

Diplomarbeit

**Beurteilung des tibialen und femoralen Ansatzes bzw.
Ursprungs des hinteren Kreuzbandes (HKB) durch ein
objektives Koordinatensystem.**

eingereicht von

Stefan Manfred Christoph Biber

Geb.Dat.: 07.04.1976

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie
Graz**

unter der Anleitung von

PD Dr. Patrick Sadoghi

Dr. Manuel Dreu

Dr. Stephan Grechenig

Graz, 4. Juni 2014

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, 4. Juni 2014

.....
(Stefan Biber)

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit habe ich in meinem Text auf die getrennte Anführung der männlichen und weiblichen Formen verzichtet. Ich möchte hier darauf hinweisen, daß, wenn nicht anders angegeben, immer beide Geschlechter gemeint sind.

Danksagung

An dieser Stelle gilt mein Dank all jenen, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn PD Dr. Patrick Sadoghi der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ebenso herzlich danke ich Herrn Herrn Dr. Manuel Dreu und Dr. Stephan Grechenig.

Insbesondere danke ich Herrn Prof. Dr. Leithner für die Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten.

Vor allem danke ich meinen Eltern, die mir das Medizinstudium und damit diese Arbeit erst ermöglichten. Ebenso will ich meinen Freunden danken, die mich während des Studiums unterstützt haben.

Abkürzungsverzeichnis

ACL	Anterior Cruciate Ligament
bzgl.	bezüglich
ca.	circa
bzw.	beziehungsweise
dh.	das heißt
HKB	hinteres Kreuzband
lat.	lateinisch
LCF	Ligamentum collaterale fibulare
LCT	Ligamentum collaterale tibiale
lig.	Ligamentum
ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
MR(T)	Magnetresonanztomograph(ie)
N.	Nervus
n.	nach
NSAR	nicht steroidale Antirheumatika
PCL	Posterior Cruciate Ligament
R.	Ramus = Ast
Rr.	Rami = Äste
sog.	sogenannt(e)
VKB	vorderes Kreuzband
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach

Abbildungsverzeichnis

1	Oberschenkelknochen (Femur)	4
2	Kniescheibe (Patella)	4
3	Schien- und Wadenbein (Tibia und Fibula)	4
4	seitliche Ansicht des Knies	6
5	Schienbeinplateau mit Menisci	7
6	Kapselgrenze seitlich	9
7	Kapselgrenze von hinten	10
8	Kniegelenk von hinten	12
9	Kniegelenk von vorne	12
10	Kniegelenk von schräg vorne	13
11	Arterien des Kniegelenks	16
12	KT-1000 Arthrometer	26
13	MRT des Kniegelenks in seitlicher Aufnahme . .	27
14	vordere Kreuzbandplastik	29
15	Patella-Tendon-Bone-Graft	30
16	Hamstring-Transplantat-Herstellung	31
17	Hamstring-Transplantat	32
18	Tibial-Inlay-Technik	34
19	Anatomische Aufbereitung der Kniegelenke . . .	36
20	Präpariertes Tibiaplateau	37

21	Präpariertes Femur in 45° Außenrotation	37
22	Koordinatensystem Tibia	38
23	Koordinatensystem Femur	39

Tabellenverzeichnis

- 1 Tabelle 1: Ergebnisse tibialer und femoraler Ansatz 41

Inhaltsverzeichnis

I	Abstract	1
1	Deutsch	1
2	English	2
II	Allgemeiner Teil	3
3	Einleitung	3
4	Anatomie	3
4.1	Knöcherne Strukturen	3
4.2	Gelenke	5
4.3	Gelenkkapsel	8
4.4	Bandapparat	10
4.4.1	Bänder außerhalb des Gelenks	10
4.4.2	Bandsicherung innerhalb des Gelenkes	11
4.5	Muskulatur	14
4.6	Kniegelenksfunktion	15
4.7	Arterien	16
4.8	Venen	17
4.9	Nerven	17
5	Pathologie	19
5.1	Kniegelenkserkrankungen	19

6 Diagnostik	25
6.1 Klinische Diagnostik	25
6.1.1 Schubladentest	25
6.1.2 Lachman-Test	25
6.1.3 Pivot-Shift-Test	26
6.1.4 KT 1000 Arthrometer	26
6.2 Bildgebende Diagnostik	27
6.2.1 Röntgenbild	27
6.2.2 Magnetresonanztomographie	27
6.3 Diagnostische Arthroskopie	27
7 Therapie der Ruptur des Bandapparates	28
7.1 Konservative Behandlung	28
7.2 Healing-Response-Technik	28
7.3 Operative Behandlung	29
7.3.1 Vorderes Kreuzband	29
7.3.2 Hinteres Kreuzband	33
III Spezieller Teil	35
8 Einleitung	35
9 Material und Methodik	36
9.1 Vorbereitung der Kniegelenke	36
9.2 Konstruktion und Validierung des Koordinatensystems	38
9.3 Statistische Analyse	39

10 Ergebnisse	41
11 Diskussion	42
11.1 Grenzen und Benefit der Studie	42
11.2 Schlußfolgerung	42
11.3 Klinische Relevanz	42
12 Literaturverzeichnis	43

Teil I

Abstract

1 Deutsch

Kurzfassung

Fragestellung: Das Ziel dieser Studie war die Evaluierung des tibialen und femoralen Ansatzes des hinteren Kreuzbandes

Methoden: Der tibiale und femorale Ansatz wurde an 64 von Leichen stammenden Kniegelenken, die nach Thiel konserviert wurden, analysiert. Vierundsechzig femora und tibiae wurden unter standardisierten Bedingungen fotografiert und hinsichtlich der Basis des hinteren Kreuzbandes (PCL) auf einem Koordinatensystem ausgemessen.

Ergebnisse: Die Bilder und die tibialen sowie femoralen Messungen konnten in allen Fällen gemacht werden. Desweiteren identifizierten wir den durchschnittlichen tibialen Wert als $T(4.8/1.4)$ und den durchschnittlichen femoralen Wert als $F(1.8/6.4)$

Schlußfolgerungen: Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Bemessung des hinteren Kreuzbandes durch die beschriebene Technik möglich, gültig und reproduzierbar ist und wir hoffen, daß dadurch zukünftig KollegInnen bei der anatomischen Ausrichtung ihrer Transplantate geholfen werden kann.

2 English

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the tibial and femoral insertion site of the posterior cruciate ligament (PCL) using an objective coordinate system.

Methods: The tibial and femoral insertion site of the PCL was analysed on 64 human cadaver knee joints preserved according to the technique by Thiel. Sixty-four femora and tibiae were photographed under standardised methods and measured on a coordinate system with respect to the PCL's footprint.

Results: The photographs and tibial and femoral measurements could be taken in all cases. Further, we identified the mean tibial value as T (4.8/1.4) and the mean femoral value as F (1.8/6.4).

Conclusions: Our findings demonstrate, that the measurement of the posterior cruciate ligament using the described technique is possible, valid, and reproducible and we hope in the future this will be helpful for our colleagues to bring their grafts anatomically correct in line.

Teil II

Allgemeiner Teil

3 Einleitung

4 Anatomie

Das Kniegelenk (lat. *Articulatio genus*) ist das größte Gelenk des Menschen und seine Biomechanik in hohem Maße anspruchsvoll.[1] Es handelt sich dabei um ein sog. Getriebe-
gelenk, d.h. eine Sonderform eines Drehscharniergelenks (*Trochogynglimus*).[2, 1]

Die knöchernen Gelenkspartner bilden dabei der Oberschenkelknochen (*Femur*), die Kniescheibe (*Patella*) und der Schienbeinkopf (*Tibia*).[3, 1]

Das Kniegelenk setzt sich aus zwei Einzelgelenken zusammen: das Kniescheibengelenk, welches zwischen *Femur* und *Patella* liegt und das eigentliche Kniegelenk, das sich zwischen *Femur* und *Tibia* befindet.[3, 1] Das Schienbein-Wadenbein-Gelenk ist anatomisch gesehen Bestandteil des Kniegelenkes. Posterior vom Kniegelenk befindet sich die Kniekehle. In ihrer Tiefe verlaufen wichtige Blutgefäße, Nerven und Lymphbahnen.[3, 1]

4.1 Knöcherne Strukturen

Die Gelenkfläche eines jeden Gelenks ist mit einer Schicht aus sogenanntem hyalinem Knorpel überzogen. Seine Aufgabe besteht darin, eine schmerzfreie und reibungsarme Bewegung im Gelenk zu ermöglichen. Um die Gleitfähigkeit des Knorpels noch zu erhöhen, wird dieser von der Gelenkflüssigkeit, der *Synovia* benetzt. [3, 4]

Femur

Der Oberschenkelknochen verbreitert sich nach distal und geht am Kniegelenk in zwei, den äußeren (= *Condylus femoris lateralis*) und den inneren (= *Condylus femoris medialis*) Gelenkknorren über.[3, 4] Dazwischen liegt an deren Hinterseite die *Fossa intercondylaris*. [3, 1] Auf der Vorderseite des Oberschenkelknochens befindet sich am Übergang der mit einer Knorpelschicht überzogenen Gelenkknorren, die *Facies patellae*, die als Gleitlager für die Kniescheibe (= *Patella*) dient.[3, 1] Der innere Gelenkknorren besitzt zwar eine sog. Rotationskrümmung ist aber einheitlich breit im Gegensatz zum

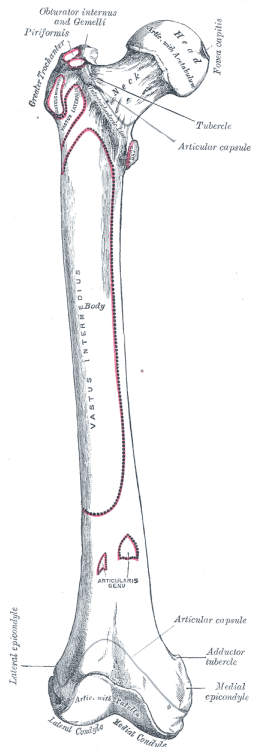


Abbildung 1: Dieses Bild zeigt den rechten Oberschenkelknochen (Femur) von vorne[5]

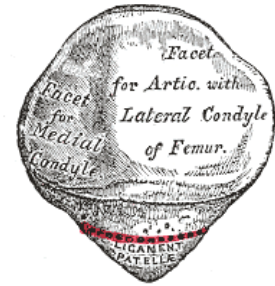


Abbildung 2: Dieses Bild zeigt die rechte Knie- scheibe (Patella) von hinten[6]

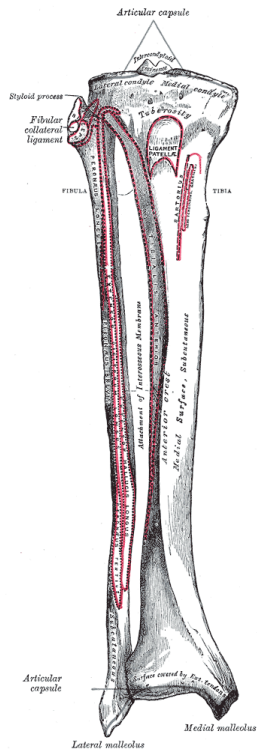


Abbildung 3: Dieses Bild zeigt das rechte Schien- und Waden- bein von vorne[7]

äußeren Kondylus dessen Breite von hinten nach vorne zunimmt.[3, 1] Im Sagitalschnitt zeigt sich eine Verkürzung der Krümmungsradien von ventral nach dorsal. Durch diese Tatsache wird es möglich, daß die Kollateralbänder erschlaffen und Rotationsbewegungen des Unterschenkels möglich werden.[3, 1]

Tibia

Der Schienbeinkopf (=Caput tibiae) läuft ebenfalls in zwei mit Knorpel überzogenen Gelenkknorren aus, dem außen liegenden Condylus tibiae lateralis und dem innen liegenden Condylus tibiae medialis. Dazwischen ragt die Eminentia intercondylaris auf, die sich in das Tuberculum intercondylare mediale und das Tuberculum intercondylare laterale unterteilt.[3, 1] Das sogenannte Schienbeinplateau wird von den Facies articulares tibiae und der Eminentia intercondylaris gebildet und ist um 3-7° gegenüber der Horizontale nach hinten geneigt.[3, 4]

Patella

Die dreieckige und an ihrer Vorderfläche etwas nach außen gewölbte Kniescheibe ist das größte Sesambein des Menschen und in die Sehne des Musculus quadriceps femoris eingebettet.[3, 1] Vom Apex patellae entspringt das Ligamentum patellae, das an der Tuberositas tibiae ansetzt.[1, 3] Die dem Oberschenkelknochen zugewandte Seite, die Facies articularis patellae, bildet zwei Facetten aus, anhand derer man sie in vier Typen einteilen kann.[1] Ihre Knorpelschicht hat beim Dreißigjährigen seine größte Dicke, die ca. 6mm beträgt, und nimmt dann mit den Jahren kontinuierlich ab.[1]

Die Patella läßt sich bei durchgestrecktem Kniegelenk und mit entspannter Kniegelenkmuskulatur geringfügig nach rechts und links schieben. In gebeugtem Zustand ist dies unmöglich, da die funktionelle Kette aus Muskulatur, Quadriceps-Femoris-Sehne und Ligamentum patellae die Kniescheibe in die Gleitrinne des Femurs drücken. Die wichtigste Funktion der Kniescheibe ist die Vergrößerung des Hebelarms des Quadriceps femoris und dem daraus resultierenden größeren Drehmoment auf das Schienbein.[8]

4.2 Gelenke

Femoropatellargelenk

Das Femoropatellargelenk ist das Gelenk zwischen Femur und Patella. Dabei kommen die hyalin überknorpelten Gelenkflächen auf der Rückseite der Patella und die auf der Vorderseite des Femurs (Facies Patellae) aufeinander zu liegen.[3, 1] Die Kniescheibe bewegt sich bei maximaler Beugung und Streckung etwa fünf bis sieben Zentimeter über den Oberschenkelknochen.[10] Diese Art des Gelenks nennt man auch

