei 3,5-5% bei Autografts, und bei 8,9-14% bei Allografts, unabhängig ob bestrahlter oder nicht bestrahlter Allograft, beobachtet werden (91).

Bei jungen Patientinnen/Patienten, die mit einem Allograft versorgt wurden, traten Rupturen des Transplantats vier Mal häufiger auf und diese versagten auch häufiger. Ein jüngeres Alter und ein höheres Aktivitätsniveau sind mit einem erhöhten Versagen von einem Allograft assoziiert (98) (99).

### 2.2.3. Single-bundle vs. Double-bundle

Anatomisch gesehen besteht das VKB aus zwei funktionellen Bündeln: dem anteromedialen (AM) und dem posterolateralen (PL) Bündel. Die Namen der Bündel beziehen sich dabei auf die Insertionspunkte am Tibiaplateau. Funktionell spannt sich das anteromediale Bündel bei Flexion und das posterolaterale Bündel ist entspannt. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei Extension im Kniegelenk, das anteromediale Bündel ist entspannt, das posterolaterale Bündel ist gespannt (100) (101).

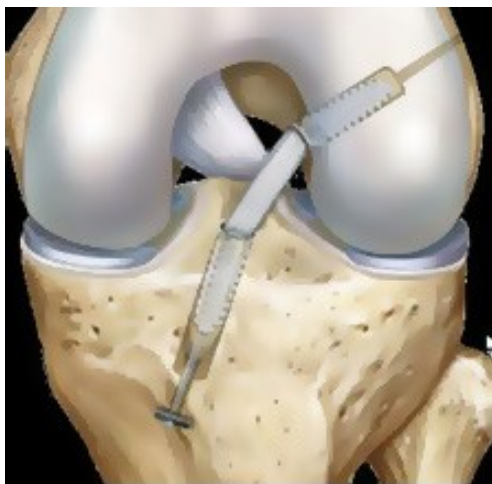
Das AM Bündel entspringt aus der medialen Wand des lateralen Femurkondylus. Das PL Bündel entspringt distaler davon, nahe der knorpeligen Gelenkoberfläche. Das posterolaterale Bündel limitiert eine Rotation der Tibia, das anteromediale Band eine vordere Translation. Die Rekonstruktion eines rupturiertem VKB fokussierte sich anfangs nur auf den anteromedialen Anteil Teil des Bandes. Das Ziel einer VKB-Rekonstruktion ist ein dem gesunden Kreuzband möglichst ähnliches anatomisches und funktionelles Band (101) (102).

Bei der single-bundle-Technik wird ein tibialer und ein femoraler Tunnel platziert. Der femorale Tunnel wird zwischen den Ansatzpunkten des AM und des PL Bündels gesetzt. Auf der tibialen Seite wird der Tunnel ebenfalls zwischen dem Ursprung des AM und des PL Bündels gesetzt. Die Tunnel werden je nach Transplantatdicke stufenweise aufgebohrt. Das Graft wird in der gewünschten Länge zwischen dem femoralen und tibialen Tunnel bei einer Flexion von 15-20° fixiert. Femoral und distal liegt das Transplantat dabei mindestens 18 mm im Knochenkanal, damit die Sehne sicher einwachsen kann (102) (103).

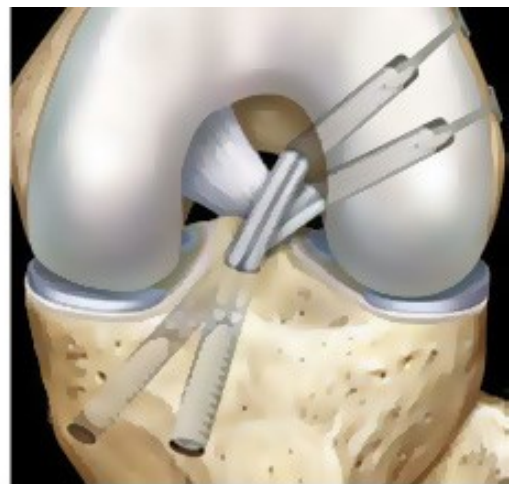
Bei der double-bundle-Technik werden femoral und tibial zwei Tunnel gebohrt. Die Transplantatdicke liegt dabei über 7mm. Zuerst wird auf der femoralen Seite der Ansatz des AM Bündels lokalisiert und in Abhängigkeit dazu der Tunnel des PL Bündel platziert. Das gleiche geschieht auf der tibialen Seite. Wichtig ist, dass beide Tunnel den anatomischen Insertionen des VKB entsprechen.

Die Sehne ist nach der Präparation über 28 cm lang. Sie wird asymmetrisch unterteilt, wobei das PL Bündel etwas kürzer (ca. 12 cm), und das AM Bündel etwas länger (ca. 16 cm) sein ist. Die Sehnen werden dann überschlagen.

Der proximale Sehnenanteil wird aufgrund des dickeren Sehnendurchmessers für das AM Bündel eingesetzt. Die Sehnen werden entsprechend dem Tunnel durchgezogen und positioniert. Es wird zuerst femoral fixiert, danach tibial (104).



Single Bundle



Double Bundle

Abbildung 15: Single-bundle- und Double-bundle-Technik (105)

#### 2.2.3.1. Ergebnisse

Die durchschnittliche OP-Dauer beträgt bei der Doppelbündeltechnik (DB) 102 Minuten, bei der Einzelbündeltechnik (SB) 78 Minuten (97). In einer Studie mit 328 Patientinnen/Patienten unter Verwendung der Hamstring-Sehne, wo eine Gruppe mittels Doppelbündel- und die andere Gruppe mittels Einzelbündeltechnik operiert wurde, konnte im 2-jährigen postoperativen Verlauf bei der DB-Gruppe ein etwas besseres Outcome in Bezug auf die vordere Instabilität und den Pivot shift-Test nachgewiesen werden (106).

Eine bessere Rotationsstabilität konnte bei der DB-Technik nachgewiesen werden, sowie gering bessere IKDC-Scores, welche sich auf postoperative Symptome, Aktivitäten und Kniefunktion beziehen. In anderen klinisch-funktionellen Test konnten keine deutlichen Unterschiede nachgewiesen werden (107) (108). DB Transplantate zeigten geringeres postoperatives Versagen als SB Transplantate (103).

In Bezug auf die postoperative Muskelkraft, konnten in einem 8-jährigen Follow-up keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen erkannt werden. Eine Doppelbündeltechnik wird nur für professionelle Athletinnen/Athleten empfohlen (109).

Nachteile der DB Technik ist eine längere OP-Dauer, eine höhere Komplexität der Operation und höhere Kosten. Ebenfalls sind zwei Tunnel auf der femoralen und der tibialen Seite oft nicht machbar. Bei kleinen Patientinnen/Patienten oder bei Patientinnen/Patienten mit einer schmalen interkondylären Notch kann diese Technik dadurch limitiert sein. Die Verwendung eines dickeren Grafts mit größeren Insertionsstellen kann die Wiederverletzungsrate senken, aber auch das klinische Outcome deutlich mindern (110) (111).

Ist die Gesamtgröße der Insertionsfläche auf der tibialen Seite kleiner als 14 mm, wird eine SB Technik in Betracht gezogen. Kontraindikationen für eine DB Technik sind ebenfalls offene Wachstumsfugen, starkes bone-bruising oder eine zu enge oder zu schmale Notch (<14 mm) (102).

## 2.3. Operative Verfahren mit Erhaltung des VKB

Die primäre operative Versorgung mit Kreuzbänderhalt ist eine in Vergessenheit geratene Methode, welche damals durch schlechte Outcomes und die neuen Methoden der VKB-Rekonstruktion verdrängt wurde. Aktuell kommt das Interesse an solchen Methoden immer mehr auf. Grund dafür sind neue Behandlungsmethoden welche unter Verwendung von biologischer Augmentation und Fixierungstechniken einen primären Kreuzbänderhalt anstreben. Einen Vorteil dieser Techniken bringt der Erhalt der Propriozeption des VKB sowie das Entfallen einer möglichen Morbidität oder Komplikation welche durch das Entnehmen eines Transplantates auftreten kann (112).

