Technische Universität München

Abteilung für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar

Funktionelle Ergebnisse nach transphysealer Rekonstruktion des Vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen

Christian Philipp Georg Holwein

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin (Dr. med.)

eingereichten Dissertation.

Vorsitzender:	Univ. - Prof. Dr. E. J. Rummeny
Prüfer der Dissertation:	1. apl. Prof. Dr. St. Hinterwimmer
	2. Univ. - Prof. Dr. A. Imhoff

Die Dissertation wurde am 26.01.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.10.2015 angenommen.

Funktionelle Ergebnisse nach transphysealer Rekonstruktion des Vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen

Christian Philipp Georg Holwein

München 2015

Erstgutachter: apl. Prof. Dr. St. Hinterwimmer
Zweitgutachter: Univ. - Prof. Dr. A. Imhoff
Tag der mündlichen Prüfung: 21.01.2016

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **xv**

1 Grundlagen **1**
1.1 Anatomie des heranwachsenden Kniegelenks 1
1.1.1 Anatomie des vorderen Kreuzbandes 1
1.1.2 Entwicklung Kindesalter bis ausgewachsenes Knochenalter 1
1.1.3 Größenverhältnisse im kindlichen Knie 2
1.1.4 Besonderheiten beim kindlichen Kniegelenks-Bandapparat 3
1.1.5 Beteiligte Wachstumsfugen 4
1.1.6 Lagebeziehungen zum Kniegelenk 4
1.1.7 Stadieneinteilung der Wachstumsfugen 4
1.1.8 Wachstumsfugenbiologie 6
1.2 VKB-Rupturen bei Kindern 10
1.2.1 Epidemiologie 10
1.2.2 Einteilung 11
1.2.3 Komplikationen 11
1.3 Therapiemöglichkeiten 13
1.3.1 konservativ 13
1.3.2 operative VKB-Rekonstruktion 13
1.4 Fragestellung, Hypothesen und Ziel der Studie 15

2 Material **17**
2.1 Patientendaten 17
2.2 Ein- und Ausschlusskriterien 17
2.3 Begleitpathologien und besondere Patienten 18
2.4 Follow-Up 18
2.5 Indikation zur VKB-EBPL 18
2.6 Operations-Techniken und Durchführung 18
2.6.1 Single-Bundle und Transplantat 19
2.6.2 Bohrkanäle und Fugen 20
2.6.3 Fixationsmethoden 20

3 Methoden **23**
3.1 Scores . . . 23
3.1.1 Allgemeine Fragen . . . 23
3.1.2 Visuelle Analog Skala . . . 24
3.1.3 Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Kniegelenks International Knee Documentation Committee - subjektiver IKDC-Score . . . 24
3.1.4 Lysholm-Score . . . 24
3.1.5 Tegner-Aktivitätsindex . . . 24
3.1.6 Activity-Rating-Scale . . . 25
3.1.7 Sportaktivitätsfragebogen . . . 25
3.2 Klinische Untersuchung . . . 25
3.2.1 Formblatt zur objektiven Beurteilung des Kniegelenks International Knee Documentation Committee . . . 25
3.2.2 KT 1000 - Laxitestermessung . . . 26
3.2.3 Klinische Körpergrößenmessung . . . 26
3.2.4 Klinische Beinlängenmessung . . . 27
3.2.5 Fotografische Beinachsenbestimmung . . . 27
3.2.6 Einbein-Sprung-Test . . . 27
3.3 Bildgebung . . . 29
3.4 Statistische Auswertung . . . 29

4 Ergebnisse **31**
4.1 Patientendaten . . . 31
4.2 Ergebnisse der Operationstechnik . . . 31
4.3 Ergebnisse der Scores . . . 33
4.3.1 Ergebnisse Allgemeine Fragen . . . 33
4.3.2 Ergebnisse Visuelle Analog Skala . . . 33
4.3.3 Ergebnisse subjektiver IKDC-Score . . . 33
4.3.4 Ergebnisse Lysholm Score . . . 33
4.3.5 Ergebnisse Tegner-Aktivitätsindex . . . 34
4.3.6 Ergebnisse Activity-Rating-Scale . . . 34
4.3.7 Sportaktivitätsfragebogen . . . 34
4.4 Ergebnisse Klinische Untersuchung . . . 34
4.4.1 Ergebnisse objektiver IKDC-Score . . . 34
4.4.2 Ergebnisse KT 1000 - Laxitester Messung . . . 35
4.4.3 Ergebnisse Körpergrößenmessung . . . 39
4.4.4 Ergebnisse Klinische Beinlängenmessung . . . 40
4.4.5 Ergebnisse Fotografische Beinachsenbestimmung . . . 40
4.4.6 Ergebnisse Einbein-Sprung-Test . . . 41

5 Diskussion **43**
5.1 Diskussion der eigenen Ergebnisse im Überblick 43
5.2 Diskussion der Gründe für eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion 43
5.3 Diskussion der Gründe gegen eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion 44
5.4 Diskussion von Material und Methoden 44
5.5 Diskussion der Ergebnisse 45
5.5.1 Diskussion der Ergebnisse der allgemeinen Scores 45
5.5.2 Diskussion der Ergebnisse der Sportfähigkeit Scores 45
5.5.3 Diskussion der Ergebnisse der objektiven Kniegelenksfunktion und Laxitätsmessung 46
5.5.4 Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich möglicher Wachstumsdeformitäten 48

6 Schlussfolgerungen **51**

A Fragebogen Mappe **53**

Literatur **69**

Danksagung **77**

Abkürzungsverzeichnis

ACL Anterior Cruciate Ligament

AM Außenmeniskus

AM-Bündel Anteromediales Bündel

ASK Arthroskopie

ATT Anteriore Tibiale Translation

dFEPF distale Femurepiphysenfuge

dz Effektstärke

HKB Hinteres Kreuzband

ICD International Classification of Disease

IKDC International Knee Documentation Committee

IM Innenmeniskus

lb Pound-force

M. Musculus

MACT Matrixassoziierte Autologe Chondrozyten Transplantation

MCL Mediales Kollateralband

MFx Mikrofrakturierung

MR Magnetresonanz

MRI Magnet Resonance Imaging

MRT Magnetresonanztomografie

OATS Osteoarticular Transfer System

OCM Orthopädische Chirurgie München

OP Operation

PL-Bündel Posterolaterales Bündel

pTEPF proximale Tibiaepiphysenfuge

VAS Visuelle Analog Skala

VKB Vorderes Kreuzband

VKB-EBPL VKB-Ersatzbandplastik

Abbildungsverzeichnis

1.1 Die Entwicklung des tibiofemoralen Winkels bei Kindern 2
1.2 Lagebeziehung der femoralen Wachstumsfuge zum VKB-Ursprung 5
1.3 Lagebeziehung der tibialen Apophysenfuge zum VKB-Ursprung und einem potenziellen Bohrkanal 5
1.4 Wachstumsfