

# Diplomarbeit

## Der Ursprung des vorderen Kreuzbandes unter besonderer Berücksichtigung des antero-medialen und postero-lateralen Bündels: Eine morphologische Analyse

zur Erlangung des akademischen Grades

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

an der Medizinischen Universität Wien

**ausgeführt am**

Zentrum für Anatomie und Zellbiologie  
Abteilung für Systematische Anatomie  
Währinger Straße 13, A-1090 Wien

**unter der Anleitung von**

A.o. Univ.-Prof. Dr. Manfred Tschabitscher

**eingereicht von**

Sebastian Gabriel  
Matr.Nr. 0026745

---

Ort, Datum

Wien, 27. Juni 2011

---

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

**Danksagung**

**Zusammenfassung**

**Abstract**

## **1. Einführung**

1.1. Das Kniegelenk . . . . .	7
1.1.1. Von der Stabilität . . . . .	8
1.1.2. Die Kreuzbänder . . . . .	13
1.2. Das vordere Kreuzband . . . . .	14
1.2.1. Spezielle Anatomie des vorderen Kreuzbandes . . . . .	14
1.2.2. Das vordere Kreuzband hat verschiedene funktionale Anteile . . . . .	15
1.3. Klinische Anwendung: Kreuzbandläsionen und Rekonstruktionen . . . . .	19
1.3.1. Technik der Rekonstruktion . . . . .	19
1.4. Schlussfolgerungen . . . . .	21
1.5. Fragestellungen . . . . .	22

## **2. Material und Methoden**

2.1. Datengewinnung . . . . .	23
2.2. Datenauswertung . . . . .	25
2.3. Datentransformation . . . . .	30
2.3.1. Koordinatentransformation . . . . .	31

## **3. Resultate**

## **4. Diskussion**

### **A. Formulare**

A.1. Beschluss der Ethikkommission . . . . .	53
--	----

### **B. Abkürzungsverzeichnis und Nomenklatur**

## *Inhaltsverzeichnis*

**C. Abbildungsverzeichnis**

**D. Tabellenverzeichnis**

**E. Literaturverzeichnis**

**F. Index**

# Danksagung

Ich danke *Frau Dr. Karin Wiltschke-Schrotta* vom Naturhistorischen Museum Wien für die Zurverfügungstellung der Präparate sowie für die Hilfestellung bei der Anfertigung der fotografischen Aufnahmen, welche Ausgangspunkt dieser Studie waren.

Ein ganz besonderer Dank gilt *Frau Dr. Lena Hirtler* für die Anfertigung der Graphiken, sowie für Ihren besonnenen Rat und Ihre Expertise, sowie die fachlichen Diskussionen, welche sowohl diese Arbeit, als auch mich persönlich sehr bereichert haben.

Nicht vergessen möchte ich die zahlreichen Entwickler der freien Softwareprojekte, von denen auch in dieser Studie einige eingesetzt wurden (z. B. *R*, *ImageJ*, *Libre-Office*, *TEX*, *Ubuntu Linux*). Durch ihre unermüdliche, ehrenamtliche Tätigkeit in ihrem Bereich schaffen sie im Verborgenen ein wesentliches und in seiner Bedeutung unschätzbares Fundament für eine produktive Weiterentwicklung von Wissenschaft, Kultur und Gesellschaft.

# Zusammenfassung

Das vordere Kreuzband (ACL) ist ein zentrales Bauelement des Kniegelenkes und häufig Gegenstand von chirurgischen Interventionen im Sinne von Ligamentrekonstruktionen. Als anatomische Orientierungspunkte am femoralen Ursprungort wurden verschiedene Strukturen beschrieben, darunter die laterale Interkondylärleiste (LIR), auch bekannt als resident's ridge, und die laterale Bifurkationsleiste (LBR). Gegenstand der Untersuchung war die Ermittlung der Prävalenz der LBR an skelettierten menschlichen Oberschenkelknochen.

**Methodik** 166 skelettierte Knochen aus der Sammlung des Naturhistorischen Museums Wien, welche ursprünglich aus verschiedenen Gebeinhäusern in Österreich stammten, wurden unter standardisierten Bedingungen abfotografiert. Anhand der Bilder wurde der Ursprung des ACL hinsichtlich der knöchernen Strukturen, Abmessungen und Form vermessen und ausgewertet.

**Resultate** Die LBR konnte nur in 24,7 % der Fälle beobachtet werden. Die LIR war in 97,59 % vorhanden. Die Fläche war  $127.21 \text{ mm}^2$  (Median  $125,66 \text{ mm}^2$ ; SD  $32,54 \text{ mm}^2$ ), die Länge  $16,98 \pm 2,67 \text{ mm}$  und die Breite  $12,58 \pm 2,10 \text{ mm}$ . Hinsichtlich der Form und Winkel der Leisten zueinander konnte eine hohe Variabilität festgestellt werden.

**Schlussfolgerung** Die LBR kann aufgrund ihres seltenen Auftretens nicht bedenkenlos zur routinemäßigen Orientierung bei Kreuzbandrekonstruktionen empfohlen werden. Andere Strukturen, wie zum Beispiel die LIR, scheinen hilfreicher zu sein. Folgestudien zur Untersuchung der Prävalenzfaktoren der LBR sind angezeigt. Der Ursprung des ACL ist hinsichtlich Abmessungen, Größe, Form und Auftreten knöcherner Strukturen individuell sehr variabel.

## Abstract

The anterior cruciate ligament (ACL) is a key element of the knee and frequently subject to surgical reconstruction. To guide such a procedure, various landmarks of the femoral origin have been reported, such as the lateral intercondylar ridge, also known as resident's ridge, and the lateral bifurcate ridge (LBR). Subject of this trial was to determine the prevalence of the LBR in human cadaveric femurs.

**Method** 166 cadaveric femurs from the collection of the Museum of Nature of Vienna which originated from various ossuaries throughout Austria have been photographed under standardized conditions. On this photographs the origin of the ACL has been measured and analyzed regarding its length, width, area, bony structures and form.

**Results** The LBR could be found in only 24,7 % of the cases. The LIR was present in 97,59 %. The area was  $127.21 \pm 32,54 \text{ mm}^2$ , the length  $16,98 \pm 2,67 \text{ mm}$  and width  $12,58 \pm 2,10 \text{ mm}$ . Concerning the form and angles between the bony structures a high degree of variability could be observed.

**Conclusion** The LBR can not be recommended to be routinely used as a landmark during ACL surgery due to its lack of prevalence. Other structures like the LIR seem to be more of help. Follow up studies concerning factors of prevalence of the LBR are advised. The femoral origin of the ACL shows high variability regarding its dimensions, area, form and prevalence of bony structures.

# 1

## Einführung

Das Knie nimmt eine Schlüsselposition hinsichtlich der Mobilität und Stabilität des menschlichen Körpers ein. Es muss eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen bewältigen, dementsprechend komplex ist auch sein Aufbau. Durch die starke Belastung und Beanspruchung, sowohl im Alltag, als auch bei besonderer körperlicher Aktivität, gehören degenerative und verletzungsbedingte Schädigungen zum orthopädischen und unfallchirurgischen Alltag.

Neben den Kollateralbändern und den Menisci haben die Kreuzbänder eine wesentliche Funktion für die Stabilität des Kniegelenks.

### 1.1. Das Kniegelenk

**Grundsätzlicher Aufbau** Das Kniegelenk (*Articulatio genus*) ist vorrangig die bewegliche Verbindung zwischen dem Femur und der Tibia (*Art. femorotibialis*). Darüber hinaus steht der Femur mit der Kniescheibe (*Patella, Art. femoropatellaris*) in gelenkiger Verbindung. Beide Gelenke teilen sich eine Gelenkhöhle und sind von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umschlossen. Das femoro-tibiale Gelenk besteht auf beiden Seiten aus je zwei Kondylen (*bikondyläres Gelenk*). Die Kondylen auf femoraler Seite sind nach außen gewölbt. Auf der tibialen Seite sind die Gelenksflächen (*Facies*

## 1. Einführung

*superiores*) der Kondylen entsprechend einer Gelenkspfanne eher konkav ausgebildet. [1]

Der Erhöhung der Passgenauigkeit und Verringerung des Spitzendruckes bei Kompression durch Vergrößerung der Kontaktfläche dienen die *Menisci*. [2]. Sie sind Faserknorpel, welche in ihrer Form an den Buchstaben C erinnern, und sich rings um die Kontaktstelle der Kondylen keilförmig nach innen zuspitzend an die Gelenkskörper schmiegen. Sie bilden damit effektive *Gelenkspfannen* und vermindern somit den *Druck* der beiden Knochen aufeinander. Es gibt sowohl einen lateralen, als auch einen medialen Meniscus (*Menisci laterales et mediales*). Die Menisci stehen wiederum mit den Femur- und Tibia-Kondylen in gelenkiger Verbindung und können bei Beuge- und Rotationsbewegungen nach dorsal ausweichen. [1, 3]

**Beweglichkeit** Das Kniegelenk ist ein *Drehscharniergelenk (Trochoginglymus)* und erlaubt eine großzügige Beweglichkeit im Sinne einer Flexion und Extension in Sagittalebene (passiv  $160 - 0 - 10^\circ$  bei gebeugtem Hüftgelenk [4]), sowie eine begrenzte Rotation ( $10 - 0 - 30^\circ$  in Flexion [3]) in der Transversalebene. Bei Streckung des Femoro-Tibialgelenkes kommt es zu einer automatischen *Schlussrotation* nach außen von ca.  $5 - 10^\circ$  [1, 5]. Erst die Schlussrotation erlaubt die vollständige Extension. Befindet sich das Knie in Schlussrotationsstellung, ist eine Beugung erst nach Aufhebung selbiger möglich – das Knie ist in der Schlussrotationsstellung „eingerrastet“ [3, 6].

Nicht nur durch die Kombination einer Dreh- und einer Scharnierkomponente zeichnet sich das Knie als sehr flexibles und dynamisches Gelenk aus; betrachtet man die für die Flexion und Extension zuständige Scharnierkomponente genauer, erkennt man, dass sich die Bewegung aus einer Roll- und einer Gleitbewegung zusammensetzt, vgl. ➡ 1.1.1.3, Seite 10 [3, 7].

Ab- und Adduktionsbewegungen („Aufklappen“) sind nur in einem sehr geringen Maße möglich und werden von einem starken Bandapparat weitgehend unterbunden. Zu diesem Bandapparat gehören die Seitenbänder (*Ligg. collateralia mediale et laterale*), welche das Kniegelenk gegen Ab- und Adduktionsbewegungen stabilisieren [3].

### 1.1.1. Von der Stabilität

Eine besondere Bedeutung aus klinischer Sicht erlangt das Kniegelenk dadurch, dass das Gelenk, bzw. seine Strukturen in vielen, mit körperlicher Aktivität assoziierten Situationen, einen *locus minoris resistentiae* darstellt, da einerseits fast das halbe oder

## 1. Einführung

### T 1.1. | Bewegungen im Kniegelenk

		<b>Flexion</b>	<b>Extension</b>
<b>Flexion</b>	passiv	160°	—
<b>Extension</b>		—	10°
<b>Rotation</b>		10–0–30°	Schlussrotation
<b>Ab-/Adduktion</b>		gering	gering

auch ganze Gewicht des darüberliegenden Körpers auf ihm lastet, und andererseits sich der Fuß häufig in einer fixierten Stellung befindet. Das Kniegelenk ist demnach ein Schlachtfeld, auf dem sich die Kräfte einer ungestümen Bewegung und der Beharrung treffen. Die Leidtragenden sind (neben der Person an sich) die Strukturen des Gelenkes, welche ihm im Normalfall ein hohes Maß an Stabilität und (maßvoller) Flexibilität gleichermaßen sichern.

#### 1.1.1.1. Beteiligte Strukturen

Die Stabilität des Kniegelenkes ergibt sich aus verschiedenen synergistisch wirkenden Komponenten, die untereinander in *Wechselwirkung* stehen [2, S.47]. Aus dem Synergismus verschiedener Anteile ergibt sich im Umkehrschluss, dass bei Ausfall oder Insuffizienz eines Systems das andere einer erhöhten Belastung und folglich Abnutzung ausgesetzt ist. Daraus können sich längerfristig weitere Folgeprobleme durch Versagen des Synergisten oder Abnutzungserscheinungen ergeben [8, 9].

Wesentliche Säulen sind der Bandapparat, insbesondere die Seiten- und Kreuzbänder, die Muskulatur sowie die Kongruenz-schaffenden *Menisci*. Die ligamentären Stabilisatoren werden als *passive*, die beteiligte Muskulatur als *aktive Stabilisatoren* bezeichnet [2].

#### 1.1.1.2. Kongruenz

Das Kniegelenk weist im Vergleich mit anderen Gelenken eine wesentliche Besonderheit und vermeintliche Schwachstelle auf: Die knöchernen Kongruenz der Tibia und des Femurs ist äußerst gering und bedarf ausgefeilter Mechanismen zur Kompensation

## 1. Einführung

[7]. Dies hat zur Folge, dass das Knie in einem viel höheren Ausmaß auf diese Hilfsstrukturen angewiesen ist, um eine sinnvolle Funktion erfüllen zu können, als andere Gelenke, insbesondere wenn man die im Vergleich hohe mechanische Belastung des Kniegelenks bedenkt.

Die klassische Struktur, die einem in den Sinn kommt, wenn man von der Kongruenz des femero-tibialen Gelenks spricht, sind die Menisci. Durch ihre charakteristische Form sind sie prädestiniert um zwischen den beiden Knochen zu vermitteln.

Der Schlüssel zur Kongruenzstellung der Gelenksflächen von Tibia und Femur sind jedoch die Kreuzbänder [7]. Dies mag auf den ersten Blick widersinnig erscheinen, schließlich vergrößern sie die Kontaktflächen der Knochen nicht; ihre Rolle erschließt sich jedoch in der *funktionalen* Betrachtung und wird spätestens bei Insuffizienzen der Kreuzbänder sowie deren Spätfolgen deutlich.

### 1.1.1.3. Das Modell der überschlagenen Viergelenkskette

In seinem 1982 erschienenen Übersichtswert *Das Knie* [7] demonstriert Müller eindrucksvoll das von *Menschik et al.* [10, 11] beschriebene Modell der *überschlagenen Viergelenkskette* als elementares Konstruktionsprinzip des Kniegelenkes hinsichtlich der Flexions- und Extensionsbewegung. Das Modell geht von zwei an jeweils einem Ende („proximales Ende“) beweglich fixierten Schenkeln aus, welche den beiden Kreuzbändern entsprechen. Die Schenkel überkreuzen sich, an den anderen („distalen“) Enden wird eine gerade Leiste angebracht, ebenfalls mittels beweglicher Verbindungen. Die proximalen Enden entsprechen der Fixierung am Femur, die distal angebrachte Leiste dem Tibiaplateau.

Bewegt man nun die Leiste und zeichnet in regelmäßigen Abständen entlang der Leiste eine Gerade, so erhält man eine *Hüllkurve*. Das bedeutet, dass die Führung durch die Kreuzbänder das Tibiaplateau zu einer dauerhaften Tangente der Hüllkurve der idealisierten Femurkondylrollen verwandelt.

Betrachtet man die Bewegung des simulierten Tibiaplateaus und der Femurkondylen, sowie deren Stellung zueinander, genauer, so erkennt man, dass die Femurkondylen an der Tibia einerseits abrollen, andererseits verschieben sich aber auch die Flächen gegeneinander im Sinne einer Gleitbewegung. Die Flexions-Extensionsbewegung ist somit eine durch die Kreuzbänder vermittelte *Roll-Gleitbewegung*.

Die Kreuzbänder erzeugen also eine *Kongruenz* dadurch, dass sie die am Gelenk beteiligten Knochen gleichsam an der Leine führen (Stabilisierung in Saggitalebene)

## 1. Einführung

wie ein Reitlehrer ein Pferd am Rundparcour, und dabei die charakteristische Roll-Gleitbewegung erzeugen.

### 1.1.1.4. Rotationsstabilität

Zuständig für die Rotationsstabilität sind – neben ihren anderen Funktionen – die Kreuzbänder, welche im weiteren Verlauf (☞ 1.1.2, Seite 13 ff) näher beschrieben werden.

### 1.1.1.5. Muskelstabilität

Die Muskulatur sorgt für die aktive Kraftentwicklung im Kniegelenk, sie gliedert sich grob in eine *Extensoren-* und eine *Flexorengruppe*

Für die **Extension** ist die Quadriceps-Gruppe (*M. quadriceps*) zuständig, bestehend aus den *Mm. vastus lateralis, medialis, intermedius* und *rectus femoris*. Für die **Flexion** (FL), sowie ferner für die **Innen-** (IR) und **Außenrotation** (AR), sorgen die *Mm. biceps femoris* (FL, AR), *semitendinosus* (FL, IR), *semimembranosus* (FL, IR), *gracilis* (FL, IR), *gastrocnemius* (FL) und *popliteus* (IR, FL). [3]

Neben ihrer eigentlichen Aufgabe dienen die Muskeln gemäß Ihrer regulären Funktion auch als *aktive Stabilisatoren*, indem sie unphysiologischen Bewegungen entgegenwirken [2].