Kreuzbänderhaltende Verfahren werden dabei so früh wie möglich angesetzt und durchgeführt. Verzögerte Eingriffe, wie bei rekonstruktiven Verfahren, eignen sich nicht für eine solche Therapie. Innerhalb der ersten drei Wochen nach dem Unfallereignis eignet sich ein kreuzbänderhaltender Eingriff, da das biologische Selbstheilungspotential mit der Zeit deutlich abnimmt und die rupturierten Bandstrukturen sich zurückziehen (113) (114).

Verschieden Faktoren spielen für ein kreuzbänderhaltendes Verfahren eine Rolle. Die Art und die Stelle der Ruptur, die Eigenschaft des Bandes, das Alter der Person, die Compliance sowie das Aktivitätsniveau (115).

Patientinnen/Patienten mit einer Ruptur im proximalen Anteil des VKB und guter Qualität des Bandgewebes zeigten bessere Ergebnisse im postoperativen Verlauf nach kreuzbänderhaltender Operation im Vergleich zu versorgten Rupturen im mittleren oder distalen Abschnitt. Kreuzbänderhaltende Operationen mit proximalen Rupturen sind im Outcome vergleichbar mit rekonstruktiven Verfahren (112) (116).

Besonders bei jungen Patientinnen/Patienten mit einem hohen Aktivitätsniveau führte eine primär kreuzbänderhaltende Operation zu einem schlechterem Outcome und höheren Reoperationsraten im Vergleich zu Patientinnen/Patienten im mittleren oder höheren Lebensalter (117).

In einer Studie konnte sich bei Kindern mit rupturiertem, aber gut erhaltenem VKB die primäre Versorgung des gerissenen Kreuzbandes mit dem internal bracing Verfahren als adäquate Therapieoption erweisen (118).

Eine biologische Augmentation mit verschiedenen Faktoren kann den Heilungsprozess beschleunigen. Thrombozytenreiches Plasma konnte zu einer Ablagerung und verbesserten Reifung der Narbe und führte zu einer vermehrten Ausschüttung von Wachstumsfaktoren im Gelenk. Alle anderen Faktoren waren im Vergleich unverändert oder gleich. Eine Kombination von thrombozytenreichem Plasma und kollagenreicher Extrazellulärer Matrix, welche zusätzlich zum operativen Eingriff zwischen die gerissenen Enden des VKB gespritzt wurde, konnte zu einem gleich guten postoperativen Outcome im 15-wöchigen Follow-up, im Vergleich zur rekonstruktiven Methode, führen. Diese Methode nennt sich *“bridge-enhanced ACL repair”* (BEAR) (119) (120). Mesenchymale Stammzellen (MSC) welche aus dem Knochenmark entnommen werden, sind multipotente Zellen, welche sich zur Zelltherapie sehr gut eignen. Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) fördert die Angiogenese und die bindegewebige Proliferation. Beide Faktoren können sich positiv auf den Heilungsprozess auswirken (121) (122).

Der intraartikuläre Einsatz von Extrazellulärer Matrix (ECM) eignet sich auch zur biologischen Augmentation. Eine verbesserte postoperative Heilung wurde festgestellt. Bei einer biologischen Augmentation mit diesen Faktoren wurde keine Verdickung der Synovialmembran, keine Erhöhung von Leukozyten oder ein Gelenkserguss festgestellt (112) (123). In der postoperativen klinischen Untersuchung und in der MRT-Untersuchung war die BEAR-Methode dem rekonstruktiven Verfahren gleichwertig (124).

Allgemein kann man bei den kreuzbanderhaltenden Verfahren zwischen rigider und dynamischer Versorgung unterscheiden. Zur dynamischen Therapie zählt das Ligamys Verfahren. Eine rigide Methode stellt das das Internal Brace dar (112) (125). Das dynamische Verfahren konnte sich bisher im Vergleich zur rigiden Technik sehr gut in Bezug auf die Kinematik und Funktion des Gelenkes erweisen. Es ist vergleichbar mit der Funktion eines natürlichen, nicht verletzten Kreuzbandes (126).

Der berufliche Ausfall ist nach Verwendung des dynamischen Verfahrens kürzer als bei einem rekonstruktiven Verfahren. Die Kosten für den Eingriff sind annähernd gleich, das dynamische Verfahren jedoch etwas teurerer (127).

Als Alternative zu den rekonstruktiven Verfahren beschrieb Marshall 1979 bereits die primäre Naht des VKB. Er näht dabei Synovialgewebe an das versorgte Band um eine ausreichende Blutversorgung gewährleisten zu können. Das Outcome war allerdings nicht gut (128).

### 2.3.1. Dynamisch intraligamentäre Stabilisation (DIS)

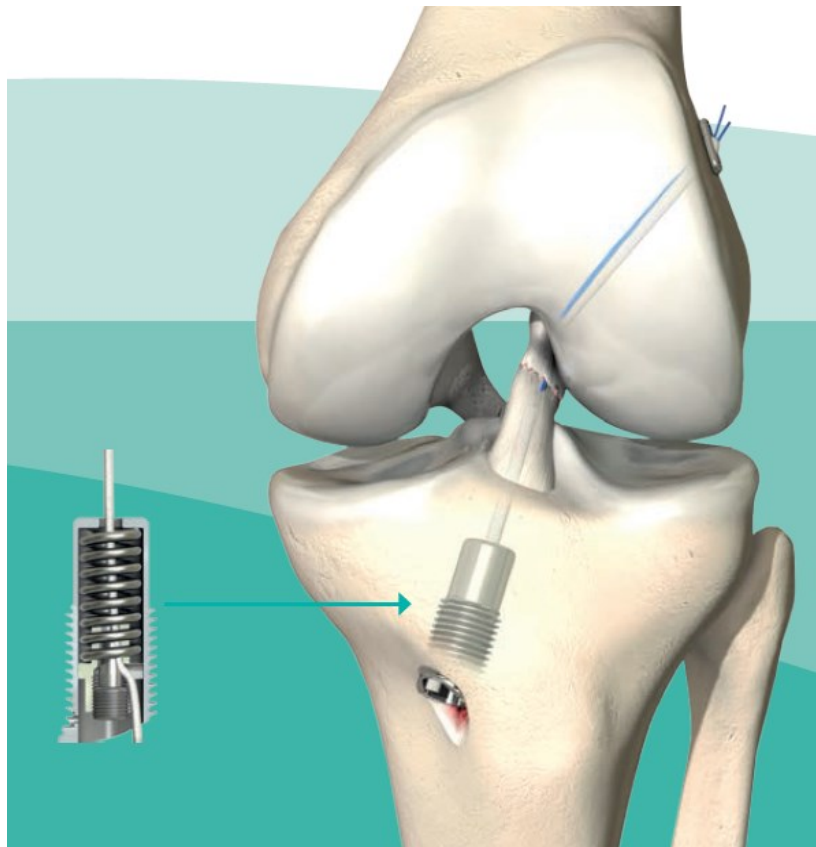
Im Gegensatz zu den rigiden Augmentationstechniken wird bei dynamischen Verfahren die Längenänderung des VKB-Transplantates zwischen Extension und Flexion von etwa 6,7 mm berücksichtigt. Beim dynamischen Verfahren wird das VKB mit einem zusätzlichen Augmentationsfaden versorgt, welcher mit einer Feder verbunden ist. Diese erlaubt einen Bewegungsumfang von 8 mm und kann die angelegte Vorspannung während einer Bewegung konstant halten. Auf das Band wirkende Kräfte werden minimiert und die Kreuzbandstümpfe verbleiben in selber Position zueinander (125) (129).