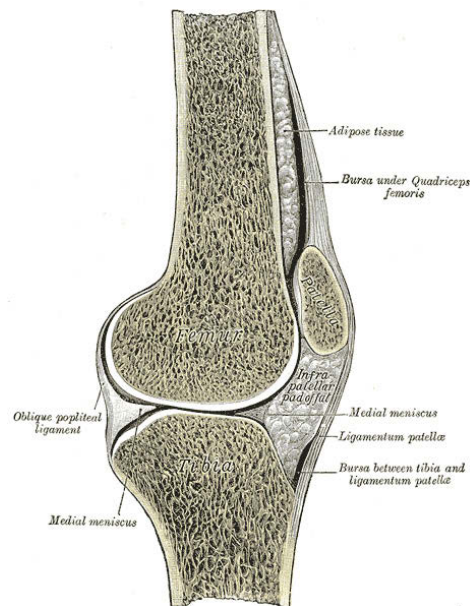


Abbildung 4: Dieses Bild zeigt das Kniegelenk von der Seite (Sagittalebene)[9]

Schlittengelenk.[11]

Bei zunehmend flektiertem Kniegelenk wandert die Kontaktfläche der Patella von distal nach proximal.[8] Der Kontakt der Gelenkfläche der Patella beginnt bei 20° Beugung und liegt schließlich bei 90° vollständig auf.[8] Mit zunehmender Beugung nimmt der Druck auf die Gelenkflächen zu und erreicht sein Maximum bei 70-75°.[12] Daraus folgend ist die Belastung abhängig vom Ausmaß der Beugung des Gelenks. Die auf die Patella wirkende Kraft kann zwischen dem 0,5-fachen Körpergewicht beim Gehen und dem bis zu 11-fachen Körpergewicht beim Laufen variieren.[12, 13]

Femorotibialgelenk

Das Femorotibialgelenk ist für die Beugung des Knies verantwortlich. Es setzt sich aus einem Rad- und einem Scharniergelenk zusammen. Diese Art des Gelenks wird auch als Drehscharniergelenk oder bikondyläres Gelenk (Trochogynglimus) bezeichnet.[3, 1] Bei 90° Beugung kann der Unterschenkel geringfügig nach innen und außen rotieren, da dann die Seitenbänder (Ligamentum collaterale tibiale und fibulare) aufgrund der speziellen Form der Femurkondylen und des Verlaufs der Bänder diese zum größten Teil (LCT) bzw. vollständig (LCF) entspannt sind.[1, 3]

Menisken

Aufgrund der Inkongruenz der aufeinanderstehenden Gelenkflächen benötigt das Kniegelenk zwei Bindegewebescheiben, die diese Begebenheit ausgleichen.[3, 2] Zusätzlich wird die Kontaktfläche zwischen den Gelenkpartnern vergrößert, was zu einer Reduktion des Drucks auf den Kondylen und dem Tibiakopfplateau führt.[3, 2] Das Knie-

gelenk besitzt zwei Menisci, den c-förmigen Innenmeniskus, der mit dem Ligamentum collaterale tibiale verwachsen und dadurch nicht so gut beweglich ist, und den kreisförmigen beweglicheren Außenmeniskus.[3, 2] Die Menisci sind Bindegewebescheiben, die peripher mit Faserknorpel durchsetzt sind.[3] Sie besitzen einen keilförmigen Querschnitt, deren breitere Außenseite mit der Gelenkkapsel verwachsen ist.[3] Wird das Kniegelenk gebeut, so bewegen sich die Femurcondylen nach hinten und verlagern somit auch die Menisci nach hinten. Bei der Streckbewegung schiebt sich wieder alles nach vorne.[3, 2, 10] Rotiert der Unterschenkel nach außen, schiebt sich der Außenmeniskus aufgrund der unveränderten Position der Femurcondylen nach vorne und der Innenmeniskus nach hinten. Die Befestigung der Menisci wird über kurze kräftige Bänder von ihren Enden (Vorderhorn/Hinterhorn) zur Area intercondylaris anterior/posterior gewährleistet.[10, 3] An den beiden Vorderhörnern sind die beiden Menisci über das Lig. transversum genus verbunden.[3, 1] Weitere Bandverbindungen bestehen durch das Lig. menisiofemorale anterius (Humphrey)(ca. 30%) und posterius (Wrisberg) (ca.70%), welche beide vom Hinterhorn des Außenmeniskus vor bzw. hinter dem Lig. cruciatum posterius zum inneren Femurknyl ziehen.[1, 3]

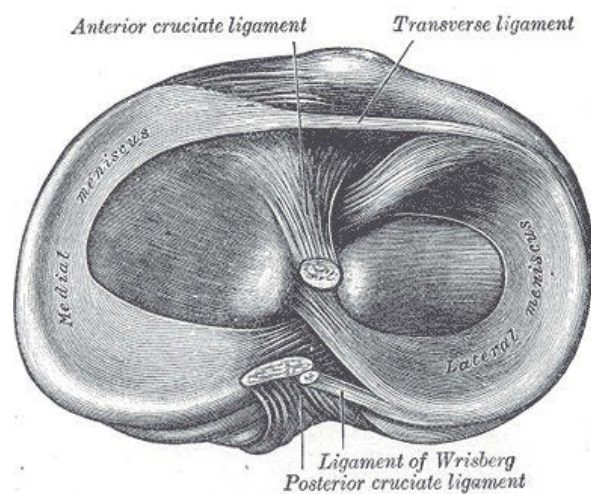


Abbildung 5: Dieses Bild zeigt das Schienbeinplateau mit den Menisci sowie den durchtrennten Kreuzbändern[9]

Corpus adiposum infrapatellaris (Hoffa'scher Fettkörper)

Das Corpus adiposum infrapatellaris ist ein pyramidenförmiger Fettwulst, der zwischen der Membrana synovialis und der Membrana fibrosa liegt und dessen Basis dem Lig. patellae aufliegt.[1, 8]

Die Ausläufer des Fettkörpers, die in Form von Falten bis in die Gelenkhöhle ziehen, können in zwei Gruppen unterteilt werden:[1, 8]

1. Plicae alares, die zu den Seitenrändern der Patella ziehen[1, 8, 14]
2. Plica synovialis infrapatellaris, welche sich vom Septum suprapatellaris ableitet, das die Gelenkhöhle in zwei Kammern teilte, und das Corpus adiposum infrapatellaris in der Fossa intercondylaris befestigt.[8, 14]

Bursa

Um Sehnen, die über das Gelenk ziehen vor Schädigung zu bewahren, besitzt das Kniegelenk an speziell exponierten Stellen proximal, ventral und distal des Gelenks Schleimbeutel, von welchen einige in Verbindung mit dem Gelenkraum stehen.[1] Die Bursa suprapatellaris ist der größte mit dem Gelenk kommunizierende Schleimbeutel.[1] Die Bursa infrapatellaris profunda befindet sich zwischen dem lig. patellae und der Tibia. Zusätzliche Bursae befinden sich im hinteren Bereich der Gelenkhöhle unter den gelenknahen Sehnen des Musculus semimembranosus und Musculus gastrocnemius.[1] Zwei Bursae sind vom Gelenkraum abgetrennt. Die eine liegt zwischen Haut und Patella, die andere zwischen dem Ligamentum patellae und der Membrana fibrosa der Gelenkkapsel.[1]

4.3 Gelenkkapsel

Die Kapsel des Kniegelenkes ist wie folgt aufgebaut:

Membrana synovialis

Die Insertion der Membrana synovialis verläuft am Scheinbein entlang der Knochen-Knorpel-Grenze.[15, 3] Davon ausgenommen ist der Bereich der Area intercondylaris posterior, in dem sie an der Innenseite der Gelenkfacetten entlang bis zur Area intercondylaris anterior läuft und das vordere Kreuzband ventral umgibt, wodurch sich beide Kreuzbänder zwar intrakapsulär aber nicht intraartikulär (=innerhalb der Synovialmembran) befinden.[15, 3] Von der Tibia zieht die Membrana synovialis auf der Außenseite, zunächst zur Basis der Menisci mit der sie in Kontakt steht, und inseriert weiter proximal an den Femurkondylen.[15, 3] Ausgehend von den Innenrändern der tibialen Gelenksflächen verläuft sie direkt zur Fossa intercondylaris femoris, wo sie an der Innenseite der Oberschenkelkondylen ansetzt.[15, 3] Mit Ausnahme der Vorderseite des Femurs inseriert das innere Blatt der Gelenkkapsel in unmittelbarer Nähe zur Knochen-Knorpel-Grenze des Femurs.[3, 15] Auf der Vorderseite des Femurs verläuft sie an der Knochen-Knorpel-Grenze der Facies patellaris nach proximal, um dann in die Bursa suprapatellaris überzugehen, von deren proximalen Umschlagpunkt sie dorsal der Quadrizepssehne nach distal zieht.[3, 15] Dabei verläuft sie an der Knochen-Knorpel-Grenze

der Kniescheibe über den Hoffa'schen Fettkörper zur Area intercondylaris anterior sowie zum Oberrand der beiden Menisci.[3, 15]

Die Membrana synovialis produziert eine nährstoff- und hyaluronsäurehaltige, fadenziehende Flüssigkeit, die sog. Synovia, die einerseits die bradytrophen Gewebe wie den Gelenkknorpel bzw. die Menisci ernährt und andererseits die Reibung der Gelenkspartner durch ihre "schmierende" Wirkung herabsetzt.[3, 15, 14]

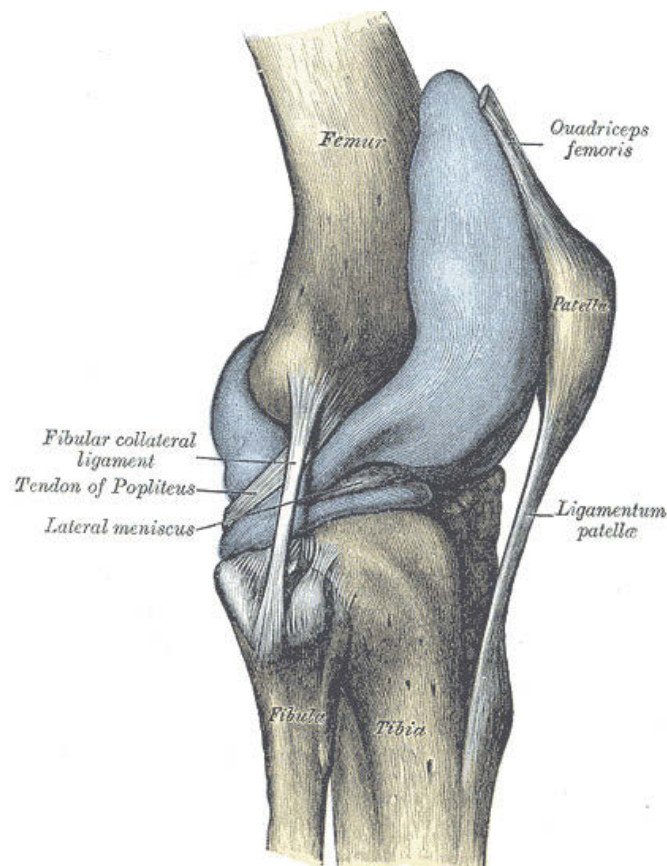


Abbildung 6: Dieses Bild zeigt die Kapselgrenze des Kniegelenks von der Seite[9]

Membrana fibrosa

Die Membrana fibrosa wird nahezu gänzlich durch Sehnen und Bänder verstärkt. Davon ausgenommen sind lediglich direkt an das Ligamentum patellae angrenzende Bereiche.[3, 15] Ihr tibialer Ansatz liegt ca. 10mm distal des Schienbeinplateaus.[3, 15] Davon ausgehend zieht das äußere Blatt der Gelenkkapsel nach proximal, wo es mit der Basis der Menisci fest verbunden ist, und inseriert später an den Femurkondylen.[3, 15] Posterior des Kniegelenks zieht die Membrana fibrosa zur Linea intercondylaris ohne dabei dem Verlauf der Femurkondylen zu folgen und überspannt somit die Fossa intercondylaris.[3, 15, 8]

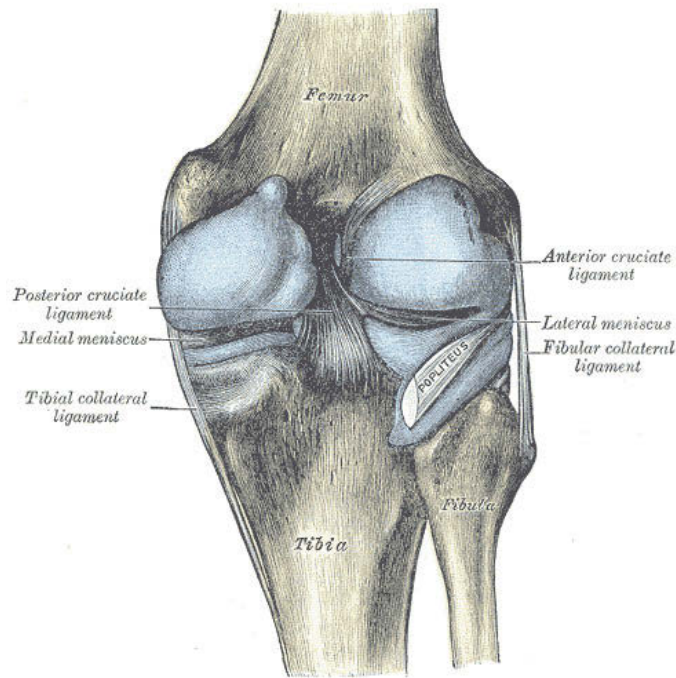


Abbildung 7: Dieses Bild zeigt die Kapselgrenze des Kniegelenks von hinten[9]

4.4 Bandapparat

4.4.1 Bänder außerhalb des Gelenks

Die Stabilität des Kniegelenks resultiert aus der Unterstützung zahlreicher Bänder, die einerseits die Kapsel verstärken und andererseits die Gelenkpartner zueinander in Position halten.[3, 1, 8]

Vordere Bandsicherung

Ligamentum patellae

Das Ligamentum patellae setzt als Verlängerung der Sehne des Quadriceps femoris, vom Unterrand der Kniescheibe ausgehend und die Gelenkkapsel verstärkend breitflächig an der Tuberositas tibiae an.[15, 8] Seitlich davon läuft, nur durch einen Spalt getrennt, das innere und äußere Retinakulum patellae longitudinale mediale und laterale, welches die Fortsetzung des inneren und äußeren Kopfes des Quadrizeps (vastus medialis und vastus lateralis) darstellt.[15]