Die *Mm. sartorius, semitendinosus* und *gracilis* haben distal, medial der Tuberositas tibiae, eine gemeinsame Ansatzsehne und bilden den, wegen des Auffächerns des Sehnenendes einem Gänsefuß ähnelnde, *Pes anserinus superficialis* [3]. Ausgehend vom *Pes anserinus superficialis* können Sehnenfasern der *Mm. semitendinosus* und *gracilis* als Kreuzbandersatz gewonnen werden [12]. Die Sehne des *M. semimembranosus* teilt sich in drei Züge und bildet darunter den *Pes anserinus profundus* [3].

### 1.1.1.6. Orientierung

**Bezeichnungen in der arthroskopischen Praxis** Neben den klassischen anatomischen Bezeichnungen (anterior, posterior, proximal, distal) haben sich im klinischen Sprachgebrauch, bedingt durch flektierte Lagerung bei arthroskopischen Operationen, andere Richtungs- bzw. Positionsangaben etabliert. Diese beziehen sich auf das in 90°-Stellung gelagerte Knie und den üblichen frontalen endoskopischen Zugang.

## 1. Einführung

Demnach werden die proximalen Bereiche als **deep**, die distalen, dem Untersucher zugewandten, Strukturen als **shallow** bezeichnet. Die frontalen/anterioreen Strukturen werden als **high** bezeichnet, die dorsalen/posteriores wandeln sich zu **low**. [13, 14]

**Uhren** Für Positionsangaben im Interkondylarbereich lässt sich auch das *Uhrenmodell* anwenden. Dabei wird in den Bogen des interkondylären Notch das Ziffernblatt einer imaginären Uhr eingebettet. Die Angaben für die Uhrzeit der Zentren des antero-medialen und posterolateralen Segments variieren, Muneta et al. [15] gibt 12:30 für das AM- und 01:30 für das PL-Zentrum an. Mochizuki et al. [16] jedoch gibt die Uhrzeiten mit 01:40 (AM) und 3:10 (PL) an. Beide Angaben beziehen sich auf das *linke* Knie. Schon aus dieser Differenz ist ersichtlich, dass dieses Beschreibungsmodell für eine exakte Beschreibung unzuverlässig ist.

Das Uhrenmodell ist jedoch schon allein deshalb problematisch, da es sich um eine zweidimensionale Projektion handelt, die der dreidimensionalen Struktur und den unterschiedlichen Gelenksstellungen nicht gerecht wird [17]. *Siebold et al.* [17] schlägt ein modifiziertes Uhrenmodell vor, welches sich auf den Aspekt bei einer Flexion von 102° bezieht. Dadurch soll die Verbindungslinie der beiden Zentren in der Horizontalen liegen. Er gibt eine kombinierte Uhrzeit von 11:00 ± 30 min (für das rechte Knie) an.

**Weitere Orientierungslinien** Die ursprünglich aus der Radiologie stammende **Blumensaat-Linie** wird häufig als Referenz für Lagebeziehungen verwendet [18–20]. Sie entspricht einer Geraden, die durch das kortikale Dach der *Fossa intercondylaris* gelegt wird [21]. Schematisch ist sie in der Abbildung  1.2a, Seite 18, dargestellt. Das in dieser Studie verwendete Messraster basiert auf der Blumensaat-Linie, vgl.  2.2, Seite 26.

## 1.1.2. Die Kreuzbänder

*Ligg. cruciata genus*

**Allgemein** Das vordere und das hintere Kreuzband entspringen der Fossa intercondylaris ossis femoris und ziehen, sich dabei in der Regio intercondylaris überkreuzend, zu den Areae intercondylares anterior et posterior tibiae.

Das **vordere Kreuzband** (VKB, *Lig. cruciaticum anterius*, (engl.) *anterior cruciate ligament, ACL*) verläuft in der Fossa intercondylaris von proximal-posterior-lateral nach distal-anterior-medial zur Area intercondylaris tibia anterior zwischen den Tibiakondylen und ist bei Flexion in sich torquiert, vgl. Abbildung A 1.1, Seite 18 [22–25]. Das ACL ist 22–39 mm lang [4, 26].

Das **hintere Kreuzband** (HKB, *Lig. cruciaticum posterius*, (engl.) *posterior cruciate ligament, PCL*) verläuft spitzwinkelig dazu, von proximal-anterior-medial nach distal-posterior-lateral zur Area intercondylaris posterior [7, 23]. Es hat eine Länge von ca. 17,8 mm und ist damit deutlich kürzer als das ACL [27, 28]. Das hintere Kreuzband ist in Flexion, ebenso wie das ACL, in Folge der relativen Positionsänderung von Ursprung und Ansatz, in sich gedreht [25]. Die Kreuzbänder liegen extrasynovial, jedoch innerhalb der Membrana fibrosa. Vom chirurgischen Standpunkt sind sie – wenn auch nicht anatomisch-definitionsgemäß korrekt – als intraartikulär zu betrachten.

**Funktion** Die Kreuzbänder dienen hauptsächlich der Stabilisierung von Femur und Tibia in Saggitalebene, sodass die Knochen nicht gegeneinander verschoben werden können. Bei einer Insuffizienz kommt es klinisch zu dem sogenannten Schubladen-Phänomen, bei dem in Beugestellung die Tibia nach vorne gezogen (*vordere Schublade*, Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes) oder nach hinten gedrückt (*hintere Schublade*, Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes) werden kann [22, 29].

Zusätzlich haben die Kreuzbänder auch einen Anteil an der frontalen und der horizontalen Stabilisierung [22].

## 1.2. Das vordere Kreuzband

### 1.2.1. Spezielle Anatomie des vorderen Kreuzbandes

#### 1.2.1.1. Vaskularisation

Die Blutversorgung des ACL erfolgt zum Großteil über die *A. media genus* [3], zum Teil aber auch über die *Aa. inferiores medialis et lateralis genus* [28, 30]. Der fibrocartaliginäre Teil des anteromedialen Ursprunges, sowie des gesamten Ansatzes, ist avaskulär [28, 31]. Grundsätzlich ist das vordere Kreuzband schlecht durchblutet, woraus eine schlechte spontane Wundheilungstendenz resultiert [3].

#### 1.2.1.2. Innervation

Die Funktion der Kreuzbänder beruht nicht alleine auf ihren physikalisch-mechanischen Eigenschaften [1]. Im Jahre 1984 konnte *Schultz et al.* [32] erstmals Mechanorezeptoren im menschlichen Kreuzband nachweisen und vermutete damals schon, dass diese einen Beitrag zur Propriozeption leisten.

Vier Jahre später konnte *Schutte et al.* [33] drei verschiedene Typen von Rezeptoren nachweisen: Zwei langsam adaptierende Rezeptoren vom Ruffini-Typ, sowie ein schnell adaptierender Rezeptor vom Pacini-Typ. Zusätzlich fand er, im relativ geringen Ausmaß, freie Nervenendigungen. Das Nervengewebe nahm in seiner Untersuchung etwa 1 % der Querschnittsfläche ein.

*Adachi et al.* [34] konnte nachweisen, dass das Vorhandensein von Mechanorezeptoren mit dem *joint position sense* korreliert und somit die propriozeptive Funktion von der Anzahl der Rezeptoren abhängig zu sein scheint. In einer elektrophysiologischen Untersuchung mittels evozierter Potentiale konnte eine Korrelation zwischen der Stärke der Reizantwort und der Stabilität des Kniegelenks gezeigt werden [35]. Ebenso wurde gezeigt, dass eine Reinnervation nach einer Rekonstruktion grundsätzlich möglich ist und dass die sensorischen Neurone in einem gewissen Umfang in den Überresten des Kreuzbandes bewahrt werden können [35]. Dies wirft die Frage auf, ob es sinnvoll sei, Reste des ACL in situ zu belassen [34].

## 1.2.2. Das vordere Kreuzband hat verschiedene funktionale Anteile

Das vordere Kreuzband hat – obwohl es auf den ersten Blick morphologisch als eine Einheit erscheint – verschiedene Anteile, welche je nach Stellung des Kniegelenkes unterschiedlich beansprucht werden bzw. eine unterschiedliche Funktion zu haben scheinen. Nach der gängigen Auffassung besteht es aus verschiedenen Bündeln, wobei strittig ist, ob diese morphologisch, phylogenetisch oder rein funktionell definiert und angelegt sind. Dementsprechend ist die Unterteilung des ACL nicht eindeutig. Die Unterscheidung eines

- **antero-medialen (AMB)** und eines
- **postero-lateralen (PLB)** Bündels

hat sich in der Literatur weitgehend durchgesetzt [17, 28, 29, 36–39]. Die Benennung der Bündel erfolgt gemäß ihrer Insertionsstelle an der Tibia [40]. Einige Autoren unterscheiden zusätzlich noch ein *intermediäres* Bündel [22, 26, 39].

Aufgrund seiner Lage ist das vordere Kreuzband und seine Bündel nicht als statische, monomorphe Einheit zu verstehen. Änderungen in der Stellung des Kniegelenks bedingen zwangsläufig eine Änderung der Lagebeziehungen sowohl zu externen Strukturen und den Orientierungsebenen, sowie der Bündel zueinander. Das anteromediale Bündel ist in Flexion, das posterolaterale in Extension gespannt [14, 26, 41]. Während in Extension das ACL linear, d. h. mit einem parallelen Faserverlauf, verläuft, kann man in Flexion feststellen, dass es sich windet und eine Drehung vollführt [24], vgl. A 1.1, Seite 18.

Aufgrund dieses Phänomens kann Verwirrung entstehen: Betrachtet man, wie bei einer Arthroskopie üblich, das Kniegelenk in Beugestellung, so könnte man meinen, dass an der Tibia anterior inserierende Faseranteile ihren Ursprung am Femur posterior haben und vice versa. Man muss hierbei jedoch bedenken, dass das Femur gegenüber dem Betrachter gekippt ist und er dadurch nicht in der frontalen, sondern in der transversalen Ebene betrachtet wird. Berücksichtigt man die arthroskopische Nomenklatur (☞ 1.1.1.6, Seite 11), so entspringen jene Anteile, welche tibial anterior inserieren, am Femur zwar *deep*, anatomisch aber dennoch *anterior* [24, 40, 42].

## 1. Einführung

**Nicht jeder erkennt den Unterschied** Nach *Odensten et al.* [43] ist eine makroskopische oder mikroskopische Unterscheidung des AM- und PL-Bündels nicht möglich. Dem folgt *Fuss* [25], welcher bei Präparaten keine preformierten Unterteilungen innerhalb des ACL erkennen konnte.

Diesen Ansichten wird jedoch auch entschieden widersprochen: *Ferretti et al.* konnte in zwei Studien bei Föten sowohl eine Begrenzung der Ursprungstellen, als auch ein Septum aus vaskularisiertem Bindegewebe zwischen den beiden Bündeln mikroskopisch feststellen [37, 38]. Die mikroskopisch-histlogische Unterscheidung war dabei über das gesamte ACL nachweisbar. Andere Autoren beschreiben, dass die makroskopische Einteilung in ein anteromediales und ein posteroaterales Bündel einfach möglich ist, speziell in Flexionsstellung [16].

**Funktion des vorderen Kreuzbandes** Die Hauptaufgabe des vorderen Kreuzbandes ist der Schutz vor einer übermäßigen anterioren Bewegung des Tibia (**anterior displacement**). Das ACL ist bei Außenrotation locker und bei Innenrotation und Extension gespannt [24, 39]. Bei genauerer Betrachtung ergibt sich eine unterschiedliche Funktion der Bündel: Das stärkere, anteromediale, Bündel stabilisiert das Knie sowohl in Streckung, als auch in Beugung, wobei aber die Hauptfunktion die Stabilisierung in Flexion darstellt [39]. Das posterolaterale Bündel spannt sich in Streckstellung an und stabilisiert fast nur in dieser Stellung. [29, 36, 39, 44]

### 1.2.2.1. Auf der Suche nach dem Ursprung

Wie bereits ausgeführt, ist das korrekte Anbringen der Endstücke an die jeweilige Ursprungs- und Ansatzregionen wesentlich für die erfolgreiche Wiederherstellung der Funktion. Die Identifizierung der entsprechenden Orientierungspunkte ist für den Operateur daher entscheidend.

**Ursprungsfläche** Bezüglich der Form und Fläche des Ursprungs gibt es divergierende Aussagen. Die Fläche wird sowohl als Sektor eines Kreises [24], eher kreisrund [45] oder eher oval [43], bzw. als Sektor einer Ellipse [25] beschrieben. Besonders erwähnenswert – und für die klinische Praxis problematisch – ist die Tatsache, dass auch die Abmessungen eine beträchtliche individuelle Variabilität aufweisen [46]. In einer Übersichtsarbeit von *Kopf et al.* [46] variierten die Messwerte für die Länge und Breite der Ursprungsfläche erheblich: Die angegebenen Längen reichen von 8 mm [47] bis zu 19 mm [17], die Breiten von 5 [17] bis 14,5 mm [17, 19, 46, 47].

## 1. Einführung

Nach *Siebold et al.* [17] ist die Ursprungsfläche des AM-Bündels mit einem Anteil von 52 % nur geringfügig größer als die des PL-Bündels. Dies folgt der Beobachtung von *Harner et al.* [45], welcher die Ursprungsfläche am Femur beim Erwachsenen mit  $113 \pm 27 \text{ mm}^2$  angibt, wobei sich ihm zufolge die Fläche jeweils ca. zu 50 % auf das anterolaterale und das posteromediale Bündel aufteilt [45]. Die Ursprungsfläche ist ein etwa 3,5 mal größer als der Querschnitt in der Mitte des Ligaments [45]. *Mochizuki et al.* [16] beschreibt hingegen ein Verhältnis AM : PL von 3 : 2.

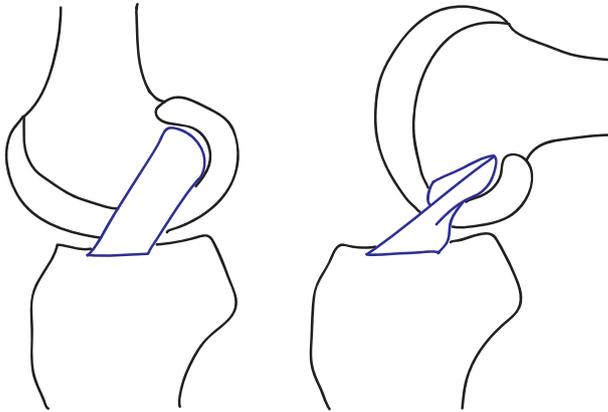
**Knöchernen Strukturen** Da sich die AM- und PM-Bündel weder makroskopisch, noch mikroskopisch sicher abgrenzen lassen, fällt den knöchernen Strukturen, denen die Fasern entspringen, bzw. wohin sie inserieren, eine große Bedeutung zu.

Mehrfach beschrieben wurde die **laterale interkondyläre Leiste (lateral intercondylar ridge, LIR)**, die sog., von *William Clancy Jr.* benannte, **resident's ridge**. Diese Leiste begrenzt den Ursprung sowohl des AM- als auch des PM-Bündels nach anterior [28, 36, 37, 48].

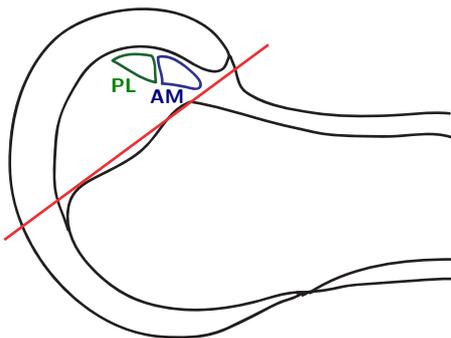
Neben der lateralen Interkondylarleiste wurde 2007 von *Ferretti et al.* [37] eine weitere, daran anschließende Struktur beschrieben, die **laterale Bifurkationsleiste (lateral bifurcate ridge, LBR)** [18, 37, 40, 46, 48–51].

*Ferretti et al.* [37] konnte in seiner Studie beide Strukturen identifizieren, die laterale Bifurkationsleiste war jedoch nicht in allen Fällen nachweisbar. Untersucht wurden hierbei die Ursprungsstellen des ACL am Femur bei sieben Föten, arthroskopisch bei 60 Patienten und an 16 Leichen. In 6 von 7 Föten ( $\approx 85 \%$ ), 49 von 60 Patienten ( $\approx 81 \%$ ) und 13 von 16 Leichen ( $\approx 81 \%$ ) konnte dabei eine laterale Bifurkationsleiste gefunden werden.