Das Knie wird in 130° Flexionsstellung gelagert und zwei Inzisionen am antero-lateralen und antero-medialen Portal gesetzt. Das VKB wird danach arthroskopisch evaluiert und mögliche Begleitverletzungen beurteilt. Dann wird der tibiale Stumpf des VKB mit einem oder mehreren resorbierbaren Haltefäden (maximal 5) durchstoßen und der Faden antero-medial nach außen geführt.

Der tibiale Bohrkanal wird in einem 60-65° Winkel direkt hinter den tibialen Stumpf zuerst mit einem Führungsdraht markiert und intraartikulär vorgebracht, anschließend mit einer Länge von etwa 50 mm überbohrt. Der Monoblock mit innenliegender Feder wird über den Führungsdraht einbracht und fixiert. Der Führungsdraht wird danach entfernt und ein „Shuttle-Faden“ über den Monoblock in das Gelenk einbracht und wieder über das antero-mediale Portal herausgeführt. Zu diesem Zeitpunkt kann man die Healing Response Technik angewandt werden. Dabei werden im Bereich der lateralen Notch Mikrofrakturierungen durch Knochenperforationen gesetzt. Diese Methode bewirkt den Austritt von pluripotenten Stammzellen und Wachstumsfaktoren. Von medial wird in 120° Flexionsstellung ein Führungsdraht in den femoralen Anteil des VKB gebracht und am lateralen, distalen Oberschenkel nach außen geführt. Ein Weichteildilatator wird über den Führungsdraht vom Oberschenkel aus bis an den Femur vorgeschoben.

Der Shuttle-Faden und die Haltefäden werden in einer Schlaufe in den Führungsdraht eingefädelt und durch den Femur proximal nach außen gezogen. Ein Augmentationsfaden wird dann über den Shuttle-Faden durch das Gelenk und

den Monoblock tibial nach außen geführt. Durch gleichzeitiges Anziehen an den Haltefäden und distal am Augmentationsfaden, werden die Stümpfe des VKB aneinander geführt. In voller Extension wird der Augmentationsfaden mit einer bestimmten Vorspannung im Monoblock fixiert und die Haltefäden mittels eines Buttons fixiert. Der Shuttle-Faden wird entfernt, die Haltefäden unter dem Hautniveau und der Augmentationsfaden am Monoblock abgetrennt. Postoperativ wird das Bein für 5 Tage mit einer Schiene immobilisiert, kann dabei aber belastet werden. Ab der 4. Woche kann mit einem Krafttraining begonnen werden, aber der 6. Woche Aktivitäten langsam wiederaufgenommen werden. Der Monoblock kann nach 6 Monaten postoperativ entfernt werden (125) (130) (131).



**Abbildung 16: DIS-Verfahren mit Monoblock und Augmentationsfaden (132)**

### 2.3.1.1. Ergebnisse

In einer retrospektiven Studie wurden 45 Patientinnen/Patienten mit einem Durchschnittsalter von 26 Jahren, die mit einem DIS-Verfahren operiert worden sind, untersucht. Die durchschnittliche Rehabilitationszeit betrug 22 Wochen. 18 Patientinnen/Patienten hatten ein Flexionsdefizit von durchschnittlich  $2,4^\circ$ , 17 Patientinnen/Patienten ein Extensionsdefizit von durchschnittlich  $1,92^\circ$ . Die meisten Patientinnen/Patienten beschrieben keinen Schmerz (VAS Skala von 0-3). Eine AP-Translation verglichen zur gesunden Seite war von  $0,0 - \pm 1,6$  mm gegeben. Der durchschnittliche IKDC-Score war bei 89,5. Der präoperative TAS (Tegner Activity Scale) war 7, ein Jahr postoperativ ebenfalls 7. Drei Patientinnen/Patienten mussten innerhalb der ersten 12 Monate aufgrund von Unfallereignissen beim Sport mit rekonstruktiven Verfahren reoperiert werden (133).

Tegner Score (TAS)	7 (Bereich von 4 bis 9)
Schmerz (Vas 0-10)	0 (Bereich von 1 bis 3)
Flexionsdefizit	18/45 (( $2,4^\circ$ (Bereich von 0 bis $15^\circ$ )))
Extensionsdefizit	17/45 (( $1,92^\circ$ (Bereich von 0 bis $5^\circ$ )))
AP-Translation	$0,0 - \pm 1,6$ mm.
IKDC	$89,5 \pm 6,5$

**Tabelle 7: Ergebnisse nach DIS-Verfahren (133)**

In einer Studie konnte sich das volle Volumen des VKB bei 30 von 47 Patientinnen/Patienten wiederherstellen. Etwa die Hälfte der Patientinnen/Patienten hatte eine hypertrophe Narbe als Folge der Wiederherstellung (134). In einer Gruppe von 381 Patientinnen/Patienten trat eine operative Revisionsrate von 7,9% (30 Patientinnen/Patienten) auf (117). Im Vergleich zu rekonstruktiven Verfahren, konnten DIS- Patientinnen/Patienten einen Monat früher zur Arbeit zurückkehren (127).

### **2.3.2. Internal brace ligament augmentation (IBLA)**

Das Internal Brace-System ist ein Konzept, bei dem ein geflochtenes Nahtband und knotenloser Knochenanker zur Stärkung des Ligaments eingesetzt wird. Dadurch soll es als sekundärer Stabilisator nach primärer Versorgung den Heilungsprozess ohne zusätzliche externe Stabilisatoren beschleunigen und Wiederverletzungsraten minimieren.

Vorteil dieses banderhaltenden Verfahren ist der Erhalt der Propriozeption und das Fehlen der Folgen durch Transplantatentnahmen.

Für diese Methode eignen sich proximale Läsionen, welche innerhalb der ersten Wochen versorgt werden (135) (136).

Zuerst macht man eine diagnostische Arthroskopie, indem man die Standardzugänge am antero-lateralen und antero-medialen Portal setzt. Nach der Sicherung der Diagnose und Abklärung der Lokalisation der Ruptur und des Zustandes des VKB, wird tibial ein 2,4 mm breiter Führungsdraht intraartikulär eingebracht. Der Führungsdraht wird in das Zentrum der tibialen Insertionszone des VKB geführt. Dann wird der Führungsdraht entfernt und mit einem 4,5 mm Bohrer überbohrt. Ein Faserstab mit einem Nahtfaden wird durch den gebohrten Kanal und den tibialen Stumpf des VKB geführt und so belassen. Durch das antero-mediale Portal wird ein reißfester Faden (Fiber Wire) in einer Entfernung von etwa 1 cm vom proximalen Stumpf eingeführt und der tibiale Stumpf umstochen und gefestigt. Beide Fäden, welche sich nun intraartikulär befinden, werden aus dem antero-medialen Portal herausgezogen. Nun können Mikrofrakturierungen in einem Durchmesser von etwa 1,5 mm um die femorale Notch gesetzt werden. Dieses Verfahren entspricht der Healing Response Technik. Am lateralen Femur wird der Tractus bis zum Knochen mobilisiert, um danach einen kleinen Tunnel vom lateralen Femur bis in das Zentrum des proximalen Stumpfes bohren zu können. Mit einem Draht werden nun beide Fäden am antero-medialen Portal eingefädelt und durch das Gelenk und den femoralen Tunnel durchgezogen. Nun wird vom tibialen Tunnel aus ein 2,5 mm breites Fiber-Tape durch das Gelenk und den femoralen Tunnel gezogen und am lateralen Femur durch einen Button fixiert. Dieses Fiber-Tape dient zur Schienung des VKB und soll ein komplikationsloses Verheilen der Stümpfe in genauer Länge ermöglichen.

Etwa 1 cm distal vom tibialen Bohrloch in Höhe des Pes anserinus wird ein 2 cm tiefes Bohrloch gesetzt und das Fiber-Tape mit der Swive Lock-Technik fixiert. Das Fiber-Tape wird in Streckstellung des Kniegelenkes gespannt (137) (136) (138).