Seitliche Bandsicherung

Ligamentum collaterale tibiale und fibulare

Die Kollateralbänder sind durch die spezielle Form der Femurkondylen in maximaler Streckung sowie Beugung maximal gespannt.[8, 15, 16] Dabei stabilisieren sie das Kniegelenk gegen Rotationsbewegungen und seitliches Aufklappen. Der Unterschen-

kel kann nur in gebeugter Stellung rotieren, da nun die Seitenbänder entspannt sind. Das Ligamentum collaterale tibiale zieht vom Epikondylus medialis des Femurs nach ventral-distal und setzt breitflächig unmittelbar neben der Sehne des M. semimembranosus unterhalb des Schienbeinplateaus an der Facies medialis tibiae an.[3, 15] Dabei wird es im Bereich des tibialen Ansatzes vom Pes anserinus superficialis, welcher der Zusammenfluß der Ansatzsehnen des M. sartorius, M. gracilis und des M. semitendinosus ist, überkreuzt.[3, 15] Das LCT ist in die Membrana fibrosa capsulae integriert und dadurch mit dem Meniscus medialis verwachsen.[15, 8] Das Ligamentum collaterale fibulare, das von seinem Ursprung, dem Epikondylus lateralis des Femurs, nach distal-posterior verläuft, setzt an der Seiten- und Vorderfläche des Caput fibulae (Wadenbeinkopf) an.[3, 15] Im Verlauf überkreuzt es die Sehne des M. popliteus und ist weder mit der Kapsel noch dem Außenmeniskus fest verwachsen.[3, 8, 15]

Hintere Bandsicherung

Ligamentum popliteum obliquum und Ligamentum popliteum arcuatum

Die Ansatzsehne des M. semimembranosus fächert sich in drei Anteile auf.[15] Der laterale Strang zieht als Ligamentum popliteum obliquum vom Epikondylus medialis femoris nach lateral-proximal, wo es sich in die Gelenkkapsel verstärkend integriert.[15, 8] Das Ligamentum popliteum arcuatum wird durch die Ursprungssehne des M. popliteus, mit der sie verwachsen ist, in zwei Anteile gegliedert, den proximal davon liegenden medialen und den distal verlaufenden lateralen Bogen.[15, 8] Der mediale Bogen des Lig. popliteum arcuatum stellt eine Verbindung zwischen dem Lig. popliteum obliquum und der Ursprungssehne des M. popliteus her.[8, 3] Der laterale Bogen zieht von der Popliteussehne zum Kopf des Wadenbeins.[3, 8] Die Ligg. poplitea verstärken gemeinsam die Kapsel posterior der Kniekehle.[15, 8]

4.4.2 Bandsicherung innerhalb des Gelenkes

Kreuzbänder

Die Kreuzbänder verlaufen von der Fossa intercondylaris des Femurs zur Area intercondylaris des Schienbeins.[15, 8] Dabei überkreuzt das vordere das hintere Kreuzband. Die Ligg. cruciata sind ebenfalls an der Stabilisierung des Kniegelenks beteiligt. Dies erreichen sie indem sie eine Translationsbewegung des Unterschenkel nach vorne (VKB) bzw. nach hinten (HKB) verhindern.[8, 16] Aufgrund ihres Verlaufs wird zusätzlich das Rotieren des Unterschenkel gehemmt, vor allem die Innenrotation, da sich hierbei das vordere um das hintere Kreuzband wickelt.[3, 8] Bei der Außenrotation kommt es zum

gegenteiligen Vorgang. Bis zu einer Beugung des Kniegelenks von 60° sind beide Kreuzbänder gleich stark gespannt.[16] Wird das Gelenk weiter gebeugt, verschiebt sich die Last progedient zugunsten des vorderen Kreuzbandes.[16] Der klassische Verletzungsmechanismus der vorderen Kreuzbandruptur ist die Beschleunigung bzw. Rotation des Körpers bei am Boden fixiertem Fuß, wie es häufig beim Skifahren vorkommt.[17] Bei der Verletzung eines oder beider Kreuzbänder tritt das sog. Schublattenphänomen auf, dh. der Unterschenkel führt eine Translationsbewegung nach vorne und/oder hinten aus, deren Amplitude größer ist als bei dem nicht betroffenen Kniegelenk.

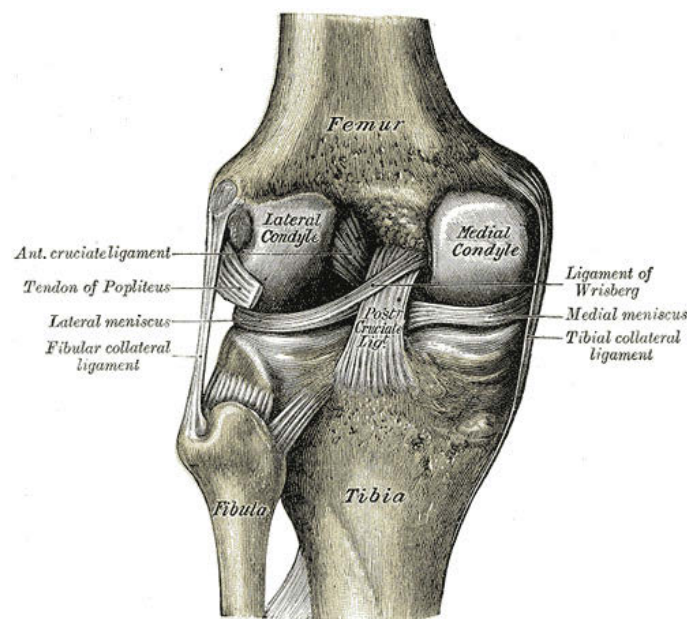


Abbildung 8: Dieses Bild zeigt den Bandapparat des Kniegelenks von hinten[9]

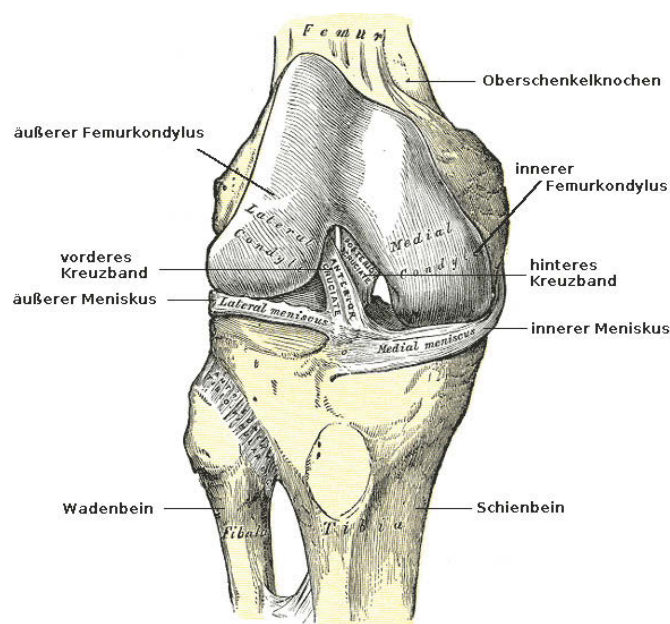


Abbildung 9: Dieses Bild zeigt den Bandapparat des Kniegelenks von vorne[9]

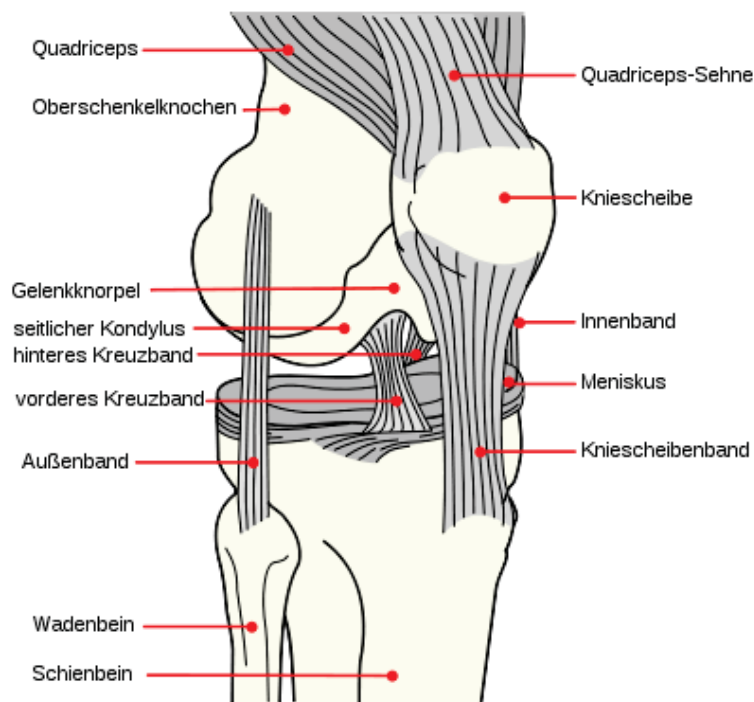


Abbildung 10: Dieses Bild zeigt den Bandapparat des Kniegelenks von schräg-vorne[9]

Vorderes Kreuzband (VKB)

Das vordere Kreuzband entspringt der Innenfläche des äußeren Femurkondylus und zieht unter gelegentlicher Abgabe von Fasern an das Hinterhorn des Meniscus lateralis, dem sog. Lig. meniscofemorale anterius, zur Area intercondylaris anterior des Schienbeins.[3, 1, 15] Dabei verläuft es von proximal-posterior nach distal-anterior. Es lassen sich drei Anteile (Faserbündel) unterscheiden: anteromediales, intermediäres und posterolaterales Faserbündel.[3] Das postero-laterale Faserbündel wird beim Strecken des Kniegelenks gespannt und verhindert somit eine Hyperextension.[3, 18] Das antero-mediale Faserbündel dagegen wird in gebeugter Stellung gespannt, wodurch es auch die Beugung hemmt.[3, 15] Aufgrund des gekreuzten Verlaufs hemmt es auch die Innenrotation.

Hinteres Kreuzband (HKB)

Das Ligamentum cruciatum posterius entspringt fächerförmig von der Innenseite des medialen Femurkondylus und zieht nach distal-posterior zur Area intercondylaris posterior und der Hinterkante des Schienbeins.[3] Es besitzt zwar einen größeren Querschnitt als das vordere Kreuzband, teilt sich aber in nur zwei Anteile auf: antero-laterales und postero-mediales Faserbündel.[3] Funktionell beteiligt es sich an der Streckhemmung nur mit wenigen Fasern, allerdings ist es in Beugestellung fast gänzlich gespannt.[3, 15] Die Hauptaufgabe des hinteren Kreuzbandes ist die Stabilisierung des Kniegelenks in der Sagitalebene.[3, 15]

4.5 Muskulatur

Die Stabilität im Kniegelenk wird einerseits durch den Bandapparat und andererseits durch die umgebende Muskulatur gewährleistet. Nur durch ein präzise abgestimmtes Wechselspiel zwischen Bändern und Muskulatur kann eine ordnungsgemäße Ausführung der Bewegungen erfolgen.

Kniestrecker

Der *M. quadriceps femoris* bedeckt den Oberschenkelknochen auf der Vorder- und den Seitenflächen. Er gliedert sich in vier Anteile: den *M. vastus medialis*, *M. vastus lateralis*, *M. vastus intermedius* und den *M. rectus femoris*. Ihre gemeinsame Ansatzsehne zieht zum Oberrand der Kniescheibe, von wo sie als *lig. patellae* breit an der *tuberositas tibiae* am Schienbein ansetzt.[3, 8] Dadurch, daß die Ansatzsehne das Kniegelenk überspannt, wird die Kraft auf den Unterschenkel, durch die eingebettete Kniescheibe moduliert, übertragen. Als Abspaltung des *M. vastus intermedius* fungiert der *M. articularis genu* als Spanner der Kniegelenkscapsel und verhindert somit das Einklemmen dieser bei Streckung.[3, 10]

Kniebeuger

Die Flexoren des Kniegelenks auf der Innenseite des Beins sind die Muskeln des *Pes anserinus superficialis*, der *M. sartorius*, *M. gracilis*, *M. semitendinosus* und der *M. semimembranosus*, der den *Pes anserinus profundus* zum großen Teil bildet.[3, 15] Desweiteren beugen auf der Außenseite des Kniegelenks der *M. biceps femoris* und von der Rückseite des Schienbeins, als Bestandteil der Wadenmuskulatur kommend, der *M. Gastrocnemius*.[3, 15]

Kniebeuger und Einwärtsdreher

Zusätzlich zu ihrer beugenden Funktion, rotieren der *M. semimembranosus*, *M. semitendinosus*, *M. gracilis* und der *M. popliteus* den Unterschenkel nach innen.[3]

Auswärtsdreher

Zusätzlich zur Beugung im Kniegelenk ist der *M. biceps femoris* auch für die Außenrotation zuständig.[3] Minimale Unterstützung erhält er bei gebeugtem Knie durch den *M. tensor fasciae latae*.[10]

4.6 Kniegelenksfunktion

Femorotibialgelenk

Das Femorotibialgelenk ist ein sog. Getriebe Gelenk, dh. eine Sonderform eines Drehscharniergelenks (Trochogynglimus).[2, 1] Diese Tatsache ermöglicht die notwendige Kombination aus Roll- und Gleitbewegung und macht das Gelenk sowohl um die vertikale als auch um die horizontale Achse drehbar.[8, 2] Daraus ergeben sich vier Freiheitsgrade:

Extension (Streckung) - Flexion (Beugung)

Am Beginn der Beugung, bis etwa 20° , rollen die Femurkondylen auf dem Tibiaplateau nach hinten.[15] Wird das Knie noch stärker gebeugt, geht die Rollbewegung aufgrund der Verspannung durch den Bandapparat in eine Gleitbewegung über.[15] Bei maximaler Flexion berühren die Femurkondylen nur noch den Hinterrand des Schienbeins. Die Menisci folgen den Bewegungen der Femurkondylen, da sie vor ihnen hergeschoben werden.[3, 15] Dabei legt der Außenmeniskus aufgrund seiner größeren Beweglichkeit einen weiteren Weg zurück.[15, 2] Aktiv kann das Kniegelenk bei gebeugtem Hüftgelenk etwa 140° , bei gestrecktem Hüftgelenk nur etwa 120° gebeugt werden, da folglich eine Insuffizienz der ischiocruralen Muskulatur vorliegt.[15] Passiv kann das Kniegelenk, je nach Weichteilgröße bis etwa 160° gebeugt werden.[3, 15] Die aktive Streckung erfolgt bis 0° , passiv kann das Gelenk $5-10^\circ$ überstreckt werden.[15] Beim Streckvorgang kommt es in der Endphase durch das vordere Kreuzband und die Form der Gelenkpartner zur sog. Schlußrotation, dh. der Unterschenkel rotiert im letzten Moment um $5-10^\circ$ nach außen.[3]

Außenrotation - Innenrotation

In Streckstellung machen die Ligg. collaterale ein Rotieren unmöglich. In gebeugtem Zustand läßt sich der Unterschenkel weiter nach außen ($25-40^\circ$) als nach innen (10°) rotieren, da sich bei der Innenrotation das vordere Kreuzband um das hintere Kreuzband wickeln muß und somit die Bewegung hemmt.[3] Die Menisci verschieben sich bei Rotationen immer gegensinnig, dh. bei einer Innenrotation bewegt sich der Außenmeniskus nach dorsal und der Innenmeniskus nach ventral.[3, 2, 10] Bei der Außenrotation kehren sich die Begebenheiten um.