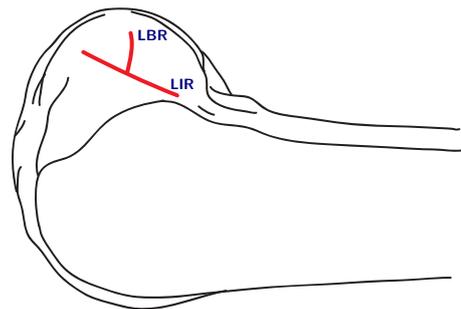
## 1. Einführung



**A** 1.1. | Änderung der Faserverläufe des ACL in Flexion, nach [24]. Grafik: Lena Hirtler.



**(a)** Ursprung des AM- und PL-Bündels, nach [19]. Eingezeichnet ist ebenso die Blumensaat-Linie.



**(b)** LIR und LBR, nach [37]

**A** 1.2. | Schematische Anatomie. Grafiken: Lena Hirtler.

## 1.3. Klinische Anwendung: Kreuzbandläsionen und Rekonstruktionen

### 1.3.1. Technik der Rekonstruktion

Heutzutage wird routinemäßig eine Transplantation eines (oder mehrerer) autologen Grafts durchgeführt, welcher mittels Tunnelierung fixiert wird. Zum Einsatz kommen dabei häufig Sehnenanteile der Mm. gracilis und/oder semitendinosus, sowie das mittlere Drittel der Patellarsehne [12, 52]. Der Eingriff wurde früher offen durchgeführt, heutzutage erfolgt er i. d. R. arthroskopisch [53].

#### 1.3.1.1. Anatomische Rekonstruktion

Ein entscheidender Faktor für den Erfolg ist die anatomische Platzierung der Transplantate: Die falsche Platzierung des Tunnels ist einer der häufigsten Fehler bei der ACL-Rekonstruktion und kann zu einer Dysfunktion bzw. einer gefühlten oder messbaren Instabilität führen [54, 55]. Der Begriff „anatomische Rekonstruktion“ bezieht sich auf die anatomisch korrekte Fixierung des Sehnentransplantats und nicht auf die Anzahl der nachgebildeten Bündel, s. u. [49]. Dies sollte bei der folgenden Darstellung der Einzel- und Doppelbündeltechnik bedacht werden.

#### 1.3.1.2. „Single-Bundle“-Plastik

Bisher war (und ist) die Rekonstruktion im Sinne einer **Ein-Bündel-Plastik (single bundle reconstruction, SB-Plastik)** mittels autologer Transplantate weit verbreitet und üblich, wobei vorwiegend die Funktionen des AM-Bündels rekonstruiert wird; das PM-Bündel und dessen Funktion besonders in Extensionsstellung wird dabei weitgehend vernachlässigt [29, 56].

Die anatomische Single-Bundle-Rekonstruktion gilt derzeit als Standardverfahren zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes [53].

### 1.3.1.3. „Double-Bundle“-Plastik

Kreuzband-Rekonstruktionen waren (und sind) erwartungsgemäß kein Wundermittel, eine komplette und perfekte Wiederherstellung der Funktionalität darf nicht erwartet werden [57, 58]. Probleme stellen vor allem eine weiter bestehende oder wieder auftretende Instabilität, Bewegungseinschränkung, Arthrofibrose, Schmerzen und eine Extensoren-Dysfunktion dar [55]. Als Langzeitfolge gefürchtet ist die Osteoarthrose, welche mit der Instabilität des Gelenks korreliert [59, 60].

Um zumindest einen Teil der Probleme zu entgegnen, versuchte man die Rekonstruktion „anatomisch exakter“ zu gestalten. Dies ist an sich keine neue Forderung, auch die aktuellen Methoden der Single-Bundle-Plastik erheben den Anspruch „anatomisch korrekt“, d. h. im Bereich der physiologischen Ursprungs- und Ansatzflächen, verankert zu werden [49, 53].

Neu ist hingegen das Einbeziehen des Konzepts der zwei funktionalen Bündel des vorderen Kreuzbandes: Es wird nicht mehr eine Plastik mittels eines singulären Bündels ausgeführt, sondern es werden die beiden funktionalen Anteile extra nachgebildet. Dies resultiert in einer **Zwei-Bündel-Plastik (double bundle reconstruction, DB-Plastik)** [61]. Erste Beschreibungen mittels offener Technik reichen dabei bereits in die 80er-Jahre zurück [53, 62–64]. Eine Beschreibung zur arthroskopisch assistierten Durchführung erfolgte durch *Rosenberg und Graf* im Jahre 1994 [53, 64–66]. Es gibt Hinweise, dass dies die physiologische Funktion besser nachahmt und damit eine bessere Wiederherstellung der Stabilität erreicht werden kann [67–70].

Durch die Verwendung von zwei, anstatt wie bisher einem, Bündel soll eine bessere Stabilität, besonders bezüglich Rotationsbewegungen in Extensionsstellung, niedrigere Komplikations- und Revisionsraten sowie weniger sekundäre Osteoarthrosen des patellofemorales Gelenkes resultieren [59, 61]. Ebenso gibt es Hinweise, dass in der Langzeitbetrachtung die DB-Plastik kosteneffektiver ist [71]. Auch bei Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes kann die Rekonstruktion eines funktionalen Bündels bei Erhaltung des unverletzten Bündels Vorteile in der Funktionalität mit sich bringen [7, 72, 73].

All diesen Vorteilen zum Trotz gibt es auch kritische Stimmen: So kann befürchtet werden, dass es durch das Anlegen von zwei statt einer Tunnelierungen unter Umständen zu einer erhöhten Frakturneigung kommen kann. Ebenso steht die Frage einer erhöhten Inzidenz von *Impingement* im Raum [74]. Das Vorliegen einer engen *Fossa intercondylaris (Notch)* wird mitunter auch als Kontraindikation gegen eine

## 1. Einführung

DB-Plastik angesehen [61]. Einige Autoren, wie z. B. Streich et al. [75] oder Meredith et al. [76] konnten in ihren Studien wiederum keine signifikanten Vorteile der DB-Technik finden. Zantop et al. [77] beschreibt die Double-Bundle-Rekonstruktion als vom biomechanischen Standpunkt überlegen, und stützt seine Kritik primär auf die höheren technischen Anforderungen dieser Technik und empfiehlt deren Einsatz nur an spezialisierten Zentren im Rahmen von klinischen Studien.

Ungeachtet der Vor- und Nachteile der DB-Technik steht es ausser Zweifel, dass sie erhöhte Anforderungen an die Platzierung der Verankerungspunkte stellt: Statt wie bisher einer Tunnelierung auf jeder Seite müssen nun zwei angelegt werden, wobei auch hier gilt, dass die Platzierung der ursprünglichen physiologischen so gut wie möglich entsprechen muss, um gute Ergebnisse zu erhalten. Die anatomisch korrekte Platzierung der Tunnel ist ein kritischer Punkt hinsichtlich des später erreichbaren Grades der Wiederherstellung der Funktion [78].

Um eine gute Fixation zu erreichen ist die genaue Identifikation des Ortes des Ursprungs von großer Wichtigkeit!

## 1.4. Schlussfolgerungen

Es lässt sich sagen, dass die möglichst genaue Identifikation der Ursprungsflächen des vorderen Kreuzbandes zunehmend an klinischer Bedeutung gewinnt. Bisherige Studien, welche die Ursprungsflächen untersuchten, lieferten z. T. widersprüchliche Ergebnisse bezüglich knöcherner Strukturen sowie Form und Größe der Flächen, sowohl im Vergleich zum hinteren Kreuzband, als auch der beiden Bündel des vorderen Kreuzbandes untereinander.

Eine Erweiterung des in der Literatur verfügbaren stichprobenartigen Datenbestandes durch weiterführende ergänzende morphologische Analysen erscheint sinnvoll um das Bild abzurunden und Empfehlungen bezüglich der Indikation und Durchführung von Zwei-Bündel-Plastiken zu formulieren.

## 1.5. Fragestellungen

Aus dem vorweg Gesagten ergeben sich bezüglich dieser Studie folgende Fragestellungen:

1. Sind knöchernen Leisten im Sinne einer *lateralen Interkondylarleiste* oder einer *lateralen Bifurkationsleiste* nachweisbar?
2. Wenn diese nachweisbar sind:
  - a. In welchem Winkel stehen sie zueinander und zu der Längsachse des Femur?
  - b. Sind diese geradlinig bzw. welchen Winkel schließen die Verlängerungen der beiden Endstrecken ein?
3. Wie sind die Abmessungen der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes bezogen auf die
  - a. anteriore/posteriore, bzw. die
  - b. laterale/medialeBegrenzung?
4. Welche *Form* und *Fläche* in zweidimensionaler Projektion hat der Ursprung des vorderen Kreuzbandes am Femur?

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

1. **Nullhypothese:** „Eine laterale Bifurkationsleiste in der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes ist durchgehend nachweisbar.“
  - a. **Alternativhypothese:** „Eine laterale Bifurkationsleiste ist nur in einem gewissen Prozentsatz nachweisbar.“
2. **Nebenzielgrößen:**
  - a. Morphologie der lateralen Bifurkationsleiste
  - b. Winkel der einzelnen Leisten zueinander und zur Femurlängsachse
  - c. Fläche der Ursprungsfläche
  - d. Abmessungen der Ursprungsfläche
  - e. Form der Ursprungsfläche

# 2

## Material und Methoden

Die gegenständliche Untersuchung bezweckte die Auswertung von prospektiv erhobenen Daten.

### 2.1. Datengewinnung

Es wurden dazu die Ursprungsstellen des vorderen Kreuzbandes an Oberschenkelknochen von Präparaten aus der Sammlung des Naturhistorischen Museums in Wien abfotografiert. Die Präparate stammten ursprünglich aus Gebeinhäusern. Um ein möglichst breit gefächertes Spektrum zu erhalten, wurden Knochen aus verschiedenen Gebeinhäusern aus verschiedenen Teilen Österreichs untersucht. Die Bilder wurden hinsichtlich einer späteren Auswertung unter standardisierten Bedingungen aufgenommen. Es liegt somit eine Datenbank mit 166 digitalen Lichtbildaufnahmen der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes am Femur vor.

## 2. Material und Methoden

**Ethik** Es wurde ein Antrag bei der zuständigen Ethikkommission der Medizinischen Universität Wien eingebracht. Die Kommission fasste am 31. Jänner 2011 den Beschluss, dass kein Einwand zur Durchführung der Studie besteht, vgl. [A.1](#), Seite 53.

**Aufnahmebedingungen** Die Aufnahmen wurden hergestellt mittels einer Digitalkamera von *Nikon*<sup>™</sup> Typ D300s mit dem Objektiv *AF-S DX NIKKOR 18–200 mm 1:3,5–5,6G IF-ED VR*. Die Kamera wurde auf einem *Manfrotto*<sup>™</sup> 190XPROB-Stativ mit einem 804RC2 3-Wege-Neiger montiert. Die Beine des Stativs wurden voll ausgefahren und bis zum ersten Mal einrasten auseinandergeklappt. Die Rotation des Kopfes wurde auf 0°, die sagittale Neigung auf 0°, die frontale Neigung auf 60° gestellt. Das Kameraobjektiv wurde auf die maximale Brennweite gestellt, die Blendenzahl betrug 14 und die Belichtungszeit  $\frac{1}{15}$  s. Der Fokus im Sucher wurde auf den ACL-Ursprung in der Mitte des seitlichen Bilddrittels eingestellt.

Als Lichtquelle wurde der eingebaute Kamerablitz verwendet. Der Abstand zwischen dem ACL-Ursprung und der Linse betrug 27 cm.

Befestigung und Ausrichtung des Femurs: Die Femur-Knochen wurden mittels Schraubstock auf einer waagrechten Tischplatte fixiert. Die Kondylenebene und Schaft wurden mittels einer Wasserwaage waagrecht eingestellt. Das Kondylenende des Femur ragte jeweils 13 cm über den Schraubstock hinaus. Für linke und rechte Femora wurde jeweils eine andere Schraubstockstellung ermittelt, diese wurde mittels Bleistift auf der hellen Tischplatte markiert. Der Umriss des Schraubstockes wurde nachgezeichnet, ebenso wurden die Stativbeine mittels Bleistift am Boden markiert um für jede Aufnahme die gleichen Aufnahmebedingungen zu garantieren. Die Abbildung [A](#) 2.1, Seite 25, illustriert die Aufnahmesituation.

Die Bilder wurden in der Auflösung von  $4288 \times 2848$  Pixel mit der Qualitätseinstellung „fine“ aufgenommen.

## 2. Material und Methoden



(a) Stellung der Kamera



(b) Ein Präparat im Schraubstock

### A 2.1. | Aufnahmesituation

## 2.2. Datenauswertung

Anhand der Aufnahmen wurde beurteilt, ob der Ursprung des ACL sowie die laterale Bifurkationsleiste und die laterale Interkondylärleiste erkennbar waren.

Weiters werden folgende Auswertungen durchgeführt:

1. Auflegen einer Matrix auf den fotografierten Ursprung
  - a. Bestimmung der Länge und Breite der Ursprungsfläche, dazu werden die
    - i. medialsten ( $M$ ),
    - ii. lateralsten ( $L$ ),
    - iii. anteriorsten ( $A$ ) und
    - iv. posteriorsten ( $P$ )

Punkte der Begrenzung des Ursprunges jeweils in Bezug auf den verwendeten Meßraster (☞ 2.2, Seite 26) ermittelt und die Differenz auf den jeweiligen Koordinatenachsen für die Paare  $PA$  (Länge, x-Achse) und  $LM$  (Breite, y-Achse) errechnet.

- b. Flächenbestimmung

## 2. Material und Methoden

### 2. Beschreibung der Leiste(n) nach den Kriterien:

- a. Winkel LBR  $\angle$  LIR
- b. Winkel LBR  $\angle$  Femurlängsachse (FLA)
- c. Winkel LIR  $\angle$  FLA
- d. Winkel zwischen Anfangs- und Endstrecke der LBR

**Erfassen der Strukturen** Die laterale Bifurkationsleiste sowie die laterale Interkondylärleiste wurden auf den Digitalfotos im Vier-Augen-Prinzip aufgesucht und – so feststellbar – eingezeichnet. Zum Einsatz kam dazu ein Zeichenbrett mit integriertem Monitor von *Wacom*<sup>™</sup> der Type *DTZ-1200W*. Als Software wurde der *Adobe*<sup>™</sup> *Illustrator*<sup>™</sup> in der Version *CS5* für MacOS, lizenziert für die Medizinische Universität Wien, eingesetzt. Nach dem Einzeichnen der Strukturen wurden die Bilder im *Portable Document Format* (PDF) gespeichert.

Zur Auswertung der Bilder wurde die Software *ImageJ* von Wayne Rasband, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA, Homepage abrufbar unter <http://rsbweb.nih.gov/ij>, in der Version *1.43* eingesetzt. Vor der Auswertung wurden die PDF-Bilder als JPEG-Datei exportiert.

**Messraster** Es kam ein Raster nach der Arbeit von *Bernard et al.* [20] zum Einsatz, analog zu der Arbeit von *Colombet et al.* [19]. Grundlage des Rasters ist die *Blumensaat-Linie*, welche die **x-Achse** des Messrasters bildet. Als **Nullpunkt** wird der Schnittpunkt mit dem anterioren lateralen Kondylenteil definiert. Die X-Achse verläuft von caudal nach cranial, bzw. von shallow nach deep. Im Nullpunkt des Messrasters steht die **y-Achse** normal auf der x-Achse. Die y-Achse verläuft nach posterior/dorsal bzw. low. Längen wurden relativ zu den Achsen angegeben.

Die Abbildung  2.2, Seite 29, illustriert schematisch den Aufbau des Messrasters.

**Beschreibung der Form der Ursprungsfläche** Jede Ursprungsfläche wurde näherungsweise in eine der folgenden Kategorien eingeteilt:

- kreisrund
- elliptisch
- nierenförmig

## 2. Material und Methoden

- Kreissegment
- Ellipsensegment
- trapezförmig
- sonstiges (mit keiner der oben genannten Beschreibungen vereinbar)

Diese Kategorien wurden wie folgt definiert: Als *kreisförmig* gilt eine Form mit rundem, konvexen Gesamteindruck, wobei kein Durchmesser wesentlich länger ist. *Elliptisch* ist eine Fläche, wenn sie ebenfalls einen runden, konvexen Gesamteindruck vermittelt, jedoch ein deutlich längerer Durchmesser identifizierbar ist. *Nierenförmig* ist eine Form mit einem runden Gesamteindruck, wobei eine Seite konvex, die andere deutlich konkav ist. Minimale Eindellungen einer kreisförmigen oder elliptischen Figur wurden nicht berücksichtigt.