**Abbildung 17: Internal Brace-Technik (139)**

#### 2.3.2.1. Ergebnisse

In einem 28-monatigen Follow-up versagten 15% der mit dem IBLA-Verfahren durchgeführten Refixationen postoperativ und mussten reoperiert werden. Bei 86% der Studiengruppe wurde in der MRT-Untersuchung ein homogenes, anatomisch richtig positioniertes VKB diagnostiziert (116).

In einer Gruppe von 27 Patientinnen/Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 34 Jahren konnten in einem 1-jährigen Follow-up ähnlich gute Ergebnisse in Bezug auf Funktion und Stabilität des Kniegelenkes erzielt werden, wie im Vergleich zu traditionellen rekonstruktiven Verfahren. Bei 4 Patientinnen/Patienten musste aufgrund von Begleitverletzung oder Symptomen ein weiterer Eingriff durchgeführt werden (140).

### 3. Kostenvergleich

Der Riss des VKB stellt die häufigste, klinisch relevante Verletzung des Kniegelenks dar. Besonders in den letzten Jahren ist die Inzidenz von VKB-Rupturen vor allem bei jüngeren Personen gestiegen. Die Therapie des rupturierten VKB ist eine individuelle Entscheidung welche von der operierenden Person je nach Geschlecht, Alter, Zustand und Aktivität der Patientin/des Patienten getroffen wird. Abhängig davon stellt sich die Frage ob ein konservatives Vorgehen oder eine der chirurgischen Methoden gewählt wird. Die Anzahl an operativen Eingriffen hat sich im Verhältnis zum konservativen Vorgehen deutlich erhöht. Ebenfalls steigt die Anzahl von ambulanten Eingriffen immer mehr. Die Wirksamkeit von Behandlungen und die damit verbundenen Kosten für das Gesundheitswesen spielen in der heutigen Zeit eine Rolle. Bei der Therapiewahl bei VKB-Rupturen wird eine adäquate Kosten-Nutzen-Analyse nicht außer Acht gelassen (111) (141). In Deutschland werden jährlich etwa 30.000 VKB-Rekonstruktionen durchgeführt. Die Kosten dafür belaufen sich auf etwa 113,3 Millionen Euro.

Darüber hinaus führen VKB-Rupturen zu indirekten Kosten wie persönlichen Einkommensverlusten oder postoperativen Therapien und Rehabilitation (142).

Für die Kosten-Nutzen-Analyse wird der QALY-Wert (quality-adjusted life year) hinzugezogen, welcher ein wichtiger Faktor in der Gesundheitsökonomie und Effektivität der Behandlung ist. Vergleicht man in einem 3-jährigen Verlauf das DIS-Verfahren mit einem rekonstruktiven Verfahren, so kommt man beim DIS-Verfahren auf durchschnittliche Behandlungskosten von 5398 € und bei einem rekonstruktiven Verfahren auf durchschnittlich 4632 €. Die DIS-Methode ist mit einem QALY-Wert von 2,34 im Vergleich zur rekonstruktiven Methode mit einem QALY-Wert von 2,26 etwas höher. Die schnellere Rückkehr zur Arbeit beim DIS-Verfahren im Vergleich zu den rekonstruktiven Verfahren (31 zu 65 Tagen) spricht für das DIS-Verfahren. Alter und Geschlecht wurden bei dieser Studie nicht in Betracht gezogen (127).

Vergleicht man die Einzelbündeltechnik (SB) mit der Doppelbündeltechnik (DB) 2 Jahre postoperativ sind die durchschnittlichen Kosten für die DB-Technik bei 4813 € und für die SB-Technik bei 4430 €. Die höheren Kosten für die DB-Technik belaufen sich auf eine längere OP-Dauer und höhere Materialkosten.

Es gab kaum einen Unterschied bezogen auf den QALY-Wert für die beiden Gruppen (1,43 zu 1,44) (111).

*Mather et al.* zeigte in einem 2-jährigen postoperativen Follow-Up, welches in den USA durchgeführt wurde, dass der primär operative Eingriff im Vergleich zur verzögerten konservativen Therapie mit Option eines chirurgischen Eingriffes ein besseres Konzept bezogen auf die Kosten-Nutzen-Analyse darstellt. Die Gesamtkosten für die primär operative Therapie waren durchschnittlich bei 19883 \$ und für die primär konservative Therapie mit optionalem chirurgischen Eingriff bei 21454 \$. Der QALY-Wert war für die primär operative Gruppe besser. Für 78% der Patientinnen/Patienten aus dieser Gruppe stellte die primär operative Therapie ein besseres Kosten-Nutzen-Konzept dar (143).

*Stewart et al.* konnte in einem 6-jährigen Follow-Up in den USA nachweisen, dass für kompetitive Athletinnen/Athleten die rekonstruktive Methode im Vergleich zur nicht-operativen Therapie einen deutlichen Vorteil darstellt und höheren QALY-Wert mit sich bringt (4,675).

In dem 6-jährigen Verlauf beliefen sich die Gesamtkosten für die Behandlung für die operative Methode bei 20298 \$ und für die rein konservative Methode bei 11853 \$ (144).

## 4. Diskussion

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist eines der am meisten behandelten Themen der Orthopädie und Traumatologie. Aufgrund der Menge an Methoden und aktuellen Studien, ist es schwierig geworden auf dem aktuellen Stand zu bleiben.

Die Diplomarbeit versucht diese Lücke zu schließen, einen Überblick über bewährte Therapieformen zu geben und einen Augenmerk auf neue Verfahren zu legen.

Das vordere Kreuzband spielt eine zentrale Rolle für die Kniestabilität, Propriozeption und Schutz der inneren Kniestrukturen. Eine Ruptur des VKB führt meist zu subjektiv wahrnehmbaren Instabilitäten im Gelenk, zu Schmerzen und einem Funktionsverlust mit Einschränkungen in den täglichen Aktivitäten. Das Risiko für sekundäre Meniskus- oder Knorpelverletzung ist bei unbehandelten Rupturen sehr hoch. Chronische Instabilitäten und eine frühe Gelenksarthrose sind oft typische Folgen.

Die meisten Studien zur Ruptur des vorderen Kreuzbandes versuchen oft zwanghaft die Frage nach einer konservativen oder operativen Therapie zu beantworten. Die Komplexität der verschiedenen Verletzungsmuster, die Individualität und die Erwartungen der Patientin/des Patienten erschweren die Beantwortung dieser Frage ungemein.

Da eine große Gruppe mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes jung und aktiv ist, stellt die primäre Therapieoption für diese Gruppe eine operative Wiederherstellung dar. Ebenso sind vermehrt auch ältere Patientinnen/Patienten mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes nicht bereit ihre täglichen Aktivitäten zu reduzieren und streben eine rasche und adäquate Therapie an.

Für die meisten Patientinnen/Patienten steht als Synonym für eine erfolgreiche Therapie die schnelle und komplikationslose Rückkehr zu gewohnten Aktivitäten. Das und der Fakt der steigenden Anzahl an VKB-Operationen stellt Ärztinnen/Ärzte vor Herausforderungen.

Nur etwa 50 % der behandelten Patientinnen/Patienten, welche vor der Verletzung auf einem hohen sportlichen Niveau aktiv waren, konnten nach einer operativen Therapie zu dem gleichen Aktivitätslevel zurückkehren (25).

Neben der Entscheidung zwischen einem operativen oder konservativen Vorgehen stellt sich die Frage zwischen Interferenz gegenüber kortikaler Fixation, Knochen-Patella Sehnen-Knochen versus Hamstring oder Quadriceps-Graft, Auto- versus Allograft, frühzeitige oder verzögerter Eingriff, single- versus doppel-Bündel oder sogar ein operatives Verfahren mit Erhaltung des VKB.

Eine konservative Therapie stellt vor allem für ältere Patientinnen/Patienten und sportlich inaktiven Patientinnen/Patienten eine mögliche Therapieoption dar. Dabei spielt die Compliance der Patientin/des Patienten eine tragende Rolle. Bei einem nicht zufriedenstellenden Ergebnis nach einer konservativen Therapie steht die Option zu operativen Methoden immer noch offen.