Femoropatellargelenk

In Streckstellung liegt der distale Teil der Kniescheibe auf dem proximalen Teil der Fa-

cies patellae des Femurs auf, welche das Gleiten der Patella führt. Mit fortschreitender Beugung rutscht sie entlang des Femurs 6-7cm nach distal, wobei die durch die Quadricepssehne bedingte Kraft kontinuierlich steigt und bis zum elffachen Körpergewicht erreichen kann.[3, 8, 13] Dies erklärt auch, warum Schäden und Degenerationserscheinungen am retropatellaren Knorpel so häufig auftreten.

4.7 Arterien

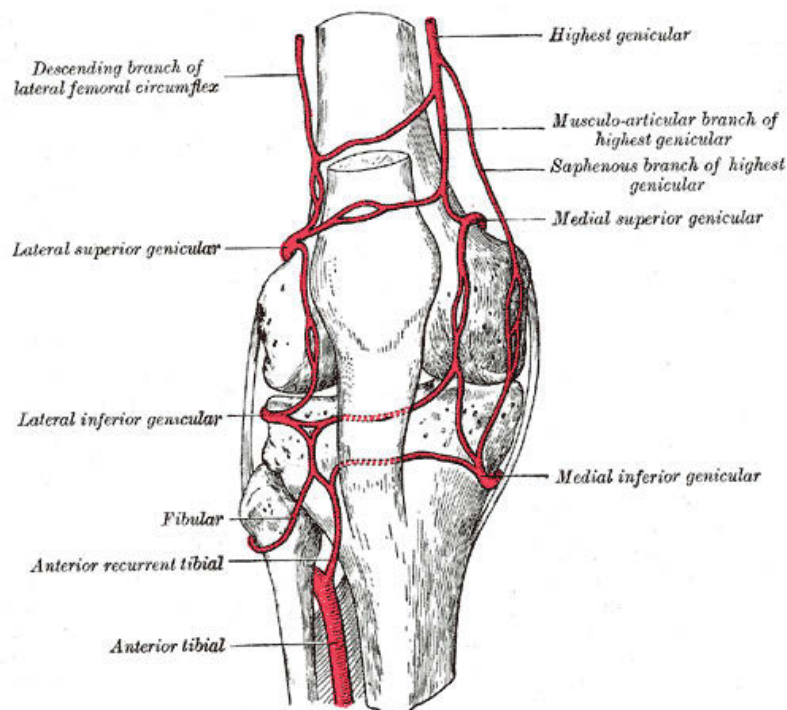


Abbildung 11: Dieses Bild zeigt die Arterien die das Kniegelenk mit seinen Weichteilen versorgt[19]

Die Arteria poplitea ist die Verlängerung der Arteria Femoralis. Sie zieht vom Ende des Adduktorenkanals durch die Fossa poplitea auf der Hinterwand der Gelenkkapsel über den M. popliteus nach distal, wo sie sich in die Arteria tibialis anterior und posterior aufteilt.[3, 1] Auf ihrem Weg gibt sie folgende Äste ab, die Arteria superior medialis und lateralis genus, die Arteria inferior medialis und lateralis, die Arteria media genus und mehrere Arteriae surales.[3, 15] Die Arteria superior medialis und lateralis genus ziehen um die Femurkondylen herum nach ventral und speisen das Rete articulare genus und patellae.[3, 15] Die Arteria inferior medialis und lateralis genus ziehen um die Tibiakondylen herum nach vorne und ziehen wie die Arteriae superiores genus zum Rete articulare genus und Rete patellae. Die Arteria media genus versorgt die Menisci, die Kreuzbänder und die Synovialfalten.[3, 15] Für die Versorgung der Wadenmuskulatur

sind die Arteriae surales zuständig.[3, 15] Aus der Arteria tibialis anterior entspringen die Arteriae recurrentes tibialis anterior und posterior, die nach proximal zum Rete articulare genus ziehen.[3, 15]

4.8 Venen

Oberflächliche Venen

Die Vena saphena magna zieht von der Vorderseite des malleolus medialis auf der Innenseite des Unter- und Oberschenkels, hinter dem medialen Femurkondyl nach proximal, wo sie am Hiatus saphenus in die Vena femoralis mündet.[3, 15] Die Vena saphena parva entspringt von der Rückseite des malleolus lateralis, verläuft mittig zwischen den beiden Köpfen des M. gastrocnemius nach proximal, durchbricht die Fascia cruris und mündet in die Vena poplitea.[3, 15]

Tiefe Venen

Die im Unterschenkel verlaufenden tiefen Venen begleiten die zugehörigen Arterien. Dabei sind sie häufig doppelt angelegt.[3, 15] Man kann die sog. Vv. surales in folgende Gruppen zusammenfassen:[3]

1. Vv. tibiales anteriores: leiten einen Teil des Blutes aus dem Rete venosum dorsalis pedis nach proximal
2. Vv. tibiales posteriores: nehmen Blut aus den Vv. peroneae (fibulares) und dem Rete venosum plantare auf
3. Vv. peroneae (fibulares)

4.9 Nerven

An der neuronalen Versorgung der Bänder, der Kniegelenkscapsel sowie den periartikulären Strukturen sind folgende Nerven beteiligt: N. femoralis, N. saphenus, N. obturatorius und N. peroneus communis.[3, 20] Der N. femoralis gibt neben dem N. saphenus Muskeläste zu Muskeln des Oberschenkels ab und ist über seine Rr. cutanei anteriores an der sensiblen Versorgung der Haut an der Vorderseite des Oberschenkels bis zum Knie beteiligt.[3, 10] Der N. saphenus innerviert über seinen Ramus infrapatellaris die

Haut an der Innen- und Vorderseite des Kniegelenks und mit seinen Rami cutanei cruris mediales die Haut der Innen- und Vorderfläche des Unterschenkels.[3, 10] Der N. obturatorius teilt sich in zwei Äste auf: den Ramus anterior, der über seinen Muskelast die Adduktoren und den M. gracilis und über seinen Hautast die Innenseite des Oberschenkels innerviert und den Ramus posterior.[3, 10] Der N. peronaeus communis teilt sich auf Höhe des Wadenbeinkopfes in den N. peronaeus profundus und den N. peronaeus superficialis.[3, 10]

5 Pathologie

5.1 Kniegelenkserkrankungen

Verrenkungen und Brüche

Die Kniegelenksluxation ist eine durch große Gewalteinwirkung verursachte Verrenkung des Schienbeins zur Seite und vorne oder hinten. Dabei kommt es zur Ruptur der Kreuzbänder und des inneren Seitenbandes und häufig zu Verletzungen an Gefäßen und Nerven.[14] Die Patellaluxation bezeichnet die seitliche Verlagerung der Kniescheibe aus ihrer Gleitrinne.[18] Frakturen im Bereich des Kniegelenks, dabei ist es unerheblich welche(r) der drei Knochen betroffen ist, müssen in der Regel operativ versorgt werden. Dabei erfordert die Behandlung meist die Verwendung von Drähten, Platten, Schrauben oder Nägeln. Es kann auch eine Aufrichtung der verletzungsbedingt abgesunkenen Gelenkfläche durch Einbringen von eigenem Knochenmaterial nötig sein.[18, 16] In allen derartigen Fällen muß eine möglichst exakte Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse des Gelenks angestrebt werden, um möglichen Spätfolgen entgegen zu wirken.

Gelenkverschleiß

Die Kniegelenksarthrose, auch Gonarthrose genannt, ist die häufigste (degenerative) Erkrankung des Kniegelenks.[18, 16] Dabei können primäre von sekundären Arthrosen unterschieden werden.[18, 16] Erstere ist die Folge von minderwertig angelegtem Gelenkknorpel, zweiteere beruht auf einer Schädigung des Knorpels durch verschiedene äußere Einflüsse:[18, 16]

1. Posttraumatisch: intraartikuläre Frakturen, Luxationen
2. Mechanische Überlastung: Übergewicht, Achsenfehlstellungen (Genu valgum und varum)
3. Entzündliche Prozesse: z.B. rheumatologisch, bakteriell
4. Endokrine Genese: Hyperparathyreoidismus, Chondrocalzinose, Diabetes mellitus

Infolge des frühzeitigen Verschleißes des Gelenkknorpels kommt es in Abhängigkeit vom Ausmaß des Knorpelschadens zur Deformierung des Gelenks mit evtl. Gelenkschwellung. Daraus resultiert am Beginn der Erkrankung ein Anlauf- und Belastungsschmerz

mit morgendlicher Steifigkeit, welcher sich im fortgeschrittenen Stadium zum Ruheschmerz weiterentwickeln kann.[18, 16]

Entzündung

Die akute Entzündung des Kniegelenks (=Gonitis) zeigt die klassischen Symptome der Entzündung: Rötung, Schwellung, Überwärmung, Schmerzen und einen Gelenkserguß.[16] Eine Gonitis kann auf vielfältige Weise ausgelöst werden. Handelt es sich um eine bakterielle Genese, meist durch Staphylokokken ausgelöst, so stellt dies einen orthopädischen Notfall dar.[16] Das Kniegelenk muß umgehend eröffnet und gründlich gespült werden. Zusätzlich wird ein Breitbandantibiotikum systemisch verabreicht.[16] Bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, wie der rheumatoiden Arthritis, ist das Kniegelenk in über 75% der Fälle betroffen.[18, 16] Desweiteren kann ein massiver Gelenkverschleiß zu einer aktivierten Arthrose führen.[18, 16] Auch systemische Erkrankungen, wie die Gicht, können durch Ablagerung von Harnsäure im Gelenk zur Kristallarthropathie führen.[18]

Bakerzyste

Die Bakerzyste ist die durch einen chronischen Gelenkerguß prall gefüllte Bursa semi-membranoso-gastrocnemii.[16] Die Bursa steht über eine Öffnung in der hinteren Gelenkkapsel mit dem Gelenk in Verbindung.[16] Die im Rahmen chronisch entzündlicher Prozesse gebildete Gelenksflüssigkeit fließt in die Bursa, die sich dadurch vergrößert und in der Kniekehle als Bakerzyste tastbar wird.[16, 18] Durch einen Ventilmechanismus, der durch die Sehnen des M. gastrocnemius und des M. semimembranosus hervorgerufen wird, kann sich die Bakerzyste nicht mehr entleeren.[18, 16] In Streckstellung erzeugt die Bakerzyste ein Spannungsgefühl in der Kniekehle. Bei starker Vergrößerung kann die Bakerzyste die V. tibialis einklemmen, infolge dessen es zu distalen Ödemen kommt.[16, 18] Zusammen mit dem vorhandenen Wadendruckschmerz kann es zu einer Verwechslung mit einer Unterschenkelthrombose kommen.[16, 18] Therapeutisch steht die Beseitigung des chronisch entzündlichen Prozesses im Vordergrund, um den Auslöser des Problems zu eliminieren. Zusätzlich kann eine Punktion zur symptomatischen Entlastung erfolgen.[16] Eine operative Entfernung ist nur in Ausnahmefällen indiziert.[16]

Bursitis

Die Bursitis ist eine (nicht) infektiöse Entzündung der Schleimbeutel. Die abakterielle Bursitis tritt nach Überlastungen z.B. bei knienden Tätigkeiten oder einem Sturz

auf das Knie auf.[16, 18] Die bakterielle Schleimbeutelentzündung ist in der Regel eine Komplikation der nicht infektiösen Bursitis und ist durch kleine Einrisse in der Haut bedingt.[16, 18] Durch die häufig in Verbindung stehenden Bursen, kann sich die Entzündung leicht ausbreiten. Die abakterielle Bursitis wird in der Regel konservativ mit Kühlung und Schonung behandelt, eine Ausnahme besteht bei chronisch-rezidivierendem Verlauf.[16] In diesem Fall und bei einer bakteriellen Bursitis werden diese operativ entfernt.[16]

Kniegelenksergüsse

Jede Art von Flüssigkeitsansammlung in einem Gelenk wird als Gelenkserguß bezeichnet.[16, 18] In Abhängigkeit vom Ausmaß des Ergusses ist die Silhouette des Kniegelenks mehr oder weniger verstrichen. Der Gelenkserguß ist nicht schmerzhaft, kann aber bei starker Beugung ein deutliches Spannungsgefühl auslösen.[16, 18] Durch die intraartikuläre Flüssigkeit schwimmt die Kniescheibe auf und löst somit den Kontakt vom Oberschenkelknochen. Wird jetzt Druck auf die Patella ausgeübt, so stellt man einen prallelastischen Widerstand fest, das sogenannte "Tanzen der Patella". Aus diagnostischen und therapeutischen Gesichtspunkten gewinnt man bei einem starken Erguß ein Punktat, um Spätfolgen der Erkrankung zu vermeiden.[18, 16]

Osteochondrosis dissecans

Bei der Osteochondrosis dissecans handelt es sich um eine aseptische Nekrose am Übergang von Knochen zum Gelenkknorpel.[18, 14] Die Ursache einer Osteochondrosis dissecans ist nicht ganz geklärt, allerdings ist sie am wahrscheinlichsten die Folge von wiederholten Mikrotraumata im Bereich des subchondralen Knochens.[18, 16] Sie kann an allen großen Gelenken auftreten, häufig auch beidseits, kommt aber bevorzugt am Ellenbogen und am medialen Femurkondylus des Kniegelenk vor.[18, 16, 14] Betroffenen sind vor allem junge Männer ab der Pubertät.[18, 16] Im Anfangsstadium ist die Erkrankung oft symptomlos oder zeigt uncharakteristische Beschwerden wie Schmerzen und Gelenkserguß nach Belastung.[18, 16] In weiterer Folge kommt es durch die fortschreitende Nekrose zu einem Abtrennen einer Knochen-Knorpelscheibe die zuerst noch ortständig ist, sich aber dann ablöst und so als freier Gelenkkörper (sog. "Gelenkmaus") durch Einklemmung zur Blockierung des Gelenks führen kann.[18, 16]

Hypermobilität des Kniegelenkes

Das Genu laxum, ein sog. Schlottergelenk, besitzt nur mangelhafte Stabilität, welche durch eine unzureichende Festigkeit der das Gelenk sichernden Strukturen bedingt

ist.[14] Die Ursachen für die Hypermobilität können angeboren oder erworben sein. So kann eine Bindegewebeerkrankung oder ein Trauma, Entzündungen oder gelähmte Muskeln der Grund der Erkrankung sein.[14] Um eine vorzeitige Arthrose zu vermeiden, muß das Gelenk ausreichend stabilisiert werden. Dies kann in milden Fällen durch konsequenten Aufbau der Muskulatur, in schweren Fällen durch geeignete Orthesen versucht werden. Kann dadurch keine ausreichende Stabilität erreicht werden, sollten operative Maßnahmen in Betracht gezogen werden.