Ein *Kreissegment* ist eine Fläche mit zwei sich schneidenden, annähernd geraden Begrenzungen, deren freie Enden von einer konvexen Kurve verbunden werden und keine der beiden wesentlich länger erscheint. Dahingegen weist ein *Ellipsensegment* ebenso zwei sich schneidende, annähernd gerade Begrenzungen auf, deren freie Enden von einer konvexen Kurve verbunden werden, jedoch eine Begrenzung wesentlich länger ist. Als *trapezförmig* wurde eine Form definiert, die vier relativ geraden Begrenzungen aufweist, wobei zumindest zwei gegenüberliegende Begrenzungen annähernd parallel zueinander liegen.

Alle Formen, die keine Ähnlichkeit zu den genannten Kategorien aufweisen, wurde als *sonstiges* kategorisiert.

**Statistik** Die Erfassung der Rohdaten und die Datentransformation erfolgte mittels des Programms *LibreOffice Calc* (<http://www.libreoffice.org>) in der Version 3.3.2. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket *R* (<http://www.r-project.org>) in der Version 2.12.1-1 und dem Benutzerinterface *R Commander* [79] in der Version 1.6-2 unter Ubuntu Linux 11.04 (<http://www.ubuntu.com>).

Es werden deskriptive statistische Methoden angewendet. Für die Hauptfragestellung wurde die absolute und relative Häufigkeit ermittelt. Für die Nebenfragestellungen wurden die Lagemaße (arithmetischer Mittelwert, Median und die Quartilen) und die Streumaße (Standardabweichung) ermittelt.

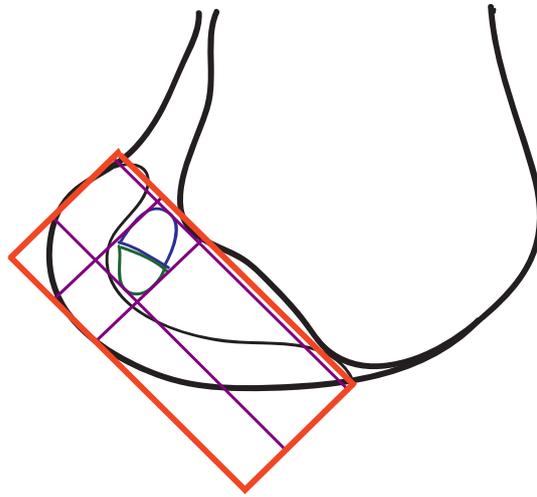
Für die Auswertung der Prävalenz der lateralen Bifurkationsleiste und die Flächenberechnung wurde jeweils für den Seitenvergleich ein Subset gebildet und auf signifikante Unterschiede untersucht. Bei normalverteilten metrischen Daten kam dabei ein

## 2. Material und Methoden

ungepaarter *t-Test* zum Einsatz, bei nominal skalierten Daten erfolgte ein  $\chi^2$ -Test. Die Daten wurden mittels *Shapiro-Wilk-Test* auf Normalverteilung geprüft.

Die Werte wurden jeweils auf zwei Dezimalstellen gerundet.

## 2. Material und Methoden



(a) Schematische Darstellung des Messrasters



(b) Das Messraster am Präparat mit eingezeichneter ACL-Ursprungsfläche, lateraler Bifurkationsleiste, lateraler Interkondylarleiste, und Femurlängsachse. Weiters ist die Linea intercondylaris eingezeichnet, welche die Fossa intercondylaris nach proximal abgrenzt.

A 2.2. | Raster zur Vermessung der Ursprungsflächen, nach [19]. Grafik: Lena Hirtler.

**T** 2.1. | Erhobene Werte

Art	Bezeichnung	Beschreibung
Punkt	$N$	Nullpunkt des verwendeten Rasters $R$
Punkt	$X$	Endpunkt des Rasters auf der Abszissenachse des Rasters $R$
Punkt	$Y$	Endpunkt des Rasters auf der Ordinatenachse des Rasters $R$
Punkt	$A$	Anteriore Begrenzung der Ursprungsfläche
Punkt	$L$	Laterale Begrenzung der Ursprungsfläche
Punkt	$M$	Mediale Begrenzung der Ursprungsfläche
Punkt	$P$	Posteriore Begrenzung der Ursprungsfläche
Winkel	$LBR \angle LIR$	Winkel zwischen lateraler Bifurkationsleiste und lateraler Interkondylärleiste
Winkel	$LBR \angle FLA$	Winkel zwischen lateraler Bifurkationsleiste und Femurlängsachse (FLA)
Winkel	$LIR \angle FLA$	Winkel zwischen lateraler Interkondylärleiste und Femurachse
Winkel	$LBR_A \angle LBR_E$	Winkel zwischen den Verlängerungen der Anfangs- und Endstrecke der lateralen Bifurkationsleiste
Fläche	AREA	Flächeninhalt der Ursprungsfläche

## 2.3. Datentransformation

Die Tafeln 2.1 2.2 fasst die erhobenen und errechneten Werte zusammen. Alle erhobenen Punkte beziehen sich auf die Blumensaat-Linie bzw. auf das unter [2.2](#), Seite 26, beschriebene Raster.

Für die Punkte  $A$ ,  $L$ ,  $M$  und  $P$  wurden jeweils die anteriorsten, lateralsten, medialsten und posteriorsten Punkte *in Projektion auf den Meßraster* gewählt.

Die Länge  $l$  wurde errechnet als

$$l = y_{PKR} - y_{AKR} \quad (2.1)$$

**T** 2.2. | Errechnete Werte

Art	Bezeichnung	Beschreibung
Distanz	Länge	Durchmesser anterior–posterior (bezogen auf Blumensaat-Linie)
Distanz	Breite	Durchmesser medial–lateral (bezogen auf Blumensaat-Linie)

Die Werte (Koordinaten und Längen) wurden in Bildpunkten (Pixel) ermittelt. Mittels Aufnahmen eines Maßstabes wurde der Umrechnungsmaßstab  $\kappa$  ermittelt.

### 2.3.1. Koordinatentransformation

Die Koordinatensysteme von Messung und Interpretation unterscheiden sich wesentlich, dementsprechend mussten die Jeweiligen Koordinatensysteme umgewandelt werden. Die Aufnahmen von linken und rechten Oberschenkelknochen waren jeweils seitenverkehrt, somit unterschied sich die notwendige Transformation.

#### 2.3.1.1. Koordinatentransformation für linke Oberschenkel

Es wurden vier Koordinatensysteme verwendet:  $KJ$ ,  $KK$ ,  $KT$  und  $KR$ . In diese Koordinatensysteme wurde wie folgt transformiert:

$$KJ \rightarrow KK \rightarrow KT \rightarrow KR \quad (2.2)$$

Das Koordinatensystem  $KJ$  ergab sich aus den Bildpunkten (Pixel) des Digitalbildes, der Nullpunkt befand sich per Definition links oben. Das Koordinatensystem  $KK$  bediente sich auch der Dimension des Digitalbildes, der Nullpunkt lag jedoch links unten.

Die Transformation des Koordinatensystems  $KJ \rightarrow KK$  erfolgte nach der Formel

$$y_{KK} = height - y_{KJ} \quad (2.3)$$

**T** 2.3. | Koordinatensysteme

Koordinatensystem	Bemerkung
$KJ$	Koordinatensystem, welches softwaremäßig von ImageJ vorgegeben ist
$KK$	in ein kartesisches Standard-Koordinatensystem umgewandeltes Koordinatensystem
$KT$	Koordinatensystem nach Translation in den Nullpunkt des Meßrasters
$KR$	Koordinatensystem des Messrasters

wobei *height* die Höhendimension des Bildes und  $y_{KJ}$  der im originalen Koordinatensystem gemessene Punkt ist.

Um die Zielstrukturen vermessen zu können, wurde ein Koordinatensystem  $KR$  für den Raster nach *Colombet et al.* [19] gebildet. Dieses wurde definiert durch die Punkte  $N$  als Nullpunkt,  $X$  als Begrenzung der Abszisse und  $Y$  als Begrenzung der Ordinate.

Für die Koordinatensystemtransformation  $KK \rightarrow KR$  waren zwei Schritte notwendig: zuerst mussten mittels einer Translation der Nullpunkt auf  $N(x_N|y_N)$  verschoben werden, man erhielt das Koordinatensystem  $KT$ . Im zweiten Schritt erfolgte eine Rotation, um das Koordinatensystem  $KR$  zu erhalten ( $KK \rightarrow KT \rightarrow KR$ ).

**Translation** Für den Punkt  $PKK(x_{PKK}|y_{PKK})$  gilt:

$$x_{PKT} = x_{PKK} - x_N \quad (2.4a)$$

$$y_{PKT} = y_{PKK} - y_N \quad (2.4b)$$

Das entspricht:

$$\vec{p}_{trans} = \vec{p} - \vec{n} = \begin{pmatrix} x_P - x_N \\ y_P - y_N \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

## 2. Material und Methoden

**Rotation** In einem zweiten Schritt wurde das Koordinatensystem **rotiert**:  $KR$  war zu  $KK$  bzw.  $KT$  um den Winkel  $\alpha$  gedreht. Dieser wurde durch die Formel

$$\alpha = \arctan \frac{y_{PK} - y_{PN}}{x_{PK} - x_{PN}} \quad (2.6)$$

bestimmt.

Wurde nun der Winkel bestimmt, galt für den Punkt  $PKT(x_{PKK}|y_{PKK}) \rightarrow PKR(x_{PKR}|y_{PKR})$ :

$$x_{PKR} = x_{PKT} \cos \alpha + y_{PKT} \sin \alpha \quad (2.7a)$$

$$y_{PKR} = -x_{PKT} \sin \alpha + y_{PKT} \cos \alpha \quad (2.7b)$$

Zusammenfassend lässt sich sagen:

$$x_{PKR} = (x_{PKK} - x_N) \cos \alpha + (y_{PKK} - y_N) \sin \alpha \quad (2.8a)$$

$$y_{PKR} = -(x_{PKK} - x_N) \sin \alpha + (y_{PKK} - y_N) \cos \alpha \quad (2.8b)$$

### 2.3.1.2. Koordinatentransformation für rechte Oberschenkel

Die Lage des Raster-Koordinatensystems  $KR$  lag bei Aufnahmen rechter Oberschenkelknochen seitenverkehrt, dementsprechend muss darauf bei der Koordinatentransformation Rücksicht genommen werden.

Da die Lage der Achsen bereits das gleiche Verhältnis wie das Meßraster  $KR$  aufwies, entfiel die Transformation  $KJ \rightarrow KK$  und es galt  $KJ = KK$ .

Die restliche Transformation erfolgt grundsätzlich analog zu der Transformation für Aufnahmen linker Oberschenkelknochen mit angepassten Formeln:

## 2. Material und Methoden

**Translation** Für den Punkt  $PKK(x_{PKK}|y_{PKK})$  gilt:

$$x_{PKT} = x_N - x_{PKK} \quad (2.9a)$$

$$y_{PKT} = y_N - y_{PKK} \quad (2.9b)$$

**Rotation**

$$x_{PKR} = (x_N - x_{PKK}) \cos \alpha + (y_N - y_{PKK}) \sin \alpha \quad (2.10a)$$

$$y_{PKR} = -(x_N - x_{PKK}) \sin \alpha + (y_N - y_{PKK}) \cos \alpha \quad (2.10b)$$

# 3

## Resultate

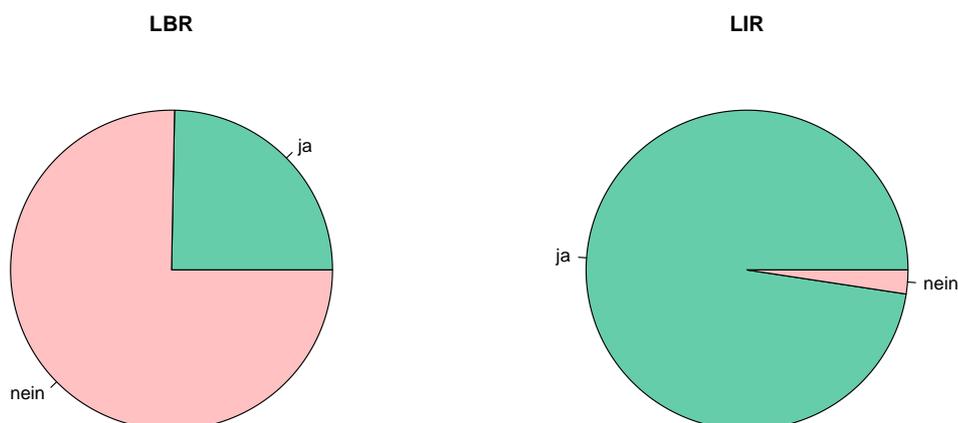
Untersucht wurden 166 Knochen aus dem Bestand des Naturhistorischen Museum Wien, welche ursprünglich aus diversen Gebeinhäusern (*Karner*) stammten. Von den 166 Präparaten waren 85 linke und 81 rechte Knochen. 60 Knochen stammten aus dem Karner von Falkenstein (Niederösterreich), 32 aus Horitschon (Burgenland), 14 aus Laas (Tirol), und 60 aus Zellendorf (Niederösterreich). Von den 166 Knochen waren 85 linke und 81 rechte (jeweils 51,2 % und 48,8 %). Eine Auswertung nach Geschlecht, Alter oder Ethnie konnte mangels Aufzeichnungen nicht durchgeführt werden. Ebenso lagen keine Informationen bezüglich Vorerkrankungen oder Verletzungen vor, ebenso nicht bezüglich einer Paarung von rechts- und linksseitigen Knochen.

**Hauptzielgröße: Nachweisbarkeit der lateralen Bifurkationsleiste** Bei den 166 untersuchten Knochen war bei 41 (24,7 %) eine laterale Bifurkationsleiste erkennbar, bei der Mehrheit von 125 Knochen (75,3 %) war dies jedoch nicht der Fall, vgl.

A 3.1a.

Es wurde ein Subset gebildet und ein  $\chi^2$ -Vierfeldertest nach Pearson durchgeführt um im *Seitenvergleich* zu untersuchen: Auf der linken Seite war in 24 Fällen die LBR nachweisbar, bei 61 Knochen nicht (28,2 % + vs. 71,8 % –); auf der rechten Seite war das Verhältnis 17 zu 64 (21 % zu 79 %). Der Unterschied ist zwar deutlich, jedoch *nicht* signifikant ( $\alpha = 0,05$ ;  $\chi^2 = 1,17$ ;  $p = 0,28$ ).

### 3. Resultate



(a) Laterale Bifurkationsleiste (LBR)

(b) Laterale Interkondylärleiste (LIR)

**A 3.1.** | Prävalenz der der lateralen Bifurkations- und Interkondylärleiste (LBR, LIR)

Die laterale Interkondylärleiste (resident's ridge) war in nahezu allen Fällen erkennbar (162 zu 4, bzw. 97,59 % zu 2,41 %).

**Weitere Messwerte** Die Ursprungsflächen sind im Mittel  $127.21 \text{ mm}^2$  (Median  $125,66 \text{ mm}^2$ , SD 32,54; 1. u. 3. Quartile 104,36/148,53) groß. Im Seitenvergleich konnte ein deutlicher Unterschied festgestellt werden (Mittelwert links 115,19; rechts 139,83). Die Differenz war nach einem ungepaarten t-Tests nach Welch deutlich signifikant ( $\alpha = 0,05$ ;  $t = -5,24$ ;  $p = 0,0000005002$ ).

Weiters wurden die **Durchmesser** der Ursprungsflächen ermittelt. Zu beachten ist hierbei, dass die Durchmesser in der Projektion des Messrasters (☞ 2.2, Seite 26) gemessen wurden. Auch die anteriorsten, posteriorsten, lateralsten und medialsten Punkte sind Extremwerte in Bezug auf die jeweiligen Achsen des Messrasters und beziehen sich *nicht* auf die Femurlängsachse. Als *Länge* wurde der anterior-posteriore Durchmesser definiert, als *Breite* der lateral-mediale-Durchmesser.

Die **Länge** beträgt im Mittel  $16,98 \pm 2,67 \text{ mm}$ , der Median liegt bei  $17,07 \text{ mm}$ . Minimal wurde ein Wert von  $10,34 \text{ mm}$  und maximal von  $23,31 \text{ mm}$  gemessen. Die 1. bzw. 3. Quartile liegt bei  $14,92$  bzw.  $18,76 \text{ mm}$ . Der Mittelwert der **Breite** beträgt  $12,58 \pm 2,10 \text{ mm}$ , der Median liegt bei  $12,78 \text{ mm}$ . Der minimale Wert betrug

### 3. Resultate

6,13 mm und der maximale 16,79 mm. Die 1. und 3. Quartile liegen bei 1,13 mm und 13,97 mm.

Es wurden die **Winkel** untersucht, welche die laterale Bifurkationsleiste, die laterale Interkondylärleiste und die Femurlängsachse miteinander einschließen. Bei der lateralen Bifurkationsleiste wurde gegebenenfalls ein Binnenwinkel ermittelt, welcher durch die beiden Endstrecken der Leiste gebildet wurde.