Etwa ein Drittel der primär konservativ therapierten Patientinnen/Patienten, welche vor der VKB-Ruptur sportlich aktiv waren, hat durch eine alleinige konservative Therapie ein gutes bis sehr gutes Outcome. Sie konnten zu den vorherigen sportlichen Aktivitäten mit reduzierter bis gesteigerter Intensität zurückkehren.

Bei etwa zwei Drittel der Patientinnen/Patienten wurde aufgrund von nicht zufriedenstellenden Ergebnissen ein operativer Eingriff in Aussicht gestellt (56).

*Dunn et al.* beschreibt, dass 32,6% der Patientinnen/Patienten aufgrund von Komplikationen und sekundären Schäden nach einer konservativen Therapie einem operativen Verfahren unterzogen wurden (57).

Die Khalifa-Methode, welche vor etwa 30 Jahren eingeführt wurde und vor allem im deutschsprachigen Raum verbreitet ist, versucht den Selbstheilungsprozess des Körpers zu stimulieren. Ergebnisse dieser Methode zeigten, dass bei einigen Patientinnen/Patienten eine wiederhergestellte Kontinuität im vorher rupturierten VKB erkannt werden konnte und das Outcome im Vergleich zur konventionellen konservativen Therapie besser war (64).

Aufgrund von fehlender Evidenz ist diese Methode aber eher kritisch anzusehen.

Wird ein operatives Verfahren angegangen, so stellt sich die Frage ob Allo- oder Autograft. Dabei zeigten Autografts bessere Resultate in Bezug auf die postoperative Laxheit und das postoperative Versagen des Transplantats.

Für jüngere Patientinnen/Patienten mit einem höheren Aktivitätsniveau stellt das Autograft eine bessere Option dar. In der Revisionschirurgie sind Allografts eine adäquate Alternative.

Zwei Bündel des vorderen Kreuzbandes wurden erstmalig 1938 von *Palmer et al.*, gefolgt von *Abbott et al.* 1944, und *Girgis et al.* 1975 beschrieben. Jeder Autor beschrieb ein anteromediales (AM) Bündel und ein posterolaterales (PL) Bündel.

Die Doppelbündeltechnik ist zeitaufwändiger und komplexer als die Einzelbündeltechnik und erhöht die Operationszeit um etwa ein Drittel. Allgemein verdoppeln sich die Implantatkosten, weil zwei femorale und zwei tibiale Implantate in den meisten Fällen benötigt werden. Im Outcome erweist sich die Doppelbündeltechnik in den analysierten Studien in Bezug auf den postoperativen IKDC-Score und die Stabilität im Gelenk als besser (107) (108).

Uneinigkeiten bestehen auch in der Verwendung des Grafts. Typische Methoden sind das Patellarsehen-Transplantat und das Hamstring-Graft.

Frühere Studien zeigten klare Vor- und Nachteile für die beiden Verfahren, aktuelle Studien zeigen jedoch vergleichbare Ergebnisse (46).

Weisen Hamstring-Grafts weniger Fälle von postoperativer Arthrose auf, treten im Vergleich zum Patellarsehen-Transplantat häufiger Graft-Rupturen auf (85).

Das Quadriceps-Transplantat stellt seit etwa 25 Jahren eine weitere rekonstruktive Option dar. Es spielt eine vermehrte Rolle in der Revisionschirurgie, da es in seinen biomechanischen Eigenschaften fester als das natürliche vordere Kreuzband ist. Besonders bei offenen Wachstumsfugen kann diese Methode angewandt werden, da die tibiale Apophyse nicht verletzt wird.

In Bezug auf den funktionellen Outcome konnten keine deutlichen Unterschiede zu den Verfahren gefunden werden. Die Revisionsraten waren beim Quadriceps-Transplantat jedoch gering höher (89) (90).

Bereits Marshall beschrieb 1979 die alleinige primäre Naht des VKB, welche aber zu dieser Zeit schlechte Ergebnisse lieferte (128).

Einen klaren Vorteil bringen aber das Erhalten der Propriozeption des vorderen Kreuzbandes sowie das Entfallen einer möglichen Morbidität oder Komplikation, welche durch das Entnehmen eines Transplantates auftreten kann. In Kombination mit einer biologischer Augmentation erwiesen sich diese Verfahren bei einer Ruptur im proximalen Anteil des VKB und guter Qualität des Bandgewebes in jedem Fall vergleichbar mit den aktuellen rekonstruktiven Verfahren (112).

Die recherchierten Studien stellen in Aussicht, dass dynamische Verfahren mit Erhaltung des VKB (z.B. das Ligamys-Verfahren) besser sein sollen, trotzdem diese als kontrovers betrachtet werden müssen. Da bis dato noch verhältnismäßig wenig Literatur und Studien zu den neuen operativen Verfahren mit Erhaltung des VKB vorliegen, bleiben diese in Erwartung.

## **4.1. Schlussfolgerung**

Aufgrund der Ergebnisse der recherchierten Literatur sind die neuen, kreuzbanderhaltenden Verfahren in Kombination mit der Healing Response Technik vielversprechende Methoden, welche eine tragende Rolle in der Zukunft der operativen Therapie des VKB tragen. Langzeitergebnisse stehen zurzeit noch aus. Die Ergebnisse der bewährten rekonstruktiven Methoden weisen diese zurzeit als Gold-Standard der operativen Therapie dar. Je nach Zustand des Kniegelenks, Erwartungen, Aktivitätsniveau, Alter und Nebendiagnosen empfiehlt sich ein der Patientin/dem Patienten am besten entsprechendes Therapiekonzept. Eine standardisierte konservative Therapie eignet sich bei bestimmten Gruppen durchaus als eine zufriedenstellende Option.

## Literaturverzeichnis:

1. Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM, Tibbitts R. Gray's Anatomie für Studenten. 1. Auflage. Urban & Fischer; 2007. 1128 p.
2. J. Fanghänel F, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 17. Auflage. de Gruyter; 2003. 1334 p.
3. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G. Duale Reihe Anatomie. 3rd ed. Stuttgart: Thieme; 2014. 1332 p.
4. Platzer W. Taschenatlas der Anatomie. 8. Auflage. Vol. 1. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2003.
5. Drenckhahn D, Benninghoff A. Anatomie. Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie, Bd. 1. 16th ed. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; 2002. 968 p.
6. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus - Lernatlas der Anatomie. 3. Auflage. Vol. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Georg Thieme Verlag; 2011. 607 p.
7. Putz R, Pabst R. Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen. 21. Auflage. Vol. 2. Urban & Fischer; 2000. 405 p.
8. Zilles K, Tillmann BN. Anatomie. 2010th ed. Heidelberg: Springer; 2010. 1022 p.
9. Schiebler TH, Korf H-W. Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie. 10th ed. Heidelberg: Steinkopff; 2007. 916 p.
10. Dauber W, Feneis H. Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie. Stuttgart; New York: Thieme, Stuttgart; 2005.
11. Breusch S, Clarius M, Mau H, Sabo D. Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie. 8. Auflage. Urban & Fischer; 2017. 908 p.
12. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. 6. Auflage. Thieme; 2009. 655 p.
13. Burri C, Beck H, Ecke H, Jungbluth KH, Kuner EH, Pannike A, et al. Unfallchirurgie. 3rd ed. Berlin u.a.: Springer; 1982. 400 p.
14. Grifka J, Kuster M. Orthopädie und Unfallchirurgie. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. 1109 p.
15. Ma B, Zieve D, Isla O. Anterior cruciate ligament (ACL) injury. 2016 Apr.
16. Strobel M, Stedtfeld H-W, Eichhorn H-J, Brug E. Diagnostik des Kniegelenkes. 3. Auflage. Springer; 2013. 523 p.
17. Müller W, Morscher E. Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. Berlin; New York: Springer; 1982. 354 p.