Genu recurvatum

Beim Genu recurvatum liegt eine Überstreckbarkeit des Kniegelenks vor, die meistens erworben, in sehr seltenen Fällen (meist beidseits) angeboren ist.[18, 16] Die Erkrankung kann auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:[16, 18]

1. Allgemeine Bindegewebschwäche
2. Schlaffe Lähmung des M. quadriceps femoris durch eine Femoralisparesie
3. Überdehnung der Gelenkkapsel z.B. durch Beinlängendifferenz oder Spitzfuß
4. Formanomalien der knöchernen Gelenkpartner (Z.n. Osteomyelitis, Fehlstellung n. Fraktur oder Verletzung der kindlichen Fugen am Tibiakopf)

Im Falle der Quadricepparesie ist das Überstrecken des Kniegelenks nötig, um ein Einknicken beim Gehen zu verhindern und Sicherheit beim Stand zu gewinnen.[16, 18] Therapeutisch gesehen reicht in leichten Fällen die physiotherapeutische Kräftigung der gesamten Ober- und Unterschenkelmuskulatur.[16, 18] Eine Absatzerhöhung kann die Überstreckung begrenzen und eine nächtlich angelegte Lagerungsschiene bzw. Knie-rolle sorgt für eine geringgradige Beugung im Kniegelenk.[16, 18] In schweren Fällen sollte ein Genu recurvatum mit einer Orthese versorgt werden. Bei Formanomalien des Tibiakopfs kann eine korrigierende Osteotomie angewandt werden.[16, 18]

Meniskusriß

Meniskusläsionen sind relativ häufig und entstehen durch inadäquate Belastung des Kniegelenks, sei es durch Traumata oder durch chronische Überlastung, wie sie häufig beim Fußballspielen auftritt.[16, 18] Der Verletzungsmechanismus besteht entweder aus einer unvorhergesehenen Drehbewegung bei gebeugtem Kniegelenk oder einem Stoß von außen bei fixiertem Unterschenkel.[16, 18] Hierbei ist der mediale Meniskus aufgrund seiner geringeren Beweglichkeit häufiger betroffen.[16, 18]

Man kann verschiedene Arten von Meniskusrissen unterscheiden:[16]

- Horizontalriß: spaltet den Meniskus horizontal
- Korbhenkelriß: Längsriß mit Verlagerung des rupturierten Segments nach innen
- Radiärriß: radial von innen nach außen durch den Meniskus verlaufender Riß
- Lappenriß: Kombination aus unvollständigem Radiärriß und Längsriß
- Abriß der Meniskusbasis

Eine frische Verletzung ist meist von heftigsten Schmerzen begleitet.[16] Bei Einklemmung von Meniskusteilen ist das Gelenk federnd blockiert.[16] Handelt es sich um einen geringgradigen Meniskusriss in der vaskularisierten Zone, so kann er konservativ behandelt werden. Handelt es sich aber um einen großen Längsriß, so sollte er mit einer Menisksusnaht versorgt werden. Risse im Bereich der Kapselgrenze können durch eine Meniskopexie wieder angeheftet werden.[16] Bei Korbhenkelrissen, Lappenrissen und Radiärrissen erfolgt in der Regel eine arthroskopische Teilresektion.[16, 18]

Bandverletzungen

Seitenbandriß

Seitenbandrisse kommen in der Regel in Kombination mit anderen Weichteilverletzungen z.B. des Kreuzbandes, der Gelenkkapsel oder des Meniskus vor.[16] Ein isolierter Seitenbandriß wird nur nach knöchernem Ausriß operiert. Andernfalls ist eine Knieführungsbandage in Kombination mit früh-funktioneller Physiotherapie für etwa 6 Wochen ausreichend.[16]

Kreuzbandriß

Eine wichtige Aufgabe des vorderen Kreuzbandes liegt neben der Stabilisation des Kniegelenks in dessen Führung. Dadurch, daß es in sich verdreht verläuft, ist zu jedem Zeitpunkt ein Teil seiner Fasern gespannt.[3] Kreuzbandrisse sind sehr häufig (ca. 1 Kreuzbandriß pro Stunde in Österreich). Typischerweise kommt es zur Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei einer traumatologischen Verdrehung des Kniegelenks in Beugung-Außenrotation-X-Beinstellung oder Beugung-Innenrotation-O-Beinstellung.[16, 18] Der typische Verletzungsmechanismus des hinteren Kreuzbandes ist die dorsale Translation des Schienbeinkopfes, wie sie beim Sturz auf das gebeugte Knie (dash board injury)

auftritt.[16, 18] Durch die Ruptur des Band-Apparates kommt es zeitgleich zu Gefäßverletzungen, die zu einem blutigen Gelenkerguß führen.[16] Da bei einem akuten Kreuzbandriß die klinische Untersuchung schmerzbedingt nur eingeschränkt möglich ist, wird die Ruptur erst konventionell radiologisch durch Röntgenbild (knöcherner Ausriß) und MRT diagnostiziert. Die Behandlung des Kreuzbandrisses hängt von den Lebensumständen des Patienten ab. Da eine rein muskuläre Stabilisation langfristig nicht ausreicht, wird das Band aus einem anderen autologen Band oder einer Sehne als Kreuzbandplastik rekonstruiert.[16, 18]

Arten von Kreuzbandrupturen

1. Isolierte Ruptur des vorderen bzw. hinteren Kreuzbandes und damit verbundener Instabilität in der Sagitalebene mit auslösbarem Schubladenphänomen
2. Komplextrauma: z.B. “unhappy triad” (=Kombination aus einem Riß des vorderen Kreuzbandes, des Innenmeniskus und des medialen Kollateralbandes)

6 Diagnostik

6.1 Klinische Diagnostik

6.1.1 Schublidentest

Beim Schublidentest soll der Patient, in Rückenlage liegend, das zu testende Kniegelenk in 90° flektiert abstellen. [17] Der Untersucher fixiert den Unterschenkel, indem er sich vorsichtig auf den Vorfuß setzt. Der Schienbeinkopf wird anschließend vom Untersucher in der Weise umfasst, daß die beiden Zeigefinger in der Kniekehle zu liegen kommen. Dabei kann geprüft werden ob die Hamstrings (=Muskulatur die am Pes anserinus ansetzt: M. semitendinosus, M. gracilis, (M. sartorius)) des Patienten völlig entspannt ist. Der Unterschenkel wird nun relativ zum Oberschenkel nach ventral bzw. dorsal verschoben. [17] Zusätzlich zur hinteren Schublade sollte noch der Gravity Drawer Test durchgeführt werden, da er die Aussagekraft des Ergebnisses positiv beeinflusst. Dabei liegt der Patient wie beim Schublidentest auf dem Rücken, allerdings muß er nun sowohl in der Hüfte als auch im Kniegelenk 90° beugen. Senkt sich dabei die Tuberositas tibiae ab und wird das Absinken durch Anspannen der Hamstrings noch verstärkt, so liegt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Abriss des hinteren Kreuzbandes vor (Sensitivität 79-100%; Spezifität 100%). [21, 22]

Geringgradige Instabilität 3-5 mm

Mittelgradige Instabilität 6-10 mm

Schwere Instabilität > 10 mm

6.1.2 Lachman-Test

Beim Lachman-Test werden stets beide Kniegelenke untersucht, um die ermittelten Werte miteinander vergleichen zu können. Dazu wird beim liegenden Patienten das zu begutachtende Kniegelenk in 10 bis 20° gebeugter Position gehalten.[17] Idealerweise liegt dabei die Ferse auf einer Liege auf. Der Untersuchende umfasst den Unterschenkel mit beiden Händen so, daß seine Zeigefinger in der Kniekehle zu liegen kommen. Der Unterschenkel wird dann nach vorne gezogen. Der Grad der Verschiebbarkeit und die Art des Anschlags des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel gibt Aufschluss darüber, ob eine Verletzung des Kreuzbandes vorliegt oder nicht.[23, 24]

6.1.3 Pivot-Shift-Test

Beim Pivot-Shift-Test wird das gestreckte Kniegelenk einem Valgusstress, d.h. Verstärkung der X-Bein-Stellung, ausgesetzt und gleichzeitig der Unterschenkel nach innen rotiert. Dadurch kommt es beim geschädigten vorderen Kreuzband zu einer Subluxation des lateralen Teils des Schienbeinkopfes vor die Oberschenkelknorren. Anschließend wird das Kniegelenk gebeugt. Dabei kommt es bei ca. 30° Beugung durch die außenrotierende Wirkung des Tractus iliotibialis zum Zurückspringen des Schienbeinkopfes in die richtige Position.

6.1.4 KT 1000 Arthrometer

Das KT-1000 Arthrometer ist ein objektives Gerät zur Messung der nach vorne gerichteten Auslenkung des Schienbeins gegenüber dem Oberschenkelknochen für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes.[25]



Abbildung 12: Dieses Bild zeigt das KT-1000 Arthrometer am Patienten[26]

6.2 Bildgebende Diagnostik

6.2.1 Röntgenbild

Die Kreuzbänder sind im Röntgenbild nicht sichtbar, dennoch kann es bei der Diagnosestellung hilfreich sein, da man damit Fragestellungen zu Verletzungen mit knöcherner Beteiligung (z.B. knöcherner Ausriss eines Bandes) ausschließen kann.

6.2.2 Magnetresonanztomographie

Um die Kreuzbänder beurteilen zu können, benutzt man das MRT. Dabei zeigt sich eine komplette oder auch lediglich partielle Ruptur beider Kreuzbänder schon in der seitlichen Aufnahme

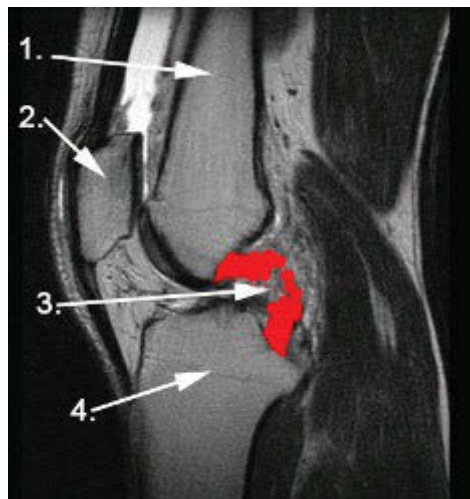


Abbildung 13: Dieses Bild zeigt das MRT eines hinteren Kreuzbandrisses des Kniegelenks in seitlicher Aufnahme[27]

6.3 Diagnostische Arthroskopie

Die höchste diagnostische Sicherheit bietet die diagnostische Gelenkspiegelung.

7 Therapie der Ruptur des Bandapparates

Eine Rekonstruktion des VKB oder HKB ist bei anhaltender Instabilität trotz Physiotherapie sinnvoll. Eine untherapierte Ruptur kann zum verfrühten Verschleiß des hyalinen Gelenkknorpels und zur Schädigung der Menisci führen.[28, 29, 18]

7.1 Konservative Behandlung

Kreuzbandverletzungen müssen überwiegend nicht sofort operiert werden. Die Wahl der Therapie ergibt sich aus dem Alter des Patienten, der zu erwartenden Belastung des Kniegelenks und der Fähigkeit des Patienten seinen Alltag zu bewältigen. Deshalb sollte der Therapieentscheidung ein ausführliches Gespräch mit dem Patienten vorausgehen. Die konservative Therapie als Alternative zu einer Operation eignet sich vor allem für Patienten höheren Lebensalters, die noch eingeschränkt mobil sind und einen isolierten Riß des vorderen Kreuzbandes aufweisen. [30, 31] Hierbei steht zunächst das Abklingen von Schmerzen und Schwellung sowie die Beweglichkeit des Gelenks teilweise wieder herzustellen im Vordergrund.[18, 32] Das verletzte Bein wird dafür mit Unterarmgehstützen entlastet. Schmerzlindernde und abschwellende Medikamente aus der Gruppe der NSAR sowie Hochlagerung und Kühlung fördern diesen Prozess. [18, 32] Eine manuelle Lymphdrainage beschleunigt zusätzlich den Abfluss der Schwellung. Nach ca. zwei Wochen kann mit der Physiotherapie begonnen werden, um die Muskulatur des Kniegelenkes wieder zu kräftigen. [18, 32] Vier bis sechs Wochen nach dem Verletzungsereignis sollte das Kniegelenk nochmals untersucht werden. [33]

7.2 Healing-Response-Technik

Richard Steadman, ein aus den USA stammender Chirurg entwickelte diese Technik Anfang der 1990er Jahre.[34] Dieses Verfahren kann nur bei einem frischen Riß des vorderen Kreuzbandes angewandt werden, wenn es Oberschenkelknöchelnah abgerissen und wenig aufgefasert ist. Der Eingriff muss innerhalb von wenigen Tagen nach der Verletzung erfolgen.[35] Das therapeutische Konzept der Healing-Response-Technik ist, daß undifferenzierte Stammzellen sich bei entsprechender mechanischer Beanspruchung, gemäß dem Wolffschen Gesetz, zu Tendinozyten ausdifferenzieren können.[35]

Verfahren

Zuerst werden mittels Arthroskopie eventuelle Begleitverletzungen behandelt. Anschlie-

ßend wird der Markraum an entsprechender Stelle bis zu zehn Mal eröffnet, damit Stammzellen aus dem Knochenmark austreten können.[35] Nach Reposition des proximalen Endes des vorderen Kreuzbandes an seinen Ansatz wird das Kniegelenk wieder gestreckt.[35] Das Kniegelenk verbleibt nun ohne Drainage, durch eine Schiene fixiert, in einer 10° gebeugten Stellung. Der Patient durchläuft im Anschluss ein intensives Training.[35] Dieses Verfahren stellt keinen Goldstandard dar.