Der Winkel zwischen der lateralen Bifurkationsleiste und der lateralen Interkondylärleiste (**LBR**  $\angle$  **LIR**) konnte in 38 Fällen gemessen werden. In den anderen Fällen war entweder keine Bifurkationsleiste oder keine Interkondylärleiste vorhanden. Der Winkel ist im Mittel  $83,48^\circ$  groß, bei einem Median von  $79,54^\circ$ . Er ist jedoch sehr variabel: der Minimalwert beträgt  $37,56^\circ$ , der Maximalwert  $155,78^\circ$ , die 1. und 3. Quartile liegen bei  $57,79^\circ$  und  $99,25^\circ$ . Die Standardabweichung beträgt  $32,01$ .

Der Winkel zwischen der lateralen Bifurkationsleiste und der Femurlängsachse (**LBR**  $\angle$  **FLA**) konnte in 41 Fällen ermittelt werden und betrug im Mittel  $55,23^\circ$  bei einer Standardabweichung von  $36,20$  und einem Median bei  $36,27^\circ$ . Der minimale Winkel betrug  $11,76^\circ$ , der maximale  $160,33^\circ$ , die 1. und 3. Quartile lagen bei  $29,37^\circ$  und  $78,23^\circ$ .

Der Winkel zwischen der lateralen Interkondylärleiste und der Femurlängsachse (**LIR**  $\angle$  **FLA**) war im Mittel  $136,89 \pm 12,77^\circ$  groß, mit einem Median bei  $137,96^\circ$ . Das Minimum betrug  $59,49^\circ$  und das Maximum  $177,56^\circ$ , die 1. und 3. Quartile lagen bei  $128,69^\circ$  und  $143,74^\circ$ . In 4 Fällen konnte der Winkel mangels LIR nicht erhoben werden.

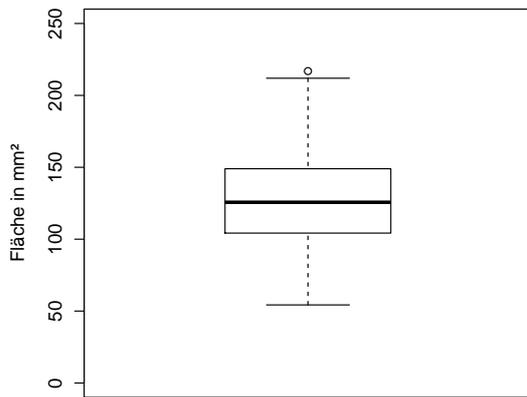
In der überwiegenden Anzahl der Fälle, rund 77 %, verlief die laterale Bifurkationsleiste (LBR) annähernd gerade. Folglich lag der Mittelwert des Winkels zwischen Anfangs- und Endstrecke der LBR (**LBR<sub>A</sub>**  $\angle$  **LBR<sub>E</sub>**) bei  $169,84 \pm 19,70^\circ$  mit einem Median und einer 1. und 3. Quartile bei  $180^\circ$ . Das Minimum betrug  $107,23^\circ$  und das Maximum  $180^\circ$ . Lediglich in 9 von 39 Fällen wurde ein von  $180^\circ$  abweichender Winkel gefunden, für diese Gruppe wurde ein *Subset* gebildet: Im Subset war der Winkel im Mittel  $135,98 \pm 12,94^\circ$  groß, mit einem Median bei  $136,26^\circ$ . Das Minimum und Maximum betrug jeweils  $107,23^\circ$  bzw.  $149,18^\circ$ , Die 1. und 3. Quartilen lagen bei  $134,24^\circ$  und  $146,91^\circ$ .

### 3. Resultate

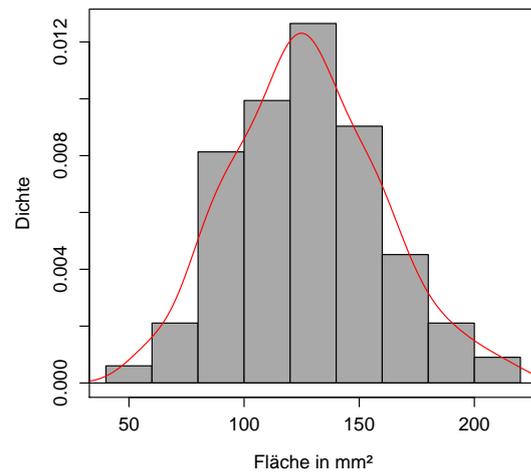
**T 3.1.** | Meßergebnisse, gerundet auf zwei Dezimalstellen.

	<b>Einheit</b>	<b>Mean</b>	<b>SD</b>	<b>Min.</b>	<b>1. Quart.</b>	<b>Median</b>	<b>3. Quart.</b>	<b>Max.</b>	<b>n</b>	<b>NA</b>
<b>Länge</b>	cm	1,70	0,27	1,034	1,49	1,71	1,88	2,33	166	—
<b>Breite</b>	cm	1,26	0,21	0,61	1,13	1,28	1,40	1,68	166	—
<b>Fläche</b>	mm <sup>2</sup>	127,21	32,54	54,28	104,36	125,66	148,53	216,90	166	—
<b>LBR ∠ LIR</b>	°	83,48	32,01	37,56	57,79	79,54	99,25	155,78	38	128
<b>LBR<sub>A</sub> ∠ LBR<sub>E</sub></b>	°	169,84	19,70	107,23	180	180	180	180	39	127
Subset ∠ ≠ 180	°	135,98	12,94	107,23	134,24	136,26	146,91	149,18	9	— 23% d. LBR+
<b>LIR ∠ FLA</b>	°	136,89	12,77	59,492	128,69	137,96	143,74	177,56	162	4
<b>LBR ∠ FLA</b>	°	55,23	36,20	11,56	29,37	36,267	78,23	160,33	41	125

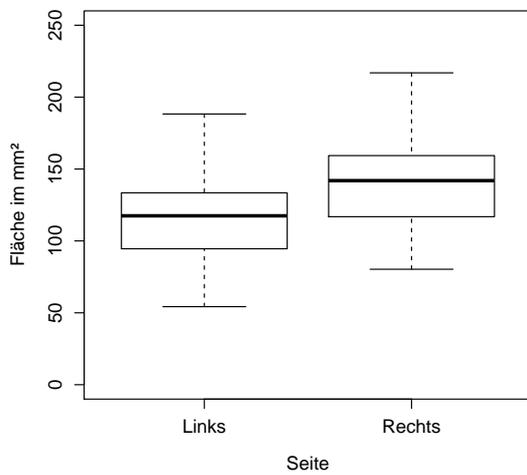
### 3. Resultate



(a) Boxplot Fläche



(b) Histogramm Fläche



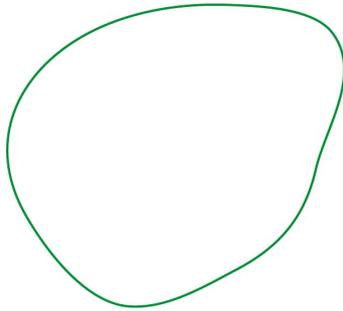
(c) Flächen im Seitenvergleich

**A** 3.2. | Flächenhalt als Boxplot und Histogramm, sowie im Seitenvergleich. Maße in  $\text{mm}^2$ .

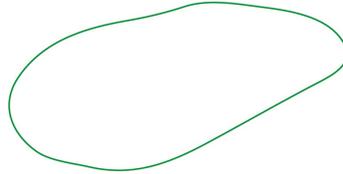
### 3. Resultate

**Form** Von den 166 untersuchten Knochen wurden 53 (31,93 %) als Ellipsensegment; 25 (15,06 %) als elliptisch; 10 (6,02 %) als kreisförmig; 25 (15,06 %) als Kreissegment; 19 (11,45 %) als nierenförmig und 9 (5,42 %) als trapezförmig kategorisiert. 25 (15,06 %) Flächen konnten keiner der unter 2.2 definierten Formkategorien zugeordnet werden.

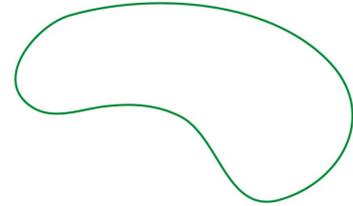
### 3. Resultate



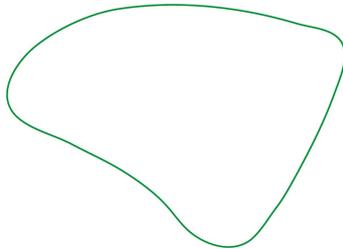
**(a) Kreisförmig:** Rund und konvex, die Durchmesser sind ungefähr gleich.



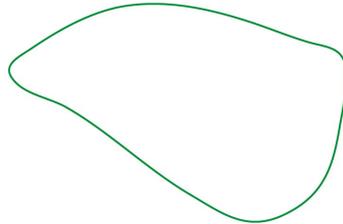
**(b) Elliptisch:** Rund und Konvex, die Durchmesser unterscheiden sich.



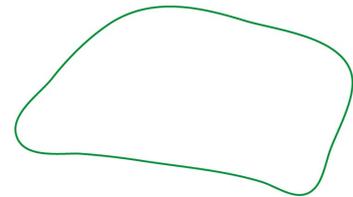
**(c) Nierenförmig:** Runde Form mit einer konkaven und einer konvexen Seite.



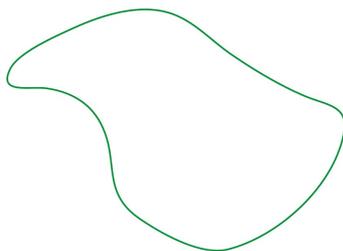
**(d) Kreissegment:** Zwei annähernd gerade Begrenzungen und eine konvexe Kurve vermitteln den Eindruck eines „Tortenstückes“.



**(e) Ellipsensegment:** Ähnlich dem Kreissegment, eine Begrenzung ist jedoch länger.



**(f) Trapezförmig:** Vier annähernd gerade Begrenzungen, 2 liegen annähernd parallel zueinander.



**(g) Sonstige Form:** Keine der anderen Kategorien trifft zu.

**A 3.3.** | Kategorien zur Beschreibung der vorgefundenen Ursprungsflächen mit Beispielen. Die dargestellten Formen sind aus den verwendeten Fotografien isolierte Umriss, welche zur Datenauswertung erhoben und verwendet wurden.

# 4

## Diskussion

Die „anatomische Technik“ des Kreuzbandersatzes, d. h. der Ersatz unter Beachtung der physiologisch-anatomischen Ursprungs- und Ansatzflächen, ist ein wesentlicher Faktor zur Erreichung einer effektiven und funktionellen Plastik, welche sowohl Stabilität garantiert, als auch Sekundärbeschwerden wie z. B. Osteoarthrose vermeidet bzw. hinauszögert [59, 60, 78].

Die Double-Bundle-Technik stellt eine noch größere Herausforderung dar: Zusätzlich zu der Anforderung, die korrekte anatomische Position zu finden, verkleinert sich das jeweilige Zielareal; statt einen Bohrkanal in das Zentrum einer relativ großen Fläche anzulegen, müssen hier die Zentren von zwei kleineren Flächen identifiziert werden. Es zeigt sich das Problem der Abgrenzung dieser beiden aneinander liegenden Flächen, den Ursprungsflächen des anteromedialen und des posterolateralen Bündels.

Eine knöcherne Leiste, welche die beiden Bündel an der Ursprungsfläche trennt und als knöcherne, dreidimensionale Struktur theoretisch gut erkennbar ist, erscheint auf den ersten Blick als die Lösung des Problems und ideale Orientierungsmöglichkeit am Femur: Die laterale Bifurkationsleiste.

#### 4. Diskussion

**Die laterale Bifurkationsleiste und ihre Rolle** Die laterale Bifurkationsleiste (**lateral bifurcate ridge, LBR**) wurde 2007 von *Ferretti et al.* [37] in einer Kombinationsstudie an den Oberschenkelknochen von Föten, Leichen und lebenden Patienten im Rahmen von arthroskopischen Untersuchungen beschrieben. Untersucht wurden hierbei die Ursprungsstellen des ACL am Femur bei sieben Föten, arthroskopisch bei 60 Patienten und an 16 Leichen.

Seitdem wurde sie wiederkehrend als Teil der „*bony landmarks*“ in der Literatur für diesen Zweck beschrieben [18, 40, 46, 49–51].

Doch das ultimative Orientierungshilfsmittel scheint damit nicht gefunden zu sein: Der große Nachteil der lateralen Bifurkationsleiste dürfte ihr inkonsistentes Auftreten sein. In der Literatur finden sich stark variierende Angaben bezüglich der Nachweisbarkeit der lateralen Bifurkationsleiste.

Bereits in der Erstbeschreibung von *Ferretti et al.* [37] war es deutlich, dass die laterale Bifurkationsleiste nicht immer vorhanden bzw. zu erkennen war. In 1 von 7 Föten ( $\approx 15\%$ ), 11 von 60 Patienten ( $\approx 18\%$ ) und 3 von 16 Leichen ( $\approx 19\%$ ) konnte keine laterale Bifurkationsleiste gefunden werden. In einer von *Eck et al.* [50] an 50 Patienten durchgeführten Studie, bei der Knie mit akuten und chronischen Verletzungen des vorderen Kreuzbandes miteinander verglichen wurden, wurde in beiden Gruppen die laterale Bifurkationsleiste nur in 48 % der Fälle gefunden. In 24 % der Fälle waren sich die Prüfer uneinig ob es sich um die LBR handelte oder nicht, und in den restlichen 28 % war sie als nicht nachweisbar klassifiziert.

*Ziegler et al.* [51] konnte hingegen in einer Untersuchung von 26 Präparaten – davon 14 skelettierte und 12 von Leichen präparierte Knochen – in 92,31 % das Vorhandensein einer Bifurkationsleiste feststellen (85 % bei den skelettierten Knochen und 100 % bei den Leichenpräparaten). Er beschreibt dabei einen unterschiedlichen Grad der Ausprägung, von deutlich sichtbar bis hin zu schwach tastbar.

Die Aussage der vorliegenden Studie ist eher kritisch: In 75,30 %, also in rund  $\frac{3}{4}$  der Fälle, konnte keine LBR beobachtet werden, obwohl keinerlei Weichteile den Situs beeinträchtigten, wie bei *Ziegler et al.* [51] beschrieben. Limitierend ist natürlich die Technik der Auswertung, da man bei einer Fotografie auf eine statische Perspektive beschränkt ist. *Kopf et al.* [46] bringt in einem Review den Einwand, dass oft die Aufnahmetechnik, z. B. durch Kontrastarmut, die Identifikation der Leisten unmöglich macht bzw. erschwert. Dieser Einwand erscheint nachvollziehbar und es ist gut möglich, dass dadurch bei Knochen mit dezent ausgeprägter Leiste diese auf den Bildern nicht gefunden wurde. Es stellt sich jedoch die Frage, wie brauchbar die Struktur

#### 4. Diskussion

**T 4.1.** | Übersichtstafel: Prävalenz der lateralen Interkondylärleiste und der lateralen Bifurkationsleiste in der Literatur.

Studie	n	LIR %		LBR %		Anmerkungen
		ja	nein	ja	nein	
Diese Studie	166	97,59	2,41	24,70	75,30	
Eck	[50] 50	88	22	48	28	24 % inkonklusiv
Ferretti	[37] 7	—	—	85,71	14,29	Föten
	60	100	0	81,67	18,33	Patienten
	16	100	0	81,25	18,75	Leichen
Ziegler	[51] 26	—	—	92,31	7,69	

zur arthroskopischen Orientierung ist, wenn sie nur schwer durch digital-optische Systeme darstellbar ist – unabhängig von der Frage ob sie existiert oder nicht. Die Tatsache, dass die LIR in der vorliegenden Studie auf den selben Aufnahmen in beinahe allen Fällen erkennbar war, spricht zudem gegen die These der unzureichenden Aufnahmequalität.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass in Anbetracht der erst kürzlich erfolgten Beschreibung der lateralen Bifurkationsleiste die vorhandene Literatur spärlich ist. Eine Suche in der PubMed-Datenbank<sup>1</sup> mit der Suchanfrage

"bifurcate ridge" OR "bifurcation ridge"

erzielte nur 49 Ergebnisse, wovon sich nur vier auf die gegenständliche laterale Bifurkationsleiste bezogen [37, 49–51]. Die Tafel **T 4.1**, Seite 44, gibt eine Übersicht von Studien, welche das Vorliegen einer lateralen Bifurkationsleiste untersucht haben.

**Die praktische Bedeutung der lateralen Bifurkationsleiste** Das Ergebnis dieser Studie relativiert die praktische Bedeutung der lateralen Bifurkationsleiste als Orientierungsmerkmal bei Operationen an der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes. Zwar wird ihr Nutzen – wenn vorhanden – an sich nicht in Frage gestellt, da sie aber nach unserer Untersuchung in rund  $\frac{3}{4}$  der Fälle nicht vorhanden ist, wäre ihre Anwendbarkeit auf eine Minderheit von Fällen beschränkt.