18. Rössler H, Rüter W. Orthopädie und Unfallchirurgie. 19th ed. München: Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; 2005. 448 p.
19. Weigel B, Nerlich ML. Praxisbuch Unfallchirurgie. 2nd ed. Springer; 2011. 1238 p.
20. Teller P, König H, Weber U, Hertel P. MRT-Atlas Orthopädie und Unfallchirurgie: Kniegelenk. 1.Auflage. Springer; 2014. 308 p.
21. Schabus R, Bosina E. Das Knie: Diagnostik – Therapie – Rehabilitation. Wien ; New York: Springer; 2007. 164 p.
22. Imhoff AB, Baumgartner R, Linke RD. Checkliste Orthopädie. 1.-3. Auflage. Georg Thieme Verlag; 2006. 609 p.
23. Ficklscherer A. Basics Orthopädie und Traumatologie. 2. Auflage. Urban & Fischer; 2008. 131 p.
24. Fanelli GC. The Multiple Ligament Injured Knee. Springer-Verlag; 2004. 292 p.
25. Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Practical Surgical Guide. Springer; 2014. 496 p.
26. Mutschler W-E, Kohn D, Pohlemann T, Wirth CJ. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. 3rd ed. Stuttgart; New York, NY: Thieme; 2013. 1144 p.
27. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T, Garrett W, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. Br J Sports Med. 2008 Jun 1;42(6):394–412.
28. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The Long-term Consequence of Anterior Cruciate Ligament and Meniscus Injuries. Am J Sports Med. 2007 Oktober;35(10):1756–69.
29. Vavken P, Murray MM. Translational Studies in Anterior Cruciate Ligament Repair. Tissue Eng Part B Rev. 2010 Feb 1;16(1):5–11.
30. Scheipl S, Rásky É. Gender-Unterschiede in der Orthopädie ... bis an die Knochen. Eine Einführung. 1. Auflage. facultas.wuv; 2012. 376 p.
31. Pfeiffer RP, Shea KG, Roberts D, Grandstrand S, Bond L. Lack of Effect of a Knee Ligament Injury Prevention Program on the Incidence of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. J Bone Jt Surg Am. 2006 Aug 1;88(8):1769–74.
32. Wirth CJ, Jäger M, Bauer R, Becker HM, Birnbaum K. Praxis der Orthopädie, 2 Bde., Bd.2, Operative Orthopädie. 3., vollst. neubearb. Aufl. Thieme, Georg, Verlag KG; 2001. 668 p.
33. Leiers S. Aussagekraft der klinischen und kernspintomographischen Diagnostik beim traumatischen Hämarthros des Kniegelenks. Justus-Liebig-Universität Gießen; 2000.
34. Müller W. Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. Springer-Verlag; 2013. 370 p.
35. Jagodzinski M, Friederich NF, Müller W. Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. 2. Auflage. Springer-Verlag; 2016. 215 p.

36. Blauth W, Helm C. Vordere Kreuzbandrupturen - ein diagnostisches Problem? Unfallchirurg. 1988;35:358–65.
37. Zantop T, Bauer G, Buchner M, Ellermann A. Diagnostik von VKB-Läsionen. GOTS-Expert Vorderes Kreuzband. 2010;33–52.
38. Lobenhoffer P. S1-Leitlinie 012/005: Vordere Kreuzbandruptur. 2014.
39. Krämer J, Grifka J. Orthopädie, Unfallchirurgie: Unfallchirurgische Bearbeitung von Heinrich Kleinert und Wolfram Teske. 8th ed. Heidelberg: Springer; 2007. 357 p.
40. Butler D, Noyes F, Grood E. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. - PubMed - NCBI. J Bone Jt Surg Am 1980 Mar622259-70. 1980;
41. Zacher J. Klinische Untersuchung des Kniegelenks. Orthop Unfallchirurgie Up2date 1. 2006;(1):33–56.
42. Lam M-H, Fong DT, Yung PS, Ho EP, Chan W-Y, Chan K-M. Knee stability assessment on anterior cruciate ligament injury: Clinical and biomechanical approaches. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT. 2009 Aug 27;1:20.
43. Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Sterett WI, Hawkins RJ. Relationships between objective assessment of ligament stability and subjective assessment of symptoms and function after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 2004 May;32(3):629–34.
44. Ng WHA, Griffith JF, Hung EHY, Paunipagar B, Law BKY, Yung PSH. Imaging of the anterior cruciate ligament. World J Orthop. 2011 Aug 18;2(8):75–84.
45. Araujo P, Eck CF van, Torabi M, Fu FH. How to optimize the use of MRI in anatomic ACL reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2013 Jul;21(7):1495.
46. Prodromos C, Brown C, Fu FH, Georgoulis AD, Gobbi A, Howell SM, et al. The Anterior Cruciate Ligament: Reconstruction and Basic Science. Saunders; 2007. 672 p.
47. Glunk K. Kreuzbandriss heilen statt entfernen: Ist Internal Bracing OP besser? Knie Marathon. 2016;
48. Gröger A, Mang A, Burgkart R, Gradinger R. Zusammenfassung: Individuelles und funktionsabhängiges Therapiekonzept nach vorderer Kreuzbandruptur. 2010;
49. Howell SM, Paschos N. Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment. - PubMed - NCBI. 2017 Mar;398–408.
50. Gear M. ACL\_non-operative\_managment.pdf. South Shore Hosp Orthop. :10.
51. Bauer G, Buchner M, Schmitt H, Engelhardt M. Vorderes Kreuzband OP-Indikation. GOTS-Expert Vorderes Kreuzband. :53–8.
52. Meuffels D, Poldervaart M, Diercks R. Guideline on anterior cruciate ligament injury. 2012;
53. Häggmark T, Eriksson E. Cylinder or mobile cast brace after knee ligament surgery. A clinical analysis and morphologic and enzymatic studies of changes in the quadriceps muscle. Am J Sports Med. 1979;7(1):48–56.

54. Krejci S, Singer T. Therapie Kreuzbandriss. 2005. 47 p. (Verletzungen des Bewegungsapparates).
55. Benekendorff C. Ist eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit konservativen Behandlungsmöglichkeiten zu kompensieren? [Hannover]; 2003.
56. Strehl A, Eggli S. The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). *J Trauma*. 2007 May;62(5):1159–62.
57. Dunn WR, Lyman S, Lincoln AE, Amoroso PJ, Wickiewicz T, Marx RG. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on the risk of knee reinjury. *Am J Sports Med*. 2004;32(8):1906–14.
58. Seng K, Appleby D, Lubowitz JH. Operative versus nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture in patients aged 40 years or older: an expected-value decision analysis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2008 Aug;24(8):914–20.
59. Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander LS. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *N Engl J Med*. 2010 Jul 22;363(4):331–42.
60. Vavken P, Murray MM. Treating Anterior Cruciate Ligament Tears in Skeletally Immature Patients. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2011 May 1;27(5):704–16.
61. Dhillon K. “Doc’ do I need an anterior cruciate ligament reconstruction? What happens if I do not reconstruct the cruciate ligament?” *Malays Orthop J*. 2015;9(1):47–52.
62. Niederführ G. Torn Ligaments? A Slipped Disc? Operations No Longer Necessary! 2002. 165 p.
63. Litscher G, Ofner M, Litscher D. Manual Khalifa Therapy in Patients with Completely Ruptured Anterior Cruciate Ligament in the Knee: First Preliminary Results from Thermal Imaging. *North Am J Med Sci*. 2013;5(8):473–9.
64. Ofner M, Kastner A, Wallenboeck E. Manual khalifa therapy improves functional and morphological outcome of patients with anterior cruciate ligament rupture in the knee: a randomized ... - PubMed - NCBI. 2014;8.
65. Ofner ME. Die Khalifa – Therapie: Eine komplementäre Methode bei rupturierten Kreuzbändern. [Graz]: Medizinischen Universität Graz; 2009.
66. Litscher G, Ofner M, Litscher D. Manual Khalifa Therapy in Patients with Completely Ruptured Anterior Cruciate Ligament in the Knee: First Results from Near-Infrared Spectroscopy. *North Am J Med Sci*. 2013;5(5):320–4.
67. Eichhorn H-J, Birkner. Aktuelle Trends zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *SFA Arthrosc Aktuell*. 2009;(19).
68. Kiapour AM, Murray MM. Basic science of anterior cruciate ligament injury and repair. *Bone Jt Res*. 2014;3(2):20–31.
69. Hoshino Y, Fu FH, Irrgang JJ, Tashman S. Can joint contact dynamics be restored by anterior cruciate ligament reconstruction? *Clin Orthop*. 2013 Sep;471(9):2924–31.