7.3 Operative Behandlung

7.3.1 Vorderes Kreuzband

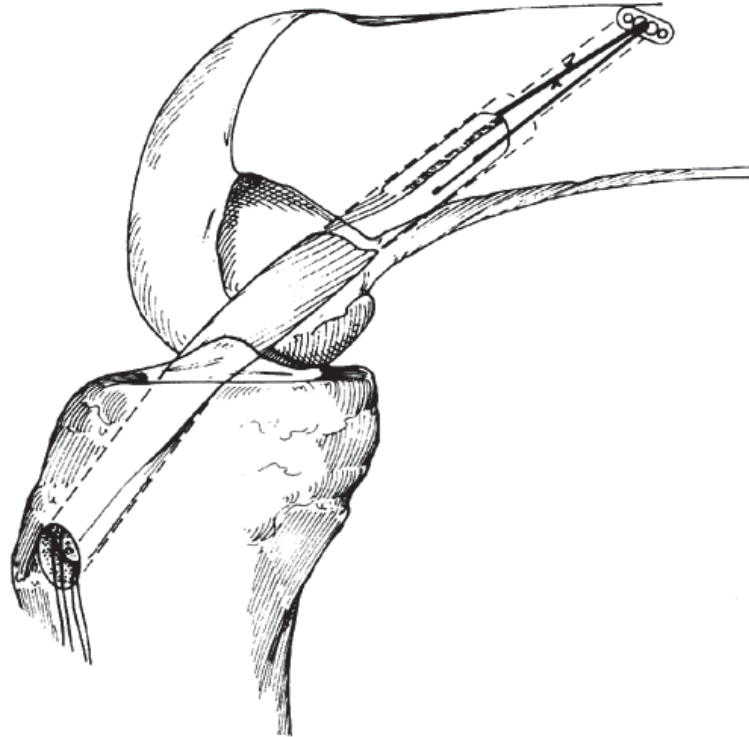


Abbildung 14: Dieses Bild zeigt den vorderen Kreuzbandersatz[36]

7.3.1.1 Kreuzbandplastik

Ziel der derzeit angewandten Operationstechniken ist die Wiederherstellung des gerissenen Kreuzbandes. Die Stümpfe des rupturierten Ligaments werden dazu zur Gänze entfernt und durch ein Transplantat ersetzt. Das Transplantat kann folgender Herkunft sein:[17]

1. Körpereigenes Gewebe (autolog)
2. Gewebe von Verstorbenen (homolog)

Transplantate

Quadrizepssehne

Proximal der Patella wird ein Teil der Ansatzsehne des Musculus Quadriceps femoris inklusive eines Knochenzylinders der Patella gewonnen und als Kreuzband implantiert. Dieses als Press-fit-Methode bekanntes Verfahren benötigt in ausgewählten Fällen keine zusätzliche Verschraubung.[37, 38, 39]

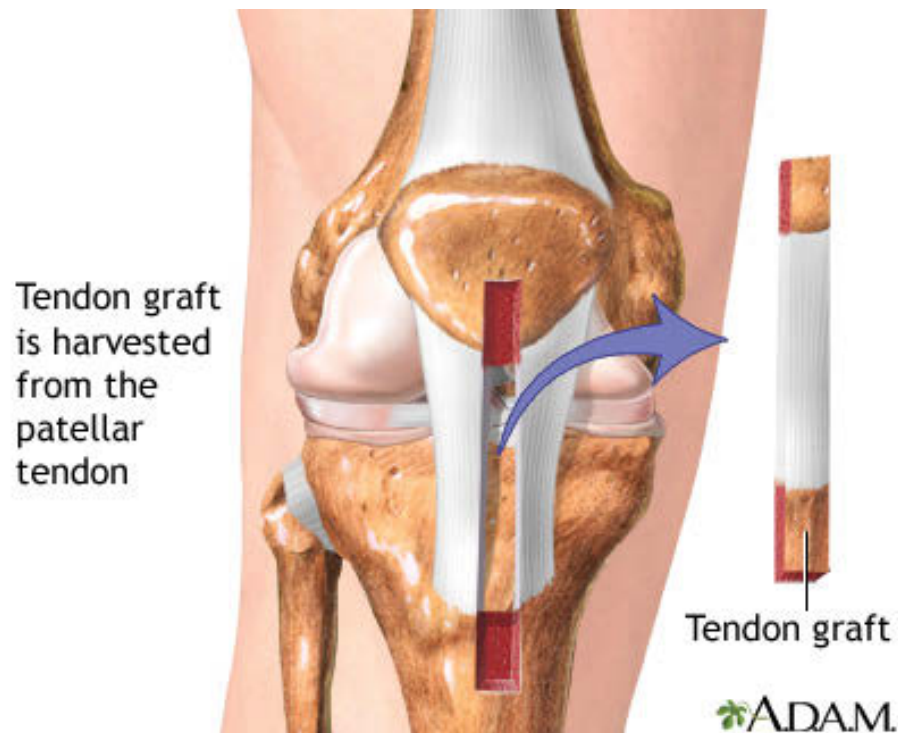


Abbildung 15: Dieses Bild zeigt das Ligamentum patellae als mögliches Autograft für den Kreuzbandersatz[40]

Ligamentum patellae

Das Ligamentum patellae stellt aufgrund seiner Größe und Stärke, trotz der geringeren Elastizität gegenüber dem Kreuzband, häufig das Mittel der Wahl dar.[37, 38, 3] Für die Wiederherstellung des Kreuzbandes wird dieses mit anhängenden Knochenanteilen entnommen und durch verbreiterte Kanäle in Tibia und Femur gezogen. Die knöchernen Endstücke des Transplantats besitzen jeweils eine Länge von ca. 2cm.[37, 38] Die stabilste Verankerung der knöchernen Enden wird durch die Fixation mit sogenannten Interferenzschrauben erreicht.[41] Interferenzschrauben werden im Rahmen einer operativen Wiederherstellung einer Sehne oder eines Ligaments, insbesondere von Kreuzbändern, zu deren Verankerung verwendet.[41] Als Materialien wurden früher Titanschrauben verwendet. [41] Heute gibt es auch Schrauben aus resorbierbaren Materialien. [42, 41]

Semitendinosussehne und Gracilissehne (Single incision Hamstring-Technik

VKB)

Die Sehne (in der Regel Semitendinosussehne) wird durch einen tibialen Schnitt mit anschließender Präparation des Pes anserinus superficialis mit Hilfe eines Sehnenstripers entnommen.[43, 38] Um ein stabiles Transplantat zu erhalten wird die entnommene Sehne halbiert, um später ein sog. Quadrupeltransplantat zu erhalten. Auf diese Weise präpariert, ist die Sehne des Musculus semitendinosus belastbarer als das Ligamentum patellae.[43, 38] Dann werden die vier Sehnenenden mit kräftigen Nähten durchflochten und die Sehnen durch eine Polyesterbandschleufe geschlungen, wodurch sich ein viersträngiges Transplantat ergibt.[43, 38] Während der Präparation der Sehne wird durch den bereits gesetzten Schnitt am Schienbein ein Kanal für das Transplantat in das Schienbein und den Oberschenkelknochen gebohrt. Anschließend zieht man das Transplantat mittels der Polyesterbandschleufe soweit durch den Bohrkanal, daß es 20mm in die Bohrung des Femurs eindringt.[43, 38] Jetzt wird das Polyesterband auf der Außenseite des Femurs an einem den Bohrkanal überspannenden Titanplättchen verknotet und somit das Transplantat femurseitig fixiert.[43, 38] Schienbeinseitig erfolgt die Verankerung ebenfalls über ein Titanplättchen und die zuvor angebrachten Nähte.

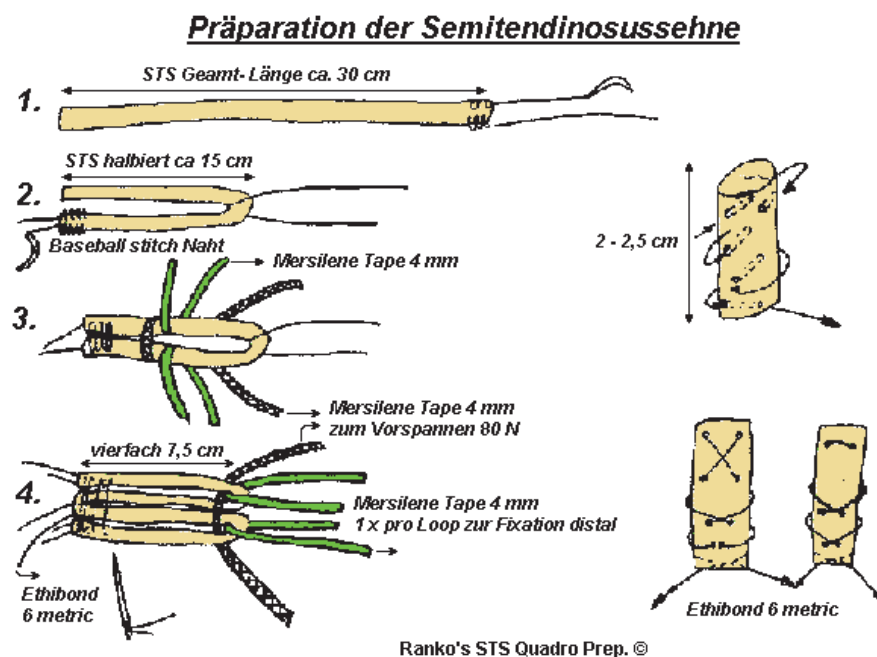


Abbildung 16: Dieses Bild zeigt die Herstellung eines Autografts für den vorderen Kreuzbandersatz[36]



Abbildung 17: Dieses Bild zeigt ein Autograft aus der Sehne des M. semitendinosus[44]

Allograft

Bei einem sogenannten Allograft handelt es sich um ein Leichen-Transplantat, weshalb auch weitere Sehnen verwendet werden können ohne auf die Mobilität des Spenders achten zu müssen. [45, 38] Dies wird vor allem in den USA praktiziert.

1. Ligamentum patellae
2. Semitendinosusehne
3. Quadrizepssehne
4. Achillessehne
5. Tibialis-anterior-Seehne

Synthetische Rekonstruktionsmaterialien

Da sie sich in der Vergangenheit als nicht praxistauglich erwiesen haben, finden sie heute keine Verwendung mehr.[17, 38]

7.3.1.2 Kreuzbandnaht

Die Kreuzbandnaht wurde bis in die 80er Jahre des 20.Jahrhunderts für Bandrupturen bevorzugt. Dafür wurden die abgerissenen Enden im Sinne einer Heilung wieder zusammengefügt. Heute ist dieses Verfahren aufgrund der schlechten Langzeitergebnisse obsolet und daher keine Therapieoption mehr. [46, 47]

7.3.2 Hinteres Kreuzband

Die Operation der hinteren Kreuzbandruptur ist schwieriger und daher selten. Da die konservative Therapie recht gute Ergebnisse zeigt, ist eine Indikation für einen operativen Eingriff in der Regel nur bei kombinierten Bandrupturen gegeben.[48] Derzeit kommen bei einem hinteren Kreuzbandriß drei operative Verfahren zur Anwendung.[49]

1. Die anatomische Rekonstruktion des anterolateralen Hauptbündels in Single-incision-Technik unter Verwendung von Hamstring-Sehnen [50]
2. Die anatomische Rekonstruktion beider Bündel
3. Die Tibial-Inlay-Technik [51]

7.3.2.1 Single-incision-Technik (Hamstrings)

Die Gewinnung der Hamstringsehnen für ein Transplantat für ein hinteres Kreuzband erfolgt quasi ident zum vorderen. Der einzige Unterschied liegt darin, daß für das hintere Kreuzband immer beide Sehnen (Semitendinosusehne und Gracilissehne) benötigt werden.[52] Man setzt medial und distal der Tuberositas tibiae einen Schnitt und präpariert das Pes anserinus superficialis. Dann gewinnt man mit dem Sehnenstripper die Sehnen des M. Semitendinosus und M. gracilis. Danach müssen die Sehnen präpariert werden. Dies geschieht folgendermaßen: die Semitendinosusehne wird an ihren Enden mit einem Faden in Baseball-Stitch-Technik armiert.[52] Anschließend werden die Enden so nach innen geklappt, daß der mittlere Anteil der Sehne mindestens 10cm lang ist.[52] Bevor nun noch die gedoppelte Gracilissehne auf die Semitendinosusehnenenden genäht wird, werden in die Semitendinosusehnen-schleifen Durchzugsfäden eingebracht.[52] Die Gracilissehnen-schleife zeigt das spätere femorale Ende des Transplantats.[52]

7.3.2.2 Tibial-Inlay-Technik

Bei dieser Methode wird das mittlere Drittel des Ligamentum patellae samt patellarem (2x0.8cm) und tibialem (2,5x1cm) Knochenblock entnommen.[53] Die Knochenblöcke werden mit resorbierbaren Fäden armiert. Nach Spaltung der Faszie des M. vastus medialis und Einbringen eines Bohrdrhtes zum Zentrum des anterolateralen Bündels wird dieser in Outside-in-Technik am medialen Femurkondylus überbohrt und der patellare Knochenblock bündig mit der Innenseite des Femurkondylus hineingezogen.[53] Daraufhin wird der patellare Knochenblock mittels Titan-Interferenzschraube fixiert.[53] Über den dorsalen intermuskulären Gastrocnemiuszugang unter Eröffnung der Poplitealfaszie gelangt man zur dorsalen Kniegelenkscapsel, nach deren Inzision das freie

tibiale Transplantatende sichtbar ist.[53] Dieses wird, nachdem eine Rinne in der Größe von 2,5x1cm ausgemeißelt wurde, in diese Rinne eingepaßt und bei 70° Beugung mit ausgelöster vorderer Schublade mit einem Bohrdraht fixiert.[53] Anschließend wird das Knochenstück eingelozt und mit zwei Kleinfragmentschrauben fixiert.[53]