<sup>1</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

#### 4. Diskussion

Ob die laterale Bifurkationsleiste als Orientierungspunkt tatsächlich unabkömmlich ist, erscheint fraglich: In einem Meta-Review betreffend die anatomische Double-Bundle-Technik erhoben *Carola van Eck et al.* [49] unter anderem auch, wie oft in den jeweiligen Studien berichtet wurde, dass die laterale Bifurkationsleiste dargestellt wurde. In 87,8 % der Fälle war dies nicht der Fall, nur 12,2 % der Studien dokumentierten dies. In dem 2009 erschienen umfassenden Übersichtswerk über die Grundlagen und Praxis der operativen Chirurgie des vorderen Kreuzbandes erwähnt Peterson die laterale Bifuraktionsleiste als femorale Landmarke nicht [80]. Stattdessen empfiehlt er den Übergang der *Linea intercondylaris* (die posteriore Begrenzung der Fossa intercondylaris) und der *Knorpel-Knochengrenze* als Orientierungspunkt, um die Ursprungsflächen der beiden Bündel abzugrenzen. Dies folgt der Darstellung von *Zantop et al.* in [77].

Andere Möglichkeiten der Orientierung scheinen daher auch taugliche Mittel zu sein, um zu einer guten Platzierung des Bohrkanals zu gelangen. Besonders geeignet hierfür scheint die laterale Interkondylärleiste zu sein, da sie einerseits das vordere Kreuzband abgrenzt und andererseits in nahezu allen Fällen vorhanden zu sein scheint, ein Umstand, der auch in der vorliegenden Studie bestätigt wurde [37, 50].

Die Frage, ob der Mensch grundsätzlich über eine laterale Bifurkationsleiste verfügt, bleibt von dieser Studie unberührt. Dies liegt einerseits an den Einschränkungen durch die Methodik, andererseits bietet auch die Tatsache der Vorselektion der Präparate – es handelte sich durchwegs um skelettierte Knochen von vermutlich größtenteils betagten Menschen – die Basis für einen grundsätzlichen Bias. Die Arbeiten von *Ferretti et al.* [38] an Föten legt die Vermutung nahe, dass die LBR möglicherweise im Menschen angelegt und ausgebildet ist, aber die Struktur vielleicht bei vielen im weiteren Entwicklungs- bzw. Lebensverlauf verloren geht.

Dies wäre konsistent mit der Überlegung von *Fu et al.* [48]. Er spekuliert, dass die knöchernen Leisten (LBR, LIR) aufgrund eines Remodellings des Knochens aufgrund der Beanspruchung durch die Ligamente entstehen, entsprechend dem *Wolff-Gesetz* [81, 82]. Das Wolff-Gesetz ist ein Postulat, wonach Knochenmasse dort aufgebaut wird, wo sie in Folge von Beanspruchung gebraucht und dort resorbiert wird, wo sie nicht beansprucht wird [83, S.1795].

Würde dies zutreffen, wäre das eine mögliche Erklärung für die hohe Variabilität der Prävalenz. Weitere mögliche Faktoren, welche bis dato nicht untersucht wurden, wären die Herkunft (Ethnie), Konstitutionstyp und Geschlecht. Leider lagen für diese Studie diesbezüglich keine Daten vor. Lediglich die Herkunft aus den jeweiligen Ge-

#### 4. Diskussion

beinhäusern legt nahe, dass es sich bei der Testpopulation um Knochen von Menschen mitteleuropäischer Abstammung handelt.

**Fläche** Die Angaben der Flächeninhalte der Ursprungsflächen sind in der Literatur sehr variabel. Sie reichen von  $65 \text{ mm}^2$  bei *Mochizuki et al.* [16] bis zu  $196,8 \text{ mm}^2$  bei *Ferretti et al.* [37].

Der in dieser Studie ermittelte Wert von  $127,21 \pm 32,54 \text{ mm}^2$  reiht sich dabei in den von der Vorliteratur abgesteckten Bereich ein. Zu beachten ist hierbei, dass in diese Studie der Flächeninhalt an Leichenknochen ohne Synovialmembran bestimmt wurde. Das Entfernen bzw. Erhalten der Synovialmembran hat Auswirkungen auf die Abmessungen gezeigt [28]: Bleibt die Synovialmembran erhalten, so finden sich größere Flächen, wird sie entfernt, schrumpfen die Flächeninhalte. Beispielhaft dafür sind die Studien von *Mochizuki et al.* [16] und *Siebold et al.* [17], welche die Synovialmembran entfernten und Flächen von  $65 \text{ mm}^2$  bzw.  $83 \pm 19 \text{ mm}^2$  ermittelten; wohingegen andererseits *Harner et al.* [45] sowie *Odensten et al.* [43] bei erhaltener Synovialmembran Flächen von  $113 \pm 27 \text{ mm}^2$  bzw.  $155 \text{ mm}^2$  erhielten.

Zu bedenken gilt auch, dass die Fläche in einer zweidimensionalen Projektion ermittelt wurde, wohingegen in manchen Studien, z. B. *Ferretti et al.* [37], dreidimensionale Vermessungsverfahren angewandt wurden. Dies mag erklären, dass Ferretti von allen der in der Tafel 4.2 angeführten Autoren mit Abstand den größten Flächeninhalt ermittelt hat. Eine Vergleichsmessung zwischen einem zwei- und dreidimensionalen Verfahren konnten mangels technischer Ausstattung nicht durchgeführt werden.

Im Falle dieser Untersuchung erfolgte die Ermittlung in einer 2-dimensionalen Projektion. Die Wahl der Projektionsparameter, d. h. des Winkels mit dem die Aufnahme durchgeführt wurde, erfolgte nicht wahllos: Es wurde eine Einstellung gewählt, bei welcher das Zentrum der Ursprungsflächen normal zu der Linsenachse des Kamera verlaufen.

Aus der Literatur ist bekannt dass die Ursprungsfläche gegenüber dem Dach der Fossa intercondylaris in etwa  $30^\circ$  geneigt ist [7, 84, 85]. Dies deckt sich mit den Angaben im Uhrenmodell (vgl. § 1.1.1.6, Seite 12), in dem die Position der Fläche oft gegen 01:00 Uhr beschrieben wird [16, 84]. Dies ergibt einen erforderlichen Neigungswinkel des Präparates von  $60^\circ$ , welcher bei der Aufnahme eingehalten wurde (vgl. § 2.1, Seite 24).

Auffällig ist der beobachtete, signifikante Seitenunterschied, wonach auf der rechten Seite im Mittel deutlich höhere Flächeninhalte vorlagen. Die vorliegende Studie

#### 4. Diskussion

widerspricht damit *Siebold et al.* [17], welcher in seiner Studie zwar einen signifikanten Seitenunterschied feststellen konnte, jedoch war die Fläche der *links*seitigen Ursprungsflächen signifikant größer. Dem gegenüber stehen zwei Studien von *Dargel et al.* [86, 87], nach welchen wiederum, wie in der vorliegenden Studie ermittelt, ein nicht signifikanter [86], bzw. ein signifikanter [87] Seitenunterschied im Sinne von *rechts* > *links* besteht.

**T 4.2.** | Übersichtstafel: Flächen der femoralen Ursprünge des vorderen Kreuzbandes in der Literatur. Modifiziert und ergänzt nach [46].

Studie	Einheit	Wert	Anmerkung
Diese Studie	mm <sup>2</sup>	127,21 ± 32,54	In Bezug auf Messraster
Mochizuki [16]	mm <sup>2</sup>	65	Synovialmembran entfernt
Siebold [17]	mm <sup>2</sup>	83 ± 19	Synovialmembran entfernt (46–156)
Odensten [43]	mm <sup>2</sup>	155	Synovialmembran erhalten
Harner [45]	mm <sup>2</sup>	113 ± 27	Synovialmembran erhalten
Muneta [15]	mm <sup>2</sup>	93,3 ± 34,1	
Takahashi [88]	mm <sup>2</sup>		
Dargel [86]	mm <sup>2</sup>	95,8 ± 37,4	links
	mm <sup>2</sup>	101,9 ± 35,1	rechts
Dargel [87]	mm <sup>2</sup>	119,5 ± 29,8	links
	mm <sup>2</sup>	122,3 ± 27,2	rechts
Luites [89]	mm <sup>2</sup>	184 ± 52	
Ferretti [37]	mm <sup>2</sup>	196,8 ± 23,1	(158,1–230,4)

**Abmessungen** Vorab muss besonders darauf hingewiesen werden, dass die Erhebung von Abmessungen zwingend einer Definition bedarf, wie diese Maße zu erheben sind. Dies betrifft insbesondere die Achsen, welche die Länge und Breite definieren. Erfolgt die Messung mit Hilfe von festgelegten Referenzpunkten muss die Festlegung dieser im Präparat ebenfalls genau definiert werden. Dem folgend können die in unterschiedlichen Studien mit unterschiedlichen Methoden gemessenen Werte deutlich variieren.

In dieser Studie wurden die Abmessungen anhand von Referenzpunkten berechnet.

#### 4. Diskussion

Zu beachten ist, dass dafür für die Definition von anterior, posterior, medial und lateral nicht die Femurachsen, sondern die Achsen des Koordinatensystems des Messrasters  2.2, Seite 26 verwendet wurden. Dadurch kann sich das Verhältnis von Länge zu Breite ändern. Einige Autoren orientieren sich dagegen an der Femurlängsachse, an der Achse mit der maximalen Länge oder machen keine näheren Angaben über die Methode der Erhebung.

Trotz dieser Vorbehalte ordnet sich diese Studie – zumindest was die Länge betrifft – gut in die Ergebnisse der Vorliteratur ein. Auffällig war der ermittelte Wert der Breite, welcher mit  $12,6 \pm 2,1$  mm den Maximalwert innerhalb der Literaturübersicht darstellt. Die Länge von  $17,0 \pm 2,67$  mm liegt zwischen den von *Siebold et al.* [17] und *Odensten et al.* [43] ermittelten Werten von  $15 \pm 3$  und  $18 \pm 2$  mm. Dies ist auch anhand der Flächeninhalte nachzuvollziehen, der in dieser Studie ermittelte Wert von  $127,21 \pm 32,54$  mm<sup>2</sup> liegt zwischen den von den vorhin genannten Autoren erhobenen Werten von  $83 \pm 19$  mm<sup>2</sup> [17] und  $155$  mm<sup>2</sup> [43]. *Muneta et al.* [15] ist dazu konsistent mit einer Länge von  $16 \pm 2,8$  mm und einer Fläche  $93,3 \pm 34,1$  mm<sup>2</sup>. *Ferretti et al.* [37] sticht heraus: Er erhebt eine zu dieser Studie ähnliche Länge ( $17,2 \pm 1,2$  mm) und geringere Breite ( $9,9 \pm 0,8$ ) erhält aber einen deutlich größeren Flächeninhalt ( $196,8 \pm 23,1$  mm<sup>2</sup>).

**T 4.3.** | Übersichtstafel: Abmessungen der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes in der Literatur. Modifiziert und ergänzt nach [46].

Studie	Einheit	Länge	Breite	Anmerkung
Diese Studie		$17,0 \pm 2,67$	$12,6 \pm 2,1$	
Siebold	[17] mm	$15 \pm 3$	$8 \pm 2$	
Odensten	[43] mm	$18 \pm 2$	$11 \pm 2$	
Girgis	[24] mm	23	—	
Muneta	[15] mm	$16 \pm 2,8$	$8,3 \pm 2,8$	
Colombet	[19] mm	$18,3 \pm 2,3$	$10,3 \pm 2,7$	
Edwards	[47] mm	$14 \pm 2$	$7 \pm 1$	
Heming	[90] mm	$18,4 \pm 0,6$	—	
Ferretti	[37] mm	$17,2 \pm 1,2$	$9,9 \pm 0,8$	

#### 4. Diskussion

**Winkel** Bezüglich der erhobenen Winkel konnte kaum Vorliteratur identifiziert werden. Bemerkenswert erscheint die hohe Schwankungsbreite der gemessenen Werte. Diese konnten mit den Beobachtungen während der Vermessung in Einklang gebracht werden; bereits beim Auswerten der Fotografien fiel subjektiv eine hohe Variabilität der Lage der Leisten zueinander und zur Femurlängsachse auf.

**Form der Ursprungsflächen** Die Form der Ursprungsflächen wird in der Literatur unterschiedliche beschrieben. Sie wird sowohl als Sektor eines Kreises [24, 91], eher kreisrund [45] oder eher oval [43], bzw. als Sektor einer Ellipse [25] beschrieben. Alle diese Beobachtungen konnten nachvollzogen werden. Zusätzlich dazu konnten nierenförmige und trapezförmige Flächen identifiziert werden; ein beachtlicher Anteil von rund 15 % konnte mit den verwendeten sieben Kategorien nicht abgedeckt werden. Daraus lässt sich folgern, dass die Form, so wie die meisten anderen erhobenen Parameter, einer beträchtlichen Variabilität unterliegen.

**Conclusio** Die femorale Ursprungsfläche weist hinsichtlich ihrer Form, Ausdehnung und den vorhandenen Strukturen eine große Variabilität auf. Diese Aussage ergibt sich nicht nur aus der vorliegenden Studie, sondern lässt sich bereits auch in der vorliegenden Literatur nachvollziehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorhandenen und nun durch diese Studie ergänzten Daten zur Prävalenz in der Gesamtbetrachtung nicht konklusiv erscheinen um eine abschließende Aussage über die „Zuverlässigkeit“ der lateralen Bifurkationsleiste hinsichtlich ihres Auftretens zu treffen. Es erscheint zwar glaubwürdig, dass diese Struktur wiederholt, in unterschiedlicher Ausprägung, *in vitro* beobachtet werden kann und laut *Fu et al.* [48] ist auch ein Auffinden *arthroskopisch in vivo* möglich. Dennoch stellt die vorliegende Studie die Praxistauglichkeit in Folge der niedrigen Prävalenz in Frage. Die im Vergleich zu den anderen Studien hohe Fallzahl von  $n = 166$ , welche doppelt so groß ist als derjenigen Vergleichsstudie mit der höchsten Fallzahl von *Ferretti et al.* [37], verleiht der Aussage ein gewisses Gewicht.

Zudem wird zwar in keiner Arbeit bestritten, dass die LBR – wenn vorhanden – eine Trennlinie zwischen dem anteromedialen und posterolateralen Bündel darstellt. Dennoch stützt sich diese Aussage im wesentlichen auf eine einzige histologische Studie mit einer Population von lediglich  $n = 7$  [37]. Somit erscheint auch die Bedeutung der LBR, selbst wenn sie vorhanden ist, diskussionsbedürftig.

#### *4. Diskussion*

In Anbetracht dieser Faktoren, nämlich die sehr variable Prävalenz (in der vorliegenden Studie rund  $\frac{1}{4}$  der Fälle) und die noch nicht zweifellos bewiesene Bedeutung als Grenze zwischen AM- und PL-Bündel, erscheint es derzeit fragwürdig, die laterale Bifurkationsleiste fix als weitere mögliche Landmarke in das Repertoire der Orientierungspunkte aufzunehmen.

Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Prävalenz, unter Einbeziehung von möglichen Einflussfaktoren wie Ethnie, Alter, Konstitutionstyp, etc., insbesondere arthroskopische in vivo Studien, scheinen angebracht.