70. Kartus J, Magnusson L, Stener S, Brandsson S, Eriksson BI, Karlsson J. Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A 2-5-year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1999;7(1):2–8.
71. Tayton E, Verma R, Higgins B, Gosal H. A correlation of time with meniscal tears in anterior cruciate ligament deficiency: stratifying the risk of surgical delay. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2009;17(1):30–4.
72. Indelicato PA, Bittar ES. A perspective of lesions associated with ACL insufficiency of the knee. A review of 100 cases. *Clin Orthop*. 1985 Sep;(198):77–80.
73. Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction | *British Journal of Sports Medicine*. *Br J Sports Med*. 2009;
74. Shelbourne KD, Foulk DA. Timing of Surgery in Acute Anterior Cruciate Ligament Tears on the Return of Quadriceps Muscle Strength After Reconstruction Using an Autogenous Patellar Tendon Graft. *Am J Sports Med*. 1995 Nov 1;23(6):686–9.
75. Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M. Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction: The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. *Am J Sports Med*. 1991 Jul 1;19(4):332–6.
76. Mall NA, Van Thiel GS, Bedi A, Cole BJ. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Rush Univ Med Cent Univ Mich Rockford Orthop Assoc*. 2017;16.
77. Wülker N, Kluba T, Rehart S, Reize P, Roetman B. *Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005. 564 p.
78. Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Yamazaki S, Tohyama H. Comparisons of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-bone graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2001 May;17(5):461–76.
79. Papageorgiou CD, Ma CB, Abramowitch SD, Clineff TD, Woo SL-Y. A Multidisciplinary Study of the Healing of an Intraarticular Anterior Cruciate Ligament Graft in a Goat Model. *Am J Sports Med*. 2001;29(5):620–6.
80. Panni AS, Milano G, Lucania L, Fabbriciani C. Graft healing after anterior cruciate ligament reconstruction in rabbits. *Clin Orthop*. (343):203–12.
81. H Lee G, McCulloch P, J Cole B, Bush-Joseph C, Bach B. The Incidence of Acute Patellar Tendon Harvest Complications for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2008 Mar 1;24:162–6.
82. Mohtadi NG, Chan DS, Dainty KN, Whelan DB. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011 Sep 7;(9):CD005960.

83. Wipfler B, Donner S, Zechmann CM, Springer J, Siebold R, Paessler HH. Anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon: a prospective comparative study with 9-year follow-up. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2011 May;27(5):653–65.
84. Sobau C, Zimmerer A, Schopf W, Ellermann A. Vordere Kreuzbandruptur- wann ist eine konservative Therapie möglich, wann eine Operation notwendig. *Dtsch Ärzteverlag*. 2017;374–9.
85. Leys T, Salmon L, Waller A, Linklater J, Pinczewski L. Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med*. 2012 Mar;40(3):595–605.
86. Slone HS, Ashford WB, Xerogeanes JW. Minimally Invasive Quadriceps Tendon Harvest and Graft Preparation for All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2016 Sep 19;5(5):e1049–56.
87. Fischer F, Fink C, Herbst E. Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps tendon compared to hamstring tendon graft following ACL reconstruction. 2017;1–8.
88. Buescu C, Onutu A, Lucaciu. Pain level after ACL reconstruction: A comparative study between free quadriceps tendon and hamstring tendons autografts. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2017 Mar 1;51(2):100–3.
89. Riaz O, Agil A, Mannan. Quadriceps Tendon-Bone or Patellar Tendon-Bone Autografts When Reconstructing the Anterior Cruciate Ligament: A Meta-analysis. *Clin J Sport Med*. 2017;
90. Cavaignac E, Coulin B, Tscholl P, Nik Mohd Fathmy N. Is Quadriceps Tendon Autograft a Better Choice Than Hamstring Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Comparative Study With a M... - PubMed - NCBI. 2017;45(6):1326–32.
91. Kan S-L, Yuan Z-F, Ning G-Z, Yang B, Li H-L, Sun J-C, et al. Autograft versus allograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(38).
92. Balsly CR, Cotter AT, Williams LA, Gaskins BD, Moore MA, Wolfenbarger L. Effect of low dose and moderate dose gamma irradiation on the mechanical properties of bone and soft tissue allografts. *Cell Tissue Bank*. 2008 Dec;9(4):289–98.
93. Sun K, Tian S, Zhang J, Xia C, Zhang C, Yu T. Anterior cruciate ligament reconstruction with BPTB autograft, irradiated versus non-irradiated allograft: a prospective randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2009 May;17(5):464–74.
94. Rappé M, Horodyski M, Meister K, Indelicato PA. Nonirradiated versus irradiated Achilles allograft: in vivo failure comparison. *Am J Sports Med*. 2007 Oct;35(10):1653–8.
95. Grassi A, Nitri M, Moulton SG, Marcheggiani Muccioli GM, Bondi A, Romagnoli M, et al. Does the type of graft affect the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction? *Bone Amp Jt J*. 2017 May 31;99–B(6):714.
96. Jia Y-H, Sun P-F. Comparison of Clinical Outcome of Autograft and Allograft Reconstruction for Anterior Cruciate Ligament Tears. *Chin Med J (Engl)*. 2015 Dec;128(23):3163–6.

97. Yoo S-H, Song E-K, Shin Y-R, Kim S-K, Seon J-K. Comparison of clinical outcomes and second-look arthroscopic findings after ACL reconstruction using a hamstring autograft or a tibialis allograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2017 Apr;25(4):1290–7.
98. Kaeding CC, Aros B, Pedroza A, Pifel E, Amendola A, Andrish JT, et al. Allograft Versus Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Predictors of Failure From a MOON Prospective Longitudinal Cohort. *Sports Health*. 2011 Jan;3(1):73–81.
99. van Eck CF, Schkrohwsky JG, Working ZM, Irrgang JJ, Fu FH. Prospective analysis of failure rate and predictors of failure after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with allograft. *Am J Sports Med*. 2012;40(4):800–7.
100. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br*. 1991 Mar;73(2):260–7.
101. Gobbi A, Mahajan V, Karnatzikos G, Nakamura N. Single- versus Double-bundle ACL Reconstruction: Is There Any Difference in Stability and Function at 3-year Followup? *Clin Orthop*. 2012 Mar;470(3):824–34.
102. Muller B, Hofbauer M, Wongcharoenwatana J, Fu FH. Indications and contraindications for double-bundle ACL reconstruction. *Int Orthop*. 2013;37(2):239–46.
103. Li X, Xu C, Song J, Jiang N, Yu B. Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an up-to-date meta-analysis. *Int Orthop*. 2013;37(2):213–26.
104. Zantop T, Petersen W. Anatomische Doppelbündelrekonstruktion mit autologer Semitendinosussehne. *Arthrosc* 2013. 2013;21–34.
105. Mohd K. Single-bundle vs. Double-bundle ACL Surgery. 2017.
106. Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T. Prospective Clinical Comparisons of Anatomic Double-Bundle versus Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Procedures in 328 Consecutive Patients. *Am J Sports Med*. 2008 Sep 1;36(9):1675–87.
107. Hussein M, van Eck C, Cretnik A, Dinevski D. Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2012;
108. Chahla J, Moatshe G, Cinque M, Dornan G, Mitchell J, Ridley T. Single-Bundle and Double-Bundle Posterior Cruciate Ligament Reconstructions: A Systematic Review and Meta-analysis of 441 Patients at a Minimum 2 Years' Follow-up. *Arthrosc* 2017. 2017;
109. Beyaz S, Güler Ü, Demir S, Yüksel S, Cinar B, Özkoc G. Tunnel widening after single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized 8-year follow-up study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017. 2017;
110. Bliss JP. Anterior Cruciate Ligament Injury, Reconstruction, and the Optimization of Outcome. *Indian J Orthop*. 2017;51(5):606.
111. Sernert N, Hansson E. Similar cost-utility for double- and single-bundle techniques in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017 Sep;1–14.