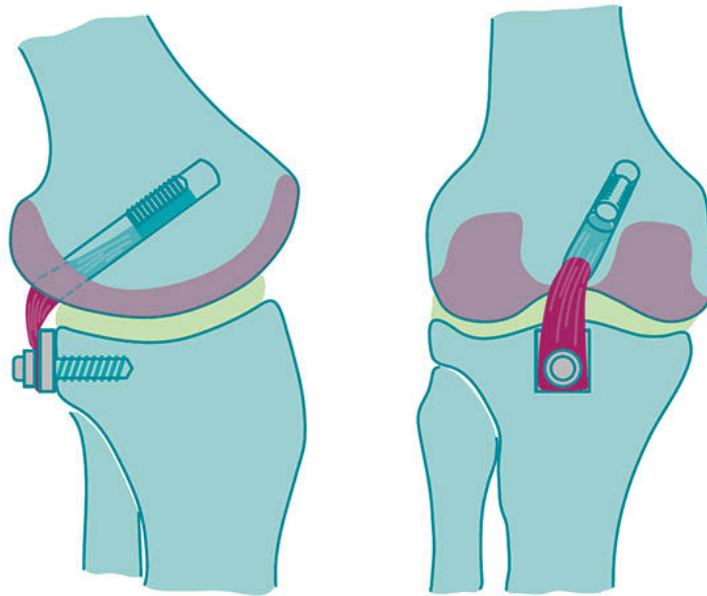


Abbildung 18: Dieses Bild zeigt schematisch die Tibial-Inlay-Technik[54]

Teil III

Spezieller Teil

8 Einleitung

Das Herstellen anatomisch korrekter Verhältnisse ist für die Rekonstruktion nach einer Ruptur des hinteren Kreuzbandes zwingend erforderlich, um zufriedenstellende klinische Ergebnisse wie auch anterior-posterior- und Rotationsstabilität zu erreichen. Die Häufigkeit eines hinteren Kreuzbandrisses ist aufgrund des größeren Querschnitts und der damit verbundenen höheren Belastbarkeit deutlich geringer als die des vorderen Kreuzbandes und liegt bei etwa 5-10 pro 100.000 pro Jahr.[55, 56, 57]

Das primäre Ziel dieser Studie war die Evaluierung des tibialen und femoralen Ansatzes des hinteren Kreuzbandes (PCL) durch ein objektives Koordinatensystem in einer Kadaverstudie. Ein zweites Ziel war die Beschreibung der Reproduzierbarkeit dieser Messungen mit dem Koordinatensystem unter Benutzung des Intraobserverkoeffizienten. Die Studienhypothese war, daß die bereits existierenden radiologisch ermittelten Annahmen des tibialen und femoralen Ansatzes des PCL in einer Kadaverstudie bestätigt werden können und, daß die Methode für die Bestätigung reproduzierbar im Sinne des intra- und interobserver Koeffizienten ist.

9 Material und Methodik

9.1 Vorbereitung der Kniegelenke

Wir untersuchten 64 Kniegelenke, die nach der Technik von Thiel konserviert wurden.[58] Nachdem das hintere Kreuzband identifiziert war, wurden sowohl die Kreuzbänder als auch das tibiale und fibulare Seitenband durchtrennt. Der verbleibende Stumpf des hinteren Kreuzbandes an Tibia und Femur wurde erneut identifiziert. Anschließend wurde das Zentrum des tibialen und femoralen Ansatzes mit einem grünen Stift markiert. Dieser Punkt wurde visuell bestimmt. Dann fotografierten wir die Tibia entsprechend der Kriterien der zuvor benutzten Protokolle und zeichneten ein Koordinatensystem mit der Hand.[59] Anschließend fotografierten wir die um 45° nach außen rotierten femora nach den gleichen Richtlinien. Danach druckten wir die standardisierten Bilder aus und bestimmten den tibialen und femoralen Ansatz des hinteren Kreuzbandes, zeichneten, nach zuvor genannten Richtlinien das Koordinatensystem und beschrieben die Endpunkte in Abhängigkeit von X- und Y-Achse der tibialen und femoralen Ansicht. Dieses Verfahren wurde zweimal durchgeführt, um zuverlässige und objektive Messungen nach Cohen's Kappa zu erhalten.



Abbildung 19: Dieses Bild zeigt die anatomische Aufbereitung der später vermessenen Kniegelenke

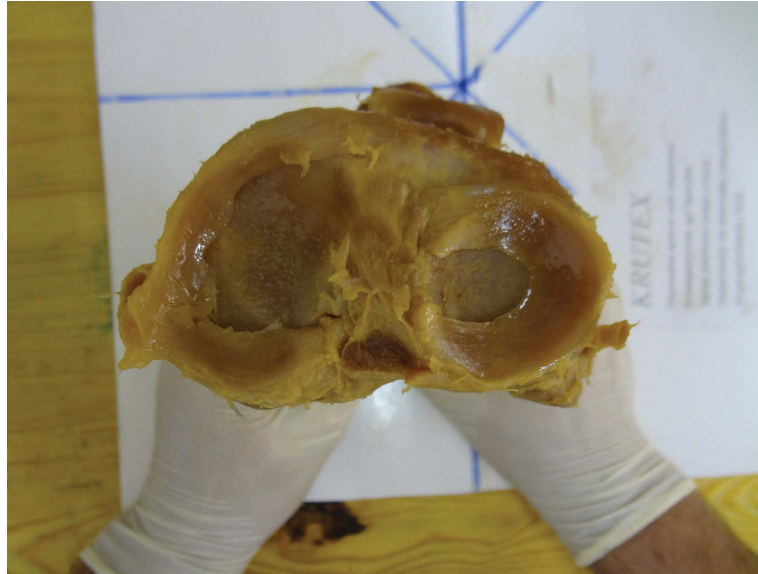


Abbildung 20: Dieses Bild zeigt das präparierte Tibiaplateau und gehört zu den Bildern anhand derer die Messwerte für die Studie erhoben wurden.



Abbildung 21: Dieses Bild zeigt den distalen Femur mit der Fossa intercondylaris, der um 45° nach außen rotiert wurde.

9.2 Konstruktion und Validierung des Koordinatensystems

Das Koordinatensystem wurde wie folgt auf den Fotos gezeichnet: Die Koordinaten des tibialen Ansatzes des hinteren Kreuzbandes wurden in einer strikt cranio-caudalen Ansicht eingezeichnet und vermessen. Der Null-Punkt des Koordinatensystems lag in der postero-medialen Ecke eines Rechtecks auf dem Tibiaplateau. Sowohl die X- als auch die Y-Achse wurde in 10 Einheiten eingeteilt. Der Hinterrand der facies articularis superior tibiae wurde als X-Achse definiert.

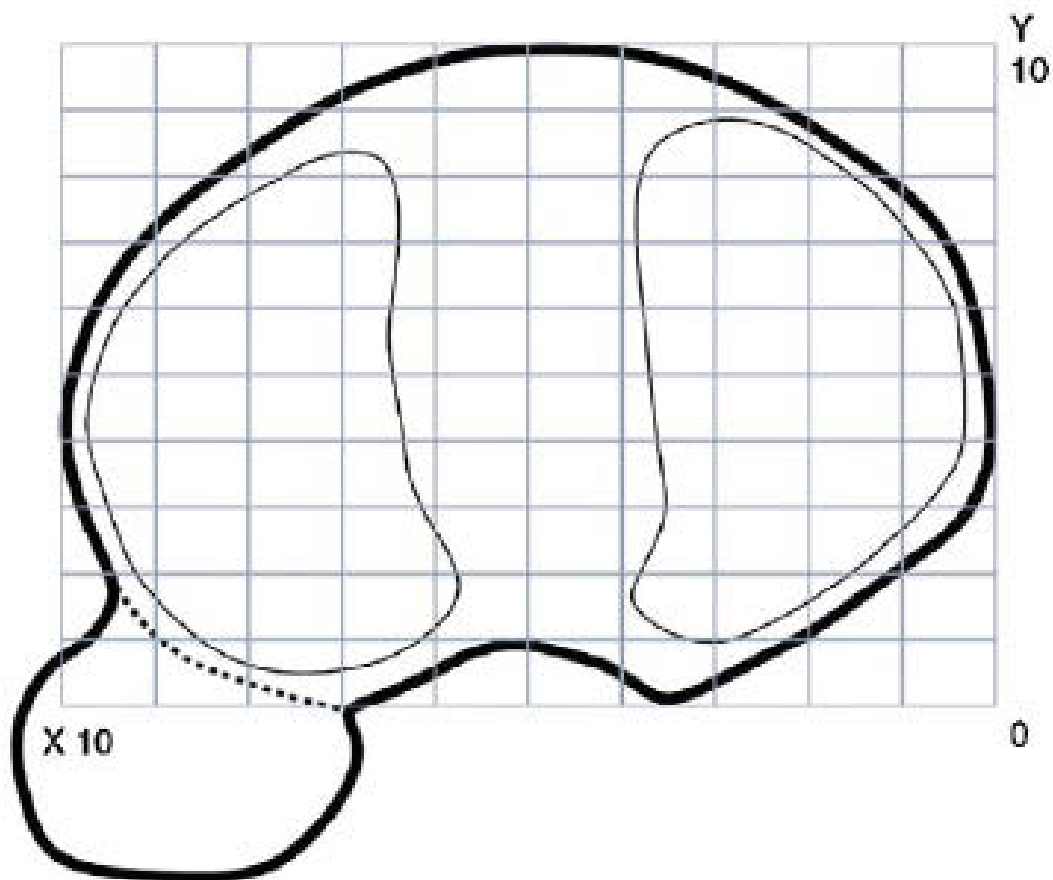


Abbildung 22: Die Abbildung demonstriert wie das verwendete Koordinatensystem zur Vermessung über das Tibiaplateau gelegt wurde[59]

Um die Ergebnisse aus der fossa intercondylaris femoris zu optimieren, rotierten wir das Kniegelenk von der strikt posterior-anterior Ansicht des Femurs um 45° nach außen, um eine bessere Sicht auf die Innenseite des medialen Kondylus zu bekommen. Die Rotation wurde durch einen konventionellen Graphometerkreis überprüft. Die Y-Koordinate (cranio-caudal) lag zwischen dem cranialen Beginn des Femurkondyls und seinem caudalen Ende und besaß, wie bereits erwähnt, einen Wert zwischen 0 und 10. Die X-Koordinate lag zwischen dem artikulierenden Rand des Femurs, welcher als 0 und dem lateralen Ende des lateralen Kondylus welcher als 10 definiert wurde.

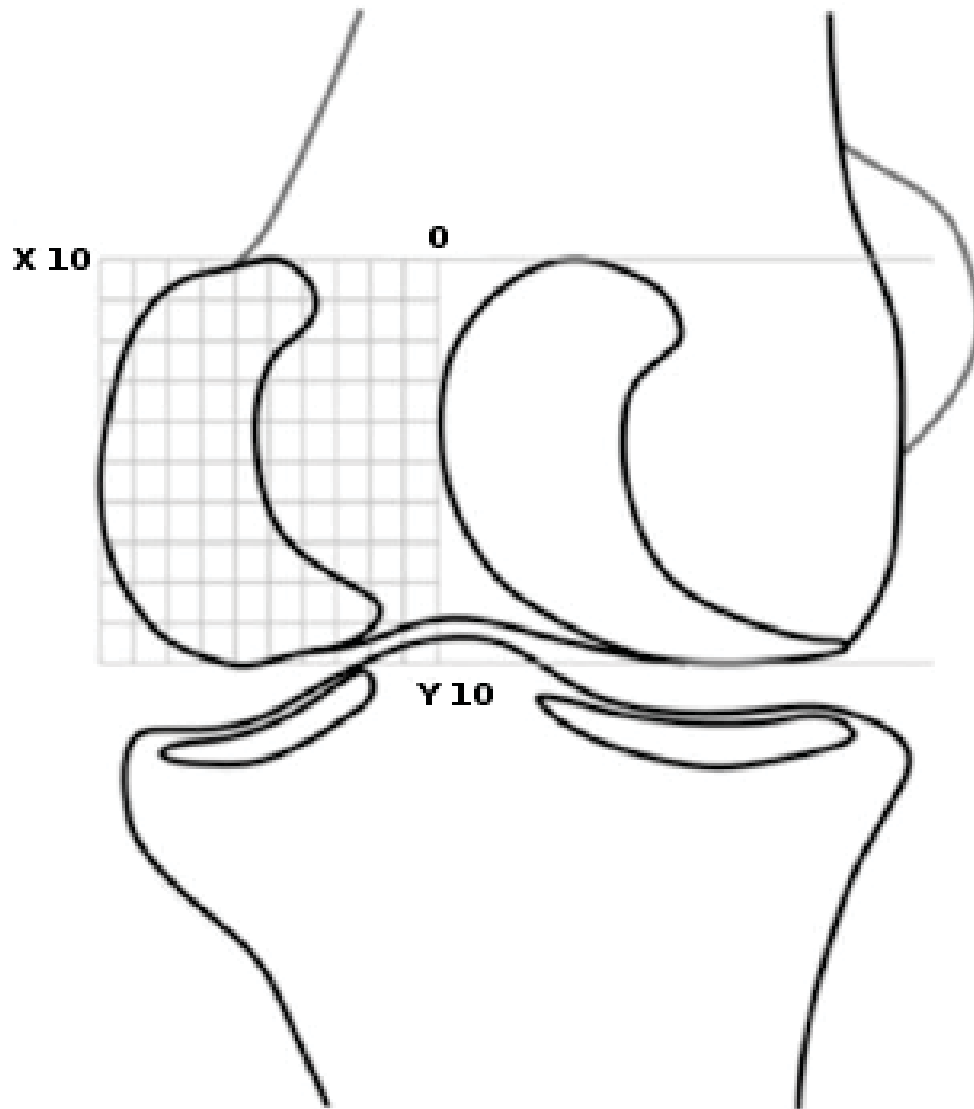


Abbildung 23: Diese Abbildung zeigt wie das verwendete Koordinatensystem am Femur angewendet wurde[59]

Wir berechneten die Durchschnittswerte nach zwei Messungen für die Tibia und das Femur und berechneten den Intraobserverkoeffizienten

9.3 Statistische Analyse

Die Zuverlässigkeit der Erstellung der Bilder und der Kennzeichnung der Ansatzstelle auf unserem Koordinatensystem wurde durch den Cohens' kappa Koeffizienten für intraobserver Zuverlässigkeit evaluiert. Der Kappa Koeffizient ist ein Parameter für die Beobachtungsübereinstimmung und bewegt sich von 1 (perfekte Übereinstimmung) über 0 (Übereinstimmung im Bereich des Zufalls) bis hin zu negativen Werten (Übereinstimmung sogar unter Zufallswahrscheinlichkeit). Der Vergleich der Koordinaten des

tibialen und femoralen Ansatzes der beiden Messungen erfolgte immer nur für die Werte einer Achse des Koordinatensystems. Für die statistische Analyse wurde SPSS 13.0 für Windows benutzt, wobei ein P-Wert von weniger als 0.05 als statistisch signifikant angenommen wurde.