# Appendix

**A**

**Formulare**

## A.1. Beschluss der Ethikkommission

**ETHIK-KOMMISSION**  
**DER MEDIZINISCHEN UNIVERSITÄT WIEN**  
Borschkegasse 8b/6 - A-1090 Wien, Austria  
☎ 0043 1 404 00 – 2147, 2244 & 📠 0043 1 404 00 – 1690  
**E-Mail: [ethik-kom@meduniwien.ac.at](mailto:ethik-kom@meduniwien.ac.at)**  
**[ethikkommission.meduniwien.ac.at](http://ethikkommission.meduniwien.ac.at)**

**Sitzung der Ethik-Kommission am 15. März 2011, TOP 104 :**

**EK Nr: 167/2011**

**Antragsteller:** Univ.Prof.Dr. Manfred Tschabitscher(1), cand.med. Sebastian GABRIEL(2)

**Einreichende Institution:** Zentrum f.Anatomie u. Zellbiologie(1), Zentrum f.Anatomie u.Zellbiologie(2)

**Projekttitel:** Der Ursprung des vorderen Kreuzbandes unter besonderer Berücksichtigung des antero-medialen und postero-lateralen Bündels: Eine morphologische Analyse

Die Stellungnahme der Ethik-Kommission erfolgt aufgrund folgender eingereichter Unterlagen:

Dokument	Version/Nr	Datiert
Originalprotokoll:	1.0	2011-01-31
Verpflichtungserklärung:		undatiert

**Die Kommission fasst folgenden Beschluss** (mit X markiert):

- Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie.
- Die unten bezeichneten Punkte des Antrages sind entweder noch unerledigt bzw sollten von den Antragstellern geändert/ nachgereicht werden. Nach entsprechender Vorlage/Erledigung kann auch vor der nächsten Ethik-Kommissions Sitzung ein endgültig positiver Beschluss ausgefertigt werden. Der Antrag wird in der nächsten Sitzung der Kommission nicht mehr behandelt.  
Achtung: Werden die geforderten Unterlagen von den Antragstellern nicht innerhalb von 3 Sitzungsperioden (ab Datum dieser Sitzung) nachgereicht, gilt der Antrag ohne weitere Benachrichtigung als zurückgezogen und muss gegebenenfalls als Neuantrag eingereicht werden.
- Es bestehen Einwände gegen die Durchführung der Studie in der eingereichten Form. Die unten angeführten Punkte sollten von den Antragstellern entsprechend geändert und der Kommission neu vorgelegt werden. Der Antrag wird in der nächsten Sitzung der Kommission nochmals behandelt.  
Achtung: Werden die geforderten Unterlagen von den Antragstellern nicht innerhalb von 3 Sitzungsperioden (ab Datum dieser Sitzung) nachgereicht, gilt der Antrag ohne weitere Benachrichtigung als zurückgezogen und muß gegebenenfalls als Neuantrag eingereicht werden.
- Der Antrag wird von der Ethik-Kommission abgelehnt.
- Der TOP wird bis zur nächsten Sitzung vertagt (Begründung siehe unten)

## A. Formulare

### **Kommentare:**

Zum Prüfplan :

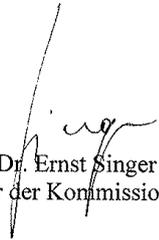
Zur Patienteninformation :

Zur Versicherungsbestätigung : **nicht erforderlich**

Andere :

**Die Ethik-Kommission geht - rechtlich unverbindlich – davon aus, daß es sich um keine klinische Prüfung gemäß AMG/MPG handelt.**

Mitgliederliste der Ethik-Kommission (aktueller Stand am Sitzungstag) beiliegend. Mitglieder der Ethik-Kommission, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher laut Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung/Abstimmung nicht teilgenommen haben: **Univ.Prof.Dr. Majda Thurnher, Univ.Prof.Dr. Thomas Helbich, Univ.Prof.Dr. Christian Loewe**

  
Univ.Prof.Dr. Ernst Singer  
Vorsitzender der Kommission

**ACHTUNG:** Unter Berücksichtigung der „ICH-Guideline for Good Clinical Practice“ gilt dieser Beschluß **ein Jahr ab Datum der Ausstellung**. Gegebenenfalls hat der Antragsteller eine Verlängerung der Gültigkeit mittels Formular für „Meldungen“ rechtzeitig vorzulegen.

# B

## Abkürzungsverzeichnis und Nomenklatur

∠ Winkel

**A** Abbildung

**T** Tabelle, Tafel.

**A.** Arteria, ⟨lat.⟩ Arterie

**Abk.** Abkürzung

**Abs.** Absatz.

**allg.** allgemein.

**ACL** ⟨engl.⟩ anterior cruciate ligament; vorderes Kreuzband

**AM** anteromedial

**AR** Aussenrotation

**Art.** Articulatio

**Cave** ⟨lat.⟩ „Hüte Dich vor ...“. Auch: „Achtung, gib Acht!“

**DB** ⟨engl.⟩ double bundle, Doppelbündel

**engl.** englisch

**et al.** und andere

**evtl.** eventuell.

**FL** Flexion

**FLA** Femurlängsachse

**franz.** französisch

**griech.** griechisch.

**i. d. R.** in der Regel.

**i. V. m.** in Verbindung mit

**IR** Innenrotation

**KG** Körpergewicht

**lat.** latein, lateinisch.

**LBR** ⟨engl.⟩ lateral bifurcation ridge; laterale Bifurkationsleiste

**LBR<sub>A</sub>** Anfangsstrecke der lateralen Bifurkationsleiste

**LBR<sub>E</sub>** Endstrecke der lateralen Bifurkationsleiste

**Lig.** Ligamentum

**LIR** ⟨engl.⟩ lateral intercondylar ridge; laterale Interkondylarleiste

**Max.** Maximum, Maximalwert

**max.** maximal

**Min.** Minimum, Minimalwert

**min.** minimal

**N. 1.** Nervus, ⟨lat.⟩ Nerv  
**2.** Neoplasma, ⟨lat.⟩ Neubildung

**NA** ⟨engl.⟩ not available; (Daten) nicht vorhanden / nicht verfügbar

**Pl.** Plural

**PL** posterolateral

**Quart.** Quartile

**S.** Seite

**SB** ⟨engl.⟩ single bundle, Einzelbündel

**SD** ⟨engl.⟩ standard deviation; Standardabweichung

**spez.** speziell

**Syn.** Synonym

**ugs.** umgangssprachlich

**urspr.** ursprünglich

**VKB** Vorderes Kreuzband

**WmCo** Wikimedia Commons

**Z.** Zahl, Ziffer.

**z. B.** zum Beispiel



## Abbildungsverzeichnis

1.1. Änderung der Faserverläufe des ACL in Flexion, nach [24]. Grafik: Lena Hirtler. . . . .	18
1.2. Schematische Anatomie. Grafiken: Lena Hirtler. . . . .	18
2.1. Aufnahmesituation . . . . .	25
2.2. Raster zur Vermessung der Ursprungsflächen, nach [19]. Grafik: Lena Hirtler. . . . .	29
3.1. Prävalenz der der lateralen Bifurkations- und Interkondyläreiste (LBR, LIR) . . . . .	36
3.2. Flächenhalt als Boxplot und Histogramm, sowie im Seitenvergleich. Maße in mm <sup>2</sup> . . . . .	39
3.3. Kategorien zur Beschreibung der vorgefundenen Ursprungsflächen mit Beispielen. Die dargestellten Formen sind aus den verwendeten Fotografien isolierte Umrisse, welche zur Datenauswertung erhoben und verwendet wurden. . . . .	41

# D

## Tabellenverzeichnis

1.1. Bewegungen im Kniegelenk . . . . .	9
2.1. Erhobene Werte . . . . .	30
2.2. Errechnete Werte . . . . .	31
2.3. Koordinatensysteme . . . . .	32
3.1. Meßergebnisse, gerundet auf zwei Dezimalstellen. . . . .	38
4.1. Übersichtstafel: Prävalenz der lateralen Interkondylärleiste und der lateralen Bifurkationsleiste in der Literatur. . . . .	44
4.2. Übersichtstafel: Flächen der femoralen Ursprünge des vorderen Kreuzbandes in der Literatur. Modifiziert und ergänzt nach [46]. . . . .	47
4.3. Übersichtstafel: Abmessungen der Ursprungsfläche des vorderen Kreuzbandes in der Literatur. Modifiziert und ergänzt nach [46]. . . . .	48



## Literaturverzeichnis

- 1: Benninghof und Detlev Drenckhan (Herausgeber): *Anatomie*, Band 1. Elsevier, 17. Auflage, 2008, ISBN 978-3-437-42342-0.
- 2: Carl J. Wirth, Ludwig Zichner und Dieter Kohn: *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Knie*. Thieme, Stuttgart, 1. Auflage, 2005, ISBN 3131262311.
- 3: Gerhard Aumüller, Gabriela Aust, Andreas Doll, Jürgen Engele, Joachim Kirsch, Siegfried Mense, Dieter Reißig, Jürgen Salvetter, Wolfgang Schmidt, Frank Schmitz, Erik Schulte, Katharina Spänel-Borowski, Werner Wolff, Laurenz J. Wurzing und Hans Gerhard Zilch (Herausgeber): *Anatomie*. Duale Reihe. Thieme, 2. Auflage, 2010, ISBN 978-3-13-136042-7.
- 4: Susan Standring, Harold Ellis, Jeremiah C Healy, David Johnson, and Andrew Williams (editors): *Gray's Anatomy*. Elsevier, 39th edition, 2005, ISBN 0-443-07168-3.
- 5: Werner Platzer (Herausgeber): *Bewegungsapparat*. Taschenatlas der Anatomie. Thieme, 2003, ISBN 3-13-492008-5.
- 6: Johannes W. Rohen und Elke Lütjen-Drecoll (Herausgeber): *Funktionelle Anatomie des Menschen*. Schattauer-Verlag, 2006, ISBN 978-3-7945-2440-2.
- 7: Werner Müller: *Das Knie. Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie*. Springer-Verlag GmbH, 1982, ISBN 3540083790.
- 8: K. Jacobsen: *Osteoarthritis following insufficiency of the cruciate ligaments in man. a clinical study*. Acta Orthop Scand, 48(5):520–526, 1977.
- 9: J. A. Vilensky, B. L. O'Connor, K. D. Brandt, E. A. Dunn, P. I. Rogers, and C. A. DeLong: *Serial kinematic analysis of the unstable knee after transection of the anterior cruciate ligament: temporal and angular changes in a canine model of*

## E. Literaturverzeichnis

- osteoarthritis. *J Orthop Res*, 12(2):229–237, Mar 1994. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.1100120212>.
- 10: A. Menschik: [*Mechanics of the knee-joint. 1 (author's transl)*]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 112(3):481–495, Jun 1974.
- 11: A. Menschik: [*Mechanics of the knee joint, part II, the final rotation (author's transl)*]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 113(3):388–400, Jun 1975.
- 12: Philippe Neyret: *Kniechirurgie*. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 1. Auflage, 2008, ISBN 9783437246005.
- 13: A. A. Amis, B. Beynon, L. Blankevoort, P. Chambat, P. Christel, L. Durselen, N. Friederich, E. Grood, P. Hertel, and R. Jakob: *Proceedings of the esska scientific workshop on reconstruction of the anterior and posterior cruciate ligaments*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2(3):124–132, 1994.
- 14: Francesco Giron, Pierluigi Cuomo, Paolo Aglietti, Anthony M J Bull, and Andrew A Amis: *Femoral attachment of the anterior cruciate ligament*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14(3):250–256, Mar 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-005-0685-y>.
- 15: T. Muneta, K. Takakuda, and H. Yamamoto: *Intercondylar notch width and its relation to the configuration and cross-sectional area of the anterior cruciate ligament. a cadaveric knee study*. *Am J Sports Med*, 25(1):69–72, 1997.
- 16: Tomoyuki Mochizuki, Takeshi Muneta, Tsuyoshi Nagase, Shin Ichi Shirasawa, Kei Ich Akita, and Ichiro Sekiya: *Cadaveric knee observation study for describing anatomic femoral tunnel placement for two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction*. *Arthroscopy*, 22(4):356–361, Apr 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2005.09.020>.
- 17: Rainer Siebold, Thomas Ellert, Stefan Metz, and Jürgen Metz: *Femoral insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry and arthroscopic orientation models for double-bundle bone tunnel placement—a cadaver study*. *Arthroscopy*, 24(5):585–592, May 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2007.12.008>.
- 18: Brian Forsythe, Sebastian Kopf, Andrew K Wong, Cesar A Q Martins, William Anderst, Scott Tashman, and Freddie H Fu: *The location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models*. *J Bone Joint Surg Am*, 92(6):1418–1426, Jun 2010. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.I.00654>.
- 19: Philippe Colombet, James Robinson, Pascal Christel, Jean Pierre Franceschi, Patrick Djian, Guy Bellier, and Abdou Sbihi: *Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study*. *Arthroscopy*, 22(9):984–992, Sep 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2006.04.102>.

## E. Literaturverzeichnis

- 20: M. Bernard, P. Hertel, H. Hornung, and T. Cierpinski: *Femoral insertion of the acl. radiographic quadrant method*. Am J Knee Surg, 10(1):14–21; discussion 21–2, 1997.
- 21: Carl Joachim Wirth, F. Adam und Dieter Kohn (Herausgeber): *Knie*. Orthopädie und orthopädische Chirurgie. Thieme, 2005, ISBN 3-13-126231-1.
- 22: Helmut Leonhardt, Bernhard Tillmann, Gian Tondury und Karl Zilles (Herausgeber): *Bewegungsapparat*, Band 1 der Reihe *Anatomie des Menschen. Lehrbuch und Atlas*. Thieme, 3. Auflage, 2003, ISBN 3-13-503303-1.
- 23: Herbert Lippert: *Lehrbuch Anatomie*. Elsevier, 7. Auflage, 2006, ISBN 3-437-42362-2.
- 24: F. G. Girgis, J. L. Marshall, and A. Monajem: *The cruciate ligaments of the knee joint. anatomical, functional and experimental analysis*. Clin Orthop Relat Res, (106):216–231, 1975.
- 25: F. K. Fuss: *Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint*. Am J Anat, 184(2):165–176, Feb 1989. <http://dx.doi.org/10.1002/aja.1001840208>.
- 26: A. A. Amis and G. P. Dawkins: *Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries*. J Bone Joint Surg Br, 73(2):260–267, Mar 1991.
- 27: B. Kummer und H. Yamamoto: *Funktionelle Anatomie der Kreuzbänder*. Arthroskopie, 1:2–10, 1998.
- 28: Elcil Kaya Bicer, Sebastien Lustig, Elvire Servien, Tarik Ait Si Selmi, and Philippe Neyret: *Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 18(8):1075–1084, Aug 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-009-0993-8>.
- 29: Rüdiger Siewert (Herausgeber): *Chirurgie*. Springer-Verlag, 8. Auflage, 2006, ISBN 3-540-30450-9.
- 30: R. Scapinelli: *Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures*. Clin Anat, 10(3):151–162, 1997. <http://dx.doi.org/3.0.CO;2-X>.
- 31: W. Petersen and B. Tillmann: *Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint*. Anat Embryol (Berl), 200(3):325–334, Sep 1999.
- 32: R. A. Schultz, D. C. Miller, C. S. Kerr, and L. Micheli: *Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. a histological study*. J Bone Joint Surg Am, 66(7):1072–1076, Sep 1984.
- 33: M. J. Schutte, E. J. Dabezies, M. L. Zimny, and L. T. Happel: *Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament*. J Bone Joint Surg Am, 69(2):243–247, Feb 1987.

## E. Literaturverzeichnis

- 34: Nobuo Adachi, Mitsuo Ochi, Yuji Uchio, Junji Iwasa, Koji Ryoke, and Masakazu Kuriwaka: *Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense*. Acta Orthop Scand, 73(3):330–334, Jun 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/000164702320155356>.
- 35: M. Ochi, J. Iwasa, Y. Uchio, N. Adachi, and Y. Sumen: *The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament*. J Bone Joint Surg Br, 81(5):902–906, Sep 1999.
- 36: Wolf Petersen and Thore Zantop: *Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles*. Clin Orthop Relat Res, 454:35–47, Jan 2007. <http://dx.doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802b4a59>.
- 37: Mario Ferretti, Max Ekdahl, Wei Shen, and Freddie H Fu: *Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study*. Arthroscopy, 23(11):1218–1225, Nov 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2007.09.008>.
- 38: Mario Ferretti, Eric A Levicoff, Trevor A Macpherson, Morey S Moreland, Moises Cohen, and Freddie H Fu: *The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study*. Arthroscopy, 23(3):278–283, Mar 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2006.11.006>.
- 39: Anton Johannes Waldeyer, J. Fanghänel, F. Pera, F. Anderhuber und R. Nitsch (Herausgeber): *Waldeyer Anatomie des Menschen*. de Gruyter, 17. Auflage, 2003, ISBN 3-11-016561-9.
- 40: Carola F van Eck, Verena M Schreiber, T. Thomas Liu, and Freddie H Fu: *The anatomic approach to primary, revision and augmentation anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 18(9):1154–1163, Sep 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-010-1191-4>.
- 41: H. Kurosawa, K. Yamakoshi, K. Yasuda, and T. Sasaki: *Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion*. Clin Orthop Relat Res, (265):233–240, Apr 1991.
- 42: Kenji Hara, Tomoyuki Mochizuki, Ichiro Sekiya, Kumiko Yamaguchi, Keiichi Akita, and Takeshi Muneta: *Anatomy of normal human anterior cruciate ligament attachments evaluated by divided small bundles*. Am J Sports Med, 37(12):2386–2391, Dec 2009. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546509340404>.
- 43: M. Odensten and J. Gillquist: *Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction*. J Bone Joint Surg Am, 67(2):257–262, Feb 1985.
- 44: Mary T Gabriel, Eric K Wong, Savio L Y Woo, Masayoshi Yagi, and Richard E Debski: *Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads*. J Orthop Res, 22(1):85–89, Jan 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00133-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00133-5).

## E. Literaturverzeichnis

- 45: C. D. Harner, G. H. Baek, T. M. Vogrin, G. J. Carlin, S. Kashiwaguchi, and S. L. Woo: *Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions*. *Arthroscopy*, 15(7):741–749, Oct 1999.
- 46: Sebastian Kopf, Volker Musahl, Scott Tashman, Michal Szczodry, Wei Shen, and Freddie H Fu: *A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the acl*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17(3):213–219, Mar 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-008-0709-5>.
- 47: Andrew Edwards, Anthony M J Bull, and Andrew A Amis: *The attachments of the anteromedial and posterolateral fibre bundles of the anterior cruciate ligament. part 2: femoral attachment*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16(1):29–36, Jan 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-007-0410-0>.
- 48: Freddie H Fu and Susan S Jordan: *The lateral intercondylar ridge—a key to anatomic anterior cruciate ligament reconstruction*. *J Bone Joint Surg Am*, 89(10):2103–2104, Oct 2007. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.G.00851>.
- 49: Carola F van Eck, Verena M Schreiber, Hector A Mejia, Kristian Samuelsson, C. Niek van Dijk, Jon Karlsson, and Freddie H Fu: *"anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of surgical techniques and reporting of surgical data*. *Arthroscopy*, 26(9 Suppl):S2–12, Sep 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2010.03.005>.
- 50: Carola F van Eck, Kenneth R Morse, Bryson P Lesniak, Eric J Kropf, Michael J Trnovich, C. Niek van Dijk, and Freddie H Fu: *Does the lateral intercondylar ridge disappear in acl deficient patients?* *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18(9):1184–1188, Sep 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-009-1038-z>.
- 51: Connor G Ziegler, Sean D Pietrini, Benjamin D Westerhaus, Colin J Anderson, Coen A Wijdicks, Steinar Johansen, Lars Engebretsen, and Robert F LaPrade: *Arthroscopically pertinent landmarks for tunnel positioning in single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions*. *Am J Sports Med*, 39(4):743–752, Apr 2011. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546510387511>.
- 52: Lena Hirtler, Manfred Tschabitscher, Albert Kröpfl und Martin Fischmeister: *Die Sehnenentnahme zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes*. In: *Der Unfallchirurg* [92], Seiten 63–64. Abstracts der 60. Jahrestagung 2011 der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e. V.
- 53: Thore Zantop: *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*, Kapitel Geschichtliche Entwicklung der Therapie von VKB-Läsionen. In: Petersen, Wolf und Thore Zantop [93], 1. Auflage, 2009, ISBN 978-3-7691-0562-9.
- 54: Philipp Forkel, Andrea Achtnich, Sebastian Metzloff, Thore Zantop und Wolf Petersen: *Ursachen von Revisionen nach arthroskopischem Ersatz des vorderen Kreuzbandes: eine retrospektive Betrachtung der präoperativen Befunde von 100 Revisionsfällen*. In: *Der Unfallchirurg* [92], Seite 119. Abstracts der 60. Jahrestagung 2011 der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e. V.

## E. Literaturverzeichnis

- 55: Seth A Cheatham and Darren L Johnson: *Anatomic revision acl reconstruction*. Sports Med Arthrosc, 18(1):33–39, Mar 2010. <http://dx.doi.org/10.1097/JSA.0b013e3181c14998>.
- 56: Thore Zantop, Mathias Wellmann, Freddie H Fu, and Wolf Petersen: *Tunnel positioning of anteromedial and posterolateral bundles in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: anatomic and radiographic findings*. Am J Sports Med, 36(1):65–72, Jan 2008. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546507308361>.
- 57: Scott Tashman, David Collon, Kyle Anderson, Patricia Kolowich, and William Anderst: *Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction*. Am J Sports Med, 32(4):975–983, Jun 2004.
- 58: Scott Tashman, Patricia Kolowich, David Collon, Kyle Anderson, and William Anderst: *Dynamic function of the acl-reconstructed knee during running*. Clin Orthop Relat Res, 454:66–73, Jan 2007. <http://dx.doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802bab3e>.
- 59: Goro Tajima, Takanori Iriuchishima, Sheila J M Ingham, Wei Shen, Albert H van Houten, Maarten M Aerts, Tadashi Shimamura, Patrick Smolinski, and Freddie H Fu: *Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction restores patellofemoral contact areas and pressures more closely than nonanatomic single-bundle reconstruction*. Arthroscopy, 26(10):1302–1310, Oct 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2010.01.034>.
- 60: Scott Tashman, Sebastian Kopf, and Freddie H Fu: *The kinematic basis of acl reconstruction*. Oper Tech Sports Med, 16(3):116–118, Jul 2008. <http://dx.doi.org/10.1053/j.otsm.2008.10.005>.
- 61: Verena M Schreiber, Carola F van Eck, and Freddie H Fu: *Anatomic double-bundle acl reconstruction*. Sports Med Arthrosc, 18(1):27–32, Mar 2010. <http://dx.doi.org/10.1097/JSA.0b013e3181bf6634>.
- 62: H. W. Mott: *Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency*. Clin Orthop Relat Res, (172):90–92, 1983.
- 63: W. Blauth: *[2-strip substitution-plasty of the anterior cruciate ligament with the quadriceps tendon]*. Unfallheilkunde, 87(2):45–51, Feb 1984.
- 64: Thore Zantop, Seiji Kubo, Wolf Petersen, Volker Musahl, and Freddie H Fu: *Current techniques in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction*. Arthroscopy, 23(9):938–947, Sep 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2007.04.009>.
- 65: TD Rosenberg and B Graf: *Techniques for ACL reconstruction with Multi-Trac drill guide*. Acufex Microsurgical, Mansfield, MA, 1994.
- 66: Thore Zantop: *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*, Kapitel Biomechanik des Kniegelenkes. In: Petersen, Wolf und Thore Zantop [93], 1. Auflage, 2009, ISBN 978-3-7691-0562-9.

## E. Literaturverzeichnis

- 67:** Freddie H Fu, Wei Shen, James S Starman, Nnamdi Okeke, and James J Irrgang: *Primary anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary 2-year prospective study*. *Am J Sports Med*, 36(7):1263–1274, Jul 2008. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546508314428>.
- 68:** Jong Keun Seon, Eun Kyoo Song, Bong Hyun Bae, Sang Jin Park, Taek Rim Yoon, Sang Gwon Cho, Jae Joon Lee, and Myung Sun Kim: *Kinematic study following double-bundle, anterior cruciate ligament reconstruction*. *Int Orthop*, 31(5):623–628, Oct 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-006-0244-2>.
- 69:** Masayoshi Yagi, Eric K Wong, Akihiro Kanamori, Richard E Debski, Freddie H Fu, and Savio L Y Woo: *Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction*. *Am J Sports Med*, 30(5):660–666, 2002.
- 70:** Kazunori Yasuda, Yoshie Tanabe, Eiji Kondo, Nobuto Kitamura, and Harukazu Tohyama: *Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction*. *Arthroscopy*, 26(9 Suppl):S21–S34, Sep 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2010.03.014>.
- 71:** E. Scott Paxton, Steven M Kymes, and Robert H Brophy: *Cost-effectiveness of anterior cruciate ligament reconstruction: A preliminary comparison of single-bundle and double-bundle techniques*. *Am J Sports Med*, Sep 2010. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546510375545>.
- 72:** Fadi Baseseh, O. Meyer und G. Godolias: *Isolierte Rekonstruktion des anteriomedialen oder posterolateralen Bündels mittels Semitendinostransplantat in der vorderen Kreuzbandchirurgie*. In: *Der Unfallchirurg* [92]. Abstracts der 60. Jahrestagung 2011 der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e. V.
- 73:** Thore Zantop: *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*, Kapitel Intraartikuläres Rupturmuster und Partialrupturen. In: Petersen, Wolf und Thore Zantop [93], 1. Auflage, 2009, ISBN 978-3-7691-0562-9.
- 74:** Christopher D Harner and Gary G Poehling: *Double bundle or double trouble?* *Arthroscopy*, 20(10):1013–1014, Dec 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2004.10.002>.
- 75:** Nikolaus A Streich, Kilian Friedrich, Tobias Gotterbarm, and Holger Schmitt: *Reconstruction of the acl with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16(3):232–238, Mar 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-007-0480-z>.
- 76:** Richard B Meredick, Kennan J Vance, David Appleby, and James H Lubowitz: *Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis*. *Am J Sports Med*, 36(7):1414–1421, Jul 2008. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546508317964>.
- 77:** Thore Zantop und Wolf Petersen: *Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes*. *Arthroscopie*, 20:94–104, 2007.

## E. Literaturverzeichnis

- 78:** Volker Musahl, Anton Plakseychuk, Andrew VanScyoc, Tomoyuki Sasaki, Richard E Debski, Patrick J McMahon, and Freddie H Fu: *Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee.* Am J Sports Med, 33(5):712–718, May 2005. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546504271747>.
- 79:** John Fox: *The r commander: A basic-statistics graphical user interface to r.* Journal of Statistical Software, 14(9), September 2005.
- 80:** Wolf Petersen: *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie,* Kapitel Tunnelpositionen. In: Petersen, Wolf und Thore Zantop [93], 1. Auflage, 2009, ISBN 978-3-7691-0562-9.
- 81:** Julius Wolff: *The classic: on the inner architecture of bones and its importance for bone growth. 1870.* Clin Orthop Relat Res, 468(4):1056–1065, Apr 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-010-1239-2>.
- 82:** Julius Wolff: *The classic: on the theory of fracture healing. 1873.* Clin Orthop Relat Res, 468(4):1052–1055, Apr 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-010-1240-9>.
- 83:** Willibald Pschyrembel (Herausgeber): *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.* de Gruyter, 259. Auflage, 2002, ISBN 3-11-017213-5.
- 84:** Roberto Freire da Mota Albuquerque, Marco Martins AmatuZZi, Alexandre Pagotto Pacheco, Fabio Janson Angelini, and Osmar Campos Jr: *Positioning of the femoral tunnel for arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament: comparative study of 2 techniques.* Clinics (Sao Paulo), 62(5):613–618, Oct 2007.
- 85:** Roberto F Mota E Albuquerque, Sandra Umeda Sasaki, Marco Martins AmatuZZi, and Fabio Janson Angelini: *Anterior cruciate ligament reconstruction with double bundle versus single bundle: experimental study.* Clinics (Sao Paulo), 62(3):335–344, Jun 2007.
- 86:** Jens Dargel, Peer Pohl, Prokopios Tzikaras, and Juergen Koebke: *Morphometric side-to-side differences in human cruciate ligament insertions.* Surg Radiol Anat, 28(4):398–402, Aug 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-006-0107-y>.
- 87:** Jens Dargel, Janna Feiser, Martina Gotter, Dietmar Pennig, and Jürgen Koebke: *Side differences in the anatomy of human knee joints.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 17(11):1368–1376, Nov 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-009-0870-5>.
- 88:** Masaaki Takahashi, Mitsuhito Doi, Masashi Abe, Daisuke Suzuki, and Akira Nagano: *Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of human anterior cruciate ligament.* Am J Sports Med, 34(5):787–792, May 2006. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546505282625>.

## E. Literaturverzeichnis

- 89:** Joan W H Luites, Ate B Wymenga, Leendert Blankevoort, and Jan G M Kooloos: *Description of the attachment geometry of the anteromedial and posterolateral bundles of the acl from arthroscopic perspective for anatomical tunnel placement.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 15(12):1422–1431, Dec 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-007-0402-0>.
- 90:** James F Heming, Jason Rand, and Mark E Steiner: *Anatomical limitations of transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction.* Am J Sports Med, 35(10):1708–1715, Oct 2007. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546507304137>.
- 91:** S. P. Arnoczky: *Anatomy of the anterior cruciate ligament.* Clin Orthop Relat Res, (172):19–25, 1983.
- 92:** NOUV: *Abstracts der 60. Jahrestagung 2011 der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e. V.* Der Unfallchirurg, 114 Suppl. 2, Juni 2011. Abstracts der 60. Jahrestagung 2011 der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e. V.
- 93:** Wolf Petersen und Thore Zantop (Herausgeber): *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie.* Deutscher Ärzte-Verlag, 1. Auflage, 2009, ISBN 978-3-7691-0562-9.

# F

## Index

- $\chi^2$ -Test, 28, 35  
 $\kappa$ , 31  
A., *siehe* Arteria, *siehe* Arteria  
ACL, 13  
Adobe™ Illustrator™, 26  
Alternativhypothese, 22  
anterior cruciate ligament, 13  
anterior displacement, 16  
Arteria  
    inferior lateralis genus, 14  
    inferior medialis genus, 14  
    media genus, 14  
Articulatio  
    femoropatellaris, 7  
    femorotibialis, 7  
    genus, 7  
Bündel  
    AM-, 15  
    antero-mediales, 15  
    PL-, 15  
    postero-laterales, 15  
Bifurkationsleiste  
    laterale, 17, 43  
Blumensaat-Linie, 12, 26  
bony landmarks, 43  
Breite, 36  
Clancy  
    William, Jr., 17  
DB-Plastik, 20  
    deep, 12  
    double bundle reconstruction, 20  
Drehscharniergelenk, 8  
Durchmesser, 36  
Ein-Bündel-Plastik, 19  
Ellipsensegment, 27  
Elliptisch, 27  
Ethikkommission, 24, 53  
Extensoren, 11  
Facies superiores, 8  
Flexoren, 11  
Form, 26  
    Beispiele, 41  
    Resultate, 40  
Fossa  
    intercondylaris, 20  
Fossa intercondylaris, 12  
Frakturneigung, 20  
Hüllkurve, 10  
high, 12  
HKB, 13  
Hypothesen, 22  
ImageJ, 4, 26  
Impingement, 20  
joint position sense, 14  
Karner, 35  
Knorpel-Knochengrenze, 45  
Kongruenz, 9  
    überschlagene Viergelenkskette, 10  
Koordinatentransformation, 31  
kreisförmig, 27  
Kreissegment, 27  
Kreuzband  
    hinteres, 13  
    vorderes, 13  
Länge, 36, 36  
lateral bifurcate ridge, 17, 43  
lateral intercondylar ridge, 17

## F Index

- LBR, *siehe* Leiste, Bifurkations-  
LBR, 17, 43  
LBR  $\angle$  FLA, 37  
LBR  $\angle$  LIR, 37  
LBR<sub>A</sub>  $\angle$  LBR<sub>E</sub>, 37  
Leiste  
    laterale Bifurkations-, 17, 43  
    laterale interkondyläre, 17  
Lig., *siehe* Ligamentum  
Ligamenta  
    cruciata genus, 13  
Ligamentum  
    collaterale mediale, 8  
    cruciaticum anterius, 13  
    cruciaticum posterius, 13  
Linea intercondylaris, 45  
LIR, *siehe* Leiste, laterale interkondyläre  
LIR, 17  
LIR  $\angle$  FLA, 37  
low, 12  
Maßstab, 31  
Meniscus, 8, 9  
    lateralis, 8  
    medialis, 8  
Messraster, 26  
Musculus  
    biceps femoris, 11  
    gastrocnemius, 11  
    gracilis, 11  
    popliteus, 11  
    quadriceps, 11  
    rectus femoris, 11  
    semimembranosus, 11  
    semitendinosus, 11  
    vastus intermedius, 11  
    vastus lateralis, 11  
    vastus medialis, 11  
N., *siehe* Neoplasma, *siehe* Nervus  
Nebenzielgrößen, 22  
Nierenförmig, 27  
Notch, 20  
Nullhypothese, 22  
Nullpunkt, 26  
Orientierung  
    arthroskopisch, 11  
    Uhrenmodell, 12  
Partialruptur, 20  
Patella, 7  
PCL, 13  
Pes anserinus profundus, 11  
Pes anserinus superficialis, 11  
Plastik, 19  
    Ein-Bündel-, 19  
    Zwei-Bündel-, 20  
posterior cruciate ligament, 13  
R, 27  
reconstruction  
    double bundle, 20  
    single bundle, 19  
Rekonstruktion des ACL, 19  
    anatomische, 19  
    Doppelbündeltechnik, 20  
    Einzelbündelplastik, 19  
resident's ridge, 17  
Roll-Gleitbewegung, 10  
SB-Plastik, 19  
Schlussrotation, 8  
Schublade  
    hintere, 13  
    vordere, 13  
shallow, 12  
Shapiro-Wilk-Test, 28  
single bundle reconstruction, 19  
sonstiges, 27  
Stabilisatoren  
    aktive  
        im Kniegelenk, 9, 11  
    passive  
        im Kniegelenk, 9  
t-Test, 28, 36  
trapezförmig, 27  
Trochoginglymus, 8  
Uhrenmodell, 12  
Umrechnungsmaßstab, 31  
Ursprungsfläche, 16  
Viergelenkskette, überschlagene, 10  
VKB, 13  
Winkel, 37  
Wolff-Gesetz, 45  
x-Achse, 26  
y-Achse, 26  
Zwei-Bündel-Plastik, 20

*F Index*