112. Eck CF van, Limpisvasti O, ElAttrache NS. Is There a Role for Internal Bracing and Repair of the Anterior Cruciate Ligament? A Systematic Literature Review. *Am J Sports Med.* 2017;
113. Herbst E, Hoser C, Gföller P, Hepperger C, Abermann E, Neumayer K, et al. Impact of surgical timing on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2017 Feb;25(2):569–77.
114. Magarian EM, Fleming BC, Harrison SL, Mastrangelo AN, Badger GJ, Murray MM. Delay of 2 or 6 Weeks Adversely Affects the Functional Outcome of Augmented Primary Repair of the Porcine Anterior Cruciate Ligament. *Am J Sports Med.* 2010;
115. DiFelice GS, Villegas C, Taylor S. Anterior Cruciate Ligament Preservation: Early Results of a Novel Arthroscopic Technique for Suture Anchor Primary Anterior Cruciate Ligament Repair. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2015;31(11):2162–71.
116. Achtnich A, Herbst E, Forkel P, Metzclaff S, Sprenger F, Imhoff AB, et al. Acute Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: Outcomes After Arthroscopic Suture Anchor Repair Versus Anatomic Single-Bundle Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2016 Dec;32(12):2562–9.
117. Henle P, Bieri KS, Brand M, Aghayev E, Bettfuehr J, Haeberli J, et al. Patient and surgical characteristics that affect revision risk in dynamic intraligamentary stabilization of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2017 May 18;
118. Smith JO, Yasen SK, Palmer HC, Lord BR, Britton EM, Wilson AJ. Paediatric ACL repair reinforced with temporary internal bracing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2016 Jun;24(6):1845–51.
119. Perrone GS, Proffen BL, Kiapour AM, Sieker JT, Fleming BC, Murray MM. Bench-to-bedside: Bridge-enhanced anterior cruciate ligament repair. *J Orthop Res.*
120. Vavken P, Fleming BC, Mastrangelo AN, Machan JT, Murray MM. Biomechanical Outcomes After Bioenhanced Anterior Cruciate Ligament Repair and Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Are Equal in a Porcine Model. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* 2012 May 1;28(5):672–80.
121. Di Matteo B, Loibl M, Andriolo L, Filardo G, Zellner J, Koch M, et al. Biologic agents for anterior cruciate ligament healing: A systematic review. *World J Orthop.* 2016 Sep 18;7(9):592–603.
122. Setiawati R, Utomo DN, Rantam FA, Ifran NN, Budhiparama NC. Early Graft Tunnel Healing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Intratunnel Injection of Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells and Vascular Endothelial Growth Factor. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(6).
123. Magarian EM, Vavken P, Connolly SA, Mastrangelo AN, Murray MM. Safety of Intra-Articular Use of Atelocollagen for Enhanced Tissue Repair. *Open Orthop J.* 2012;6(1).
124. Murray MM, Flutie BM, Kalish LA, Ecklund K, Fleming BC, Proffen BL, et al. The Bridge-Enhanced Anterior Cruciate Ligament Repair (BEAR) Procedure. *Orthop J Sports Med.* 2016 Nov 21;4(11).

125. Schliemann B, Herbort M, Lenschow S, Raschke MJ, Kösters C. Dynamische intraligamentäre Stabilisierung frischer Rupturen des vorderen Kreuzbandes (Ligamys). *Trauma Berufskrankh.* 2016 Feb 1;18(3):254–9.
126. Schliemann B, Lenschow S, Domnick C, Herbort M, Häberli J, Schulze M, et al. Knee joint kinematics after dynamic intraligamentary stabilization: cadaveric study on a novel anterior cruciate ligament repair technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2017 Apr;25(4):1184–90.
127. Bierbaum M, Schöffski O, Schliemann B, Kösters C. Cost-utility analysis of dynamic intraligamentary stabilization versus early reconstruction after rupture of the anterior cruciate ligament. *Health Econ Rev.* 2017 Feb 6;7.
128. Marshall JL, Warren RF, Wickiewicz TL. Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament lesions. *Am J Sports Med.* 1982 Apr;10(2):103–7.
129. Lubowitz JH. Anatomic ACL reconstruction produces greater graft length change during knee range-of-motion than transtibial technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2014;22(5):1190–5.
130. Steadman JR, Matheny LM, Briggs KK, Rodkey WG, Carreira DS. Outcomes following healing response in older, active patients: a primary anterior cruciate ligament repair technique. *J Knee Surg.* 2012 Jul;25(3):255–60.
131. Mathys AG. Ligamys Operationstechnik. *Sporthopaedics.* 2016;30.
132. Mathys AG. Ligamys Erhalt des frisch gerissenen Kreuzbandes. *Sporthopaedics.* 2017;16.
133. Büchler L, Regli D, Evangelopoulos DS, Bieri K, Ahmad SS, Krismer A, et al. Functional recovery following primary ACL repair with dynamic intraligamentary stabilization. *The Knee.* 2016;23(3):549–53.
134. Ateschrang A, Ahmad SS, Stöckle U, Schroeter S, Schenk W, Ahrend MD. Recovery of ACL function after dynamic intraligamentary stabilization is resultant to restoration of ACL integrity and scar tissue formation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2017;
135. Hoehmann C. Anterior Cruciate Ligament Injury: A Consideration for Internal Brace Ligament Augmentation. *ECronicon Orthop.* 2017 Mar 1;5:147–9.
136. Wilson W, P Hopper G, A Byrne P, M MacKay G. Anterior Cruciate Ligament Repair with Internal Brace Ligament Augmentation. *Surg Technol Int.* 2016 Oct;XXIX.
137. Arthrex GmbH. ACL Primary Repair with Internal Brace™. 2016;5.
138. Barthofer J. ACL Erhalt, Internal Bracing, Stimulationstechniken, Lftla (ALL) Repair und andere Mythen. *GOTS-Expert Vorderes Kreuzband.* 2016;
139. Hirschmann M. Alternative zur Rekonstruktion- Naht des vorderen Kreuzbandes für welche Patienten sinnvoll? *Med Sports Netw.* 2014;
140. MacKay Iain C Anthony G. Anterior Cruciate Ligament Repair Revisited. Preliminary Results of Primary Repair with Internal Brace Ligament Augmentation: A Case Series. *Orthop Muscular Syst.* 2015 Jan 1;04.

141. Mall NA, Chalmers PN, Moric M, Tanaka MJ, Cole BJ, Bernard R. Bach J, et al. Incidence and Trends of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the United States. *Am J Sports Med.* 2014 Aug;
142. Riordan EA, Frobell RB, Roemer FW, Hunter DJ. The Health and Structural Consequences of Acute Knee Injuries Involving Rupture of the Anterior Cruciate Ligament. *Rheum Dis Clin N Am.* 2013 Feb;39(1):107–22.
143. Richard C. Mather, Hettrich CM, Dunn WR, Cole BJ, Bernard R. Bach J, Huston LJ, et al. Cost-Effectiveness Analysis of Early Reconstruction Versus Rehabilitation and Delayed Reconstruction for Anterior Cruciate Ligament Tears. *Am J Sports Med.* 2014 May;42(7):1583.
144. Stewart BA, Momaya AM, Silverstein MD, Lintner D. The Cost-Effectiveness of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Competitive Athletes. *Am J Sports Med.* 2016 Sep;