10 Ergebnisse

Alle Bilder von Tibia und Femur wurden auf die beschriebene Art und Weise vermessen. Die tibialen und femoralen Koordinaten wurden mit einer substantiellen Übereinstimmung nach Cohen's Kappa hinsichtlich des Intraobserverkoeffizienten bemessen ($\kappa > 0.8$). Die Durchschnittswerte nach zwei Messungen zeigten einen tibialen Ansatz T (4.8;1.4) und den femoralen Ansatz F (1.8;6.4). Für detaillierte Ergebnisse siehe Tabelle 1

	Tibialer Ansatz	Femoraler Ansatz
Beobachter 1 Zeitpunkt 1	T(4.9;1.4)	F(1.7;6.6)
Beobachter 1 Zeitpunkt 2	T(4.7;1.3)	F(1.8;6.2)
Durchschnittswerte nach 2 Messungen	T(4.8;1.4)	F(1.8;6.4)

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die Mittelwerte, der unter Verwendung eines objektiven Koordinatensystems ermittelten Messwerte des tibialen und femoralen Ansatzes jeder Messung sowie den Mittelwert nach zwei Messungen

11 Diskussion

Das primäre Ziel dieser Studie war die Evaluierung des tibialen und femoralen Ansatzes des hinteren Kreuzbandes (PCL) durch ein objektives Koordinatensystem in einer Kadaverstudie. Das sekundäre Ziel bestand darin, die Reproduzierbarkeit der Messungen anhand des Koordinatensystems unter Verwendung des Intraobserverkoeffizienten zu beschreiben. Wir konnten den tibialen und femoralen Ansatz des hinteren Kreuzbandes evaluieren und mit Hilfe des Cohen's Kappa Intraobserverkoeffizienten zeigen, daß unsere Messergebnisse objektiv und reproduzierbar sind.

11.1 Grenzen und Benefit der Studie

Diese Studie weist folgende Limitierungen auf: Obwohl wir die Genauigkeit der Messungen mit Hilfe des Cohen's Kappa Intraobserverkoeffizienten für die makroskopischen Resultate festgestellt haben, fehlt uns die mikroskopische Analyse des hinteren Kreuzbandes bezüglich seiner zwei Bündel. Desweiteren fehlt noch die Messung der Interobservergenauigkeit durch einen zweiten Beobachter.

Der Benefit der Studie sieht wie folgt aus: Der tibiale und femorale Ansatz des hinteren Kreuzbandes wurde an einer relativ großen Anzahl an Kniegelenken von Leichen unter standardisierten Bedingungen unter Verwendung des Intraobserverkoeffizienten evaluiert. Die Präparation von Kniegelenken von Leichen wird in der wissenschaftlichen Literatur hoch geschätzt, da sie wirklich anatomische Ergebnisse garantiert.[58]

11.2 Schlußfolgerung

Unsere Ergebnisse zeigen, daß die Bemessung des hinteren Kreuzbandes durch die beschriebene Technik möglich, gültig und reproduzierbar ist und wir hoffen, daß dadurch zukünftig KollegInnen bei der anatomischen Ausrichtung ihrer Transplantate geholfen werden kann.

11.3 Klinische Relevanz

Ein gutes Verständnis vom tibialen und femoralen Ansatz des hinteren Kreuzbandes ist essentiell für Kniechirurgen, um ein optimales klinisches Ergebnis nach einer chirurgischen Intervention garantieren zu können.

12 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] Platzer W.
Taschenatlas der Anatomie in 3 Bänden: Bewegungsapparat / Werner Platzer.
8th ed. Taschenatlas Anatomie. Thieme; 2003.
- [2] Rohen JW, Lütjen-Drecoll E.
Funktionelle Anatomie des Menschen: Lehrbuch der makroskopischen Anatomie
nach funktionellen Gesichtspunkten.
Schattauer; 2006.
- [3] Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R.
Waldeyer Anatomie des Menschen.
17th ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter; 2003.
- [4] Faller A, Schünke M.
Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion.
15th ed. Thieme; 2008.
- [5] Gray H. Anatomy of the Human Body:6c. 3. The Femur;.
Available from: <http://www.bartleby.com/107/59.html> [cited 13.12.2013].
- [6] Gray H. Anatomy of the Human Body:6c. 4. The Patella;.
Available from: <http://www.bartleby.com/107/60.html> [cited 13.12.2013].
- [7] Gray H. Anatomy of the Human Body:6c. 5. The Tibia;.
Available from: <http://www.bartleby.com/107/61.html> [cited 13.12.2013].
- [8] Adam F, Kohn D.
Knie 67 Tabellen.
Orthopädie und orthopädische Chirurgie. Thieme; 2005.
- [9] Gray H. Anatomy of the Human Body:7b. The Knee-joint;.
Available from: <http://www.bartleby.com/107/93.html> [cited 13.12.2013].
- [10] Moll KJ, Moll M.
Anatomie: Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog 1.
15th ed. Lübeck, Stuttgart, Jena, Ulm: Gustav Fischer; 1997.
- [11] Budras KD.
Atlas der Anatomie des Hundes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende.
Schlütersche; 2007.

- [12] Kaufman KR, An KN, Litchy WJ, Morrey BF, Chao EY.
Dynamic joint forces during knee isokinetic exercise.
Am J Sports Med. 1991;19(3):305–316.
- [13] Scott SH, Winter DA.
Internal forces of chronic running injury sites.
Med Sci Sports Exerc. 1990 Jun;22(3):357–369.
- [14] Dornblüth O, Pschyrembel W.
Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.
de Gruyter; 2004.
- [15] Tillmann B, Rauber A, Leonhardt H.
Anatomie des Menschen: Bewegungsapparat / hrsg. und bearb. von B. Tillmann
und G. Töndury. Neuzeichn. von Lothar H. Schnellbacher.
Thieme; 1998.
- [16] Rössler H, Rüter W.
Orthopädie und Unfallchirurgie.
Student Consult. Elsevier, Urban & Fischer; 2007.
- [17] Wülker N, Kluba T, Rehart S, Reize P, Roetman B, Rudert M.
Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie.
2nd ed. Wülker N, editor. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010.
- [18] Niethard FU.
Orthopädie compact: alles für Station und Facharztprüfung ; 41 Tabellen.
Intensivkurs zur Weiterbildung. Thieme; 2005.
- [19] Gray H. Anatomy of the Human Body:6c. The Popliteal Artery;.
Available from: <http://http://www.bartleby.com/107/159.html> [cited
13.12.2013].
- [20] Kennedy JC, Alexander IJ, Hayes KC.
Nerve supply of the human knee and its functional importance.
The American Journal of Sports Medicine. 1982;10(6):329–335.
Available from: <http://ajs.sagepub.com/content/10/6/329.abstract>.
- [21] Rubinstein RA, Shelbourne KD, McCarroll JR, VanMeter CD, Rettig AC.
The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate liga-
ment injuries.
Am J Sports Med. 1994;22(4):550–557.
- [22] Fowler PJ, Messieh SS.
Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes.
Am J Sports Med. 1987;15(6):553–557.

- [23] Schabus R, Bosina E.
Das Knie: Der Ratgeber Für Das Verletzte Knie; Diagnostik, Therapie und Rehabilitation Bei Verletzungen Des Kniegelenks.
Springer London, Limited; 2007.
- [24] Petersen W, Zantop T.
Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie; mit 29 Tabellen.
Dt. Ärzte-Verlag; 2009.
- [25] KT 1000 Arthrometer;.
Available from: <http://www.lexikon-orthopaedie.com/pdx.pl?dv=0&id=01177;01177> [cited 18.02.2014].
- [26] KT 1000 Arthrometer;.
Available from: http://www.kilgoursportsmed.org/Template/content/Diagnostic/contents/Images/kt1000_2.jpg [cited 23.03.2014].
- [27] MRT vom Kniegelenk in seitlicher Aufnahme;.
Available from: http://www.dr-gumpert.de/uploads/RTEmagicC_hinterer_Kreuzbandriss.jpg [cited 23.03.2014].
- [28] Murrell GA, Maddali S, Horovitz L, Oakley SP, Warren RF.
The effects of time course after anterior cruciate ligament injury in correlation with meniscal and cartilage loss.
Am J Sports Med. 2001;29(1):9–14.
- [29] Roos H, Adalberth T, Dahlberg L, Lohmander LS.
Osteoarthritis of the knee after injury to the anterior cruciate ligament or meniscus: the influence of time and age.
Osteoarthr Cartil. 1995 Dec;3(4):261–267.
- [30] Beynnon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE.
Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I.
Am J Sports Med. 2005 Oct;33(10):1579–1602.
- [31] Beynnon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE.
Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2.
Am J Sports Med. 2005 Nov;33(11):1751–1767.
- [32] Kniegelenkinstabilität-Vordere-Kreuzbandruptur;.
Available from: <http://www.klinikum.uni-heidelberg.de/Kniegelenkinstabilitaet-Vordere-Kreuzbandruptur.110207.0.html> [cited 13.12.2013].
- [33] 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;363(4):331–342.
- [34] Steadman JR, Cameron-Donaldson ML, Briggs KK, Rodkey WG.
A minimally invasive technique ("healing response") to treat proximal ACL injuries in skeletally immature athletes.
J Knee Surg. 2006 Jan;19(1):8–13.
- [35] Koopmann C.
Versorgung einer vorderen Kreuzbandruptur: "Healing Response" versus Kreuzbandplastik in Semitendinosus-Quadruple Technik: Vergleich der postoperativen Ergebnisse; 2010.
- [36] Klein W.
Die arthroskopischen Kreuzbandplastiken.
SFA Arthroskopie Aktuell. 1994;(7).
Available from: http://www.arthro-joint.de/web/pages/publikationen/kreuzband/sfa7_a.html.
- [37] Boszotta H.
Arthroskopische VKB-Ersatzplastik mit BPTB-Transplantat in Press-fit-Technik.
Arthroskopie. 2013;26(1):42–46.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00142-012-0716-x>.
- [38] Hoher J, Tiling T.
Differential transplant selection in cruciate ligament surgery.
Chirurg. 2000 Sep;71(9):1045–1054.
- [39] Chen CH, Chen WJ, Shih CH.
Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone autograft.
J Trauma. 1999 Apr;46(4):678–682.
- [40] Anterior cruciate ligament repair - series;
Available from: <http://www.mybwmc.org/library/3/100230> [cited 13.12.2013].
- [41] Bio-Screws ? Erklärung, Vorteile & Nachteile;
Available from: <http://www.med-library.com/bio-screws-erklaerung-vorteile-nachteile/> [cited 15.12.2013].
- [42] Konan S, Haddad FS.
A clinical review of bioabsorbable interference screws and their adverse effects in anterior cruciate ligament reconstruction surgery.
Knee. 2009 Jan;16(1):6–13.
- [43] Franz W, Ulbrich J.

- Eine neue Technik zur Entnahme der Semitendinosussehne für den Kreuzbandersatz.
Arthroskopie. 2004;17(2):104–107.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00142-004-0255-1>.
- [44] Chen CH.
Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction.
Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol. 2009;1(1):21.
- [45] Weiler A. Anatomische "Hamstringsehnen"Verankerung mit Interferenzschrauben beim Kreuzbandersatz:Biomechanische und tierexperimentelle Untersuchungen;
Available from: <http://edoc.hu-berlin.de/habilitationen/weiler-andreas-2002-12-03/PDF/Weiler.pdf> [cited 16.12.2013].
- [46] Feagin JA, Curl WW.
Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study.
Am J Sports Med. 1976;4(3):95–100.
- [47] Pässler HH, Driessen A. Die Geschichte der Kreuzbandchirurgie;.
Available from: http://www.zentrum-hueft-knie-fusschirurgie.de/media/Publikationen/AN11_Paessler,%20Driessen_Die%20Geschichte%20der%20Kreuzbandchirurgie.pdf [cited 16.12.2013].
- [48] Lobenhoffer P, Lattermann C, Krettek C, Blauth M, Tscherne H.
Rupture of the posterior cruciate ligament: status of current treatment.
Unfallchirurg. 1996 Jun;99(6):382–399.
- [49] Altmann D.
Operativer Standard bei frischen Kreuzbandverletzungen.
Trauma und Berufskrankheit. 2006;8(2):S150–S154.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10039-006-1156-5>.
- [50] Weiler A, Jung TM, Strobel MJ.
Arthroscopic assisted posterior cruciate ligament reconstruction and posterolateral stabilisation using autologous hamstring tendon grafts.
Unfallchirurg. 2006 Jan;109(1):61–71.
- [51] Noyes FR, Barber-Westin S.
Posterior cruciate ligament replacement with a two-strand quadriceps tendon-patellar bone autograft and a tibial inlay technique.
J Bone Joint Surg Am. 2005 Jun;87(6):1241–1252.
- [52] Weiler A, Jung TM, Strobel MJ.
Arthroskopisch assistierter hinterer Kreuzbandersatz und posterolaterale Stabilisierung mit Semitendinosus-/Grazilissehnen.

- Der Unfallchirurg. 2006;109(1):61–71.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00113-005-1050-9>.
- [53] Benedetto KP.
Tibial-inlay-Technik beim hinteren Kreuzbandersatz.
Arthroskopie. 2006;19(3):258–264.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00142-006-0361-3>.
- [54] Landreau P.
PCL injury diagnosis and treatment options.
Aspetar Sports Medicine Journal. 2013 Jun;2(2):246–254.
Available from: <http://www.aspetar.com/journal/viewarticle.aspx?id=13#.U3o7a658b1Y>.
- [55] Bollen S.
Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage.
Br J Sports Med. 2000 Jun;34(3):227–228.
- [56] Wilcke A.
Vordere Kreuzbandläsion: Anatomie, Pathophysiologie, Diagnose, Therapie, Trainingslehre, Rehabilitation ; mit 106 Tabellen.
Steinkopff; 2004.
- [57] Rupp S, Kohn D.
The anterior cruciate ligament as focus of interest.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):701.
- [58] Thiel W.
The preservation of the whole corpse with natural color.
Ann Anat. 1992 Jun;174(3):185–195.
- [59] Sadoghi P, Borbas P, Friesenbichler J, Scheipl S, Kastner N, Eberl R, et al.
Evaluating the tibial and femoral insertion site of the anterior cruciate ligament using an objective coordinate system: a cadaver study.
Injury. 2012 Oct;43(10):1771–1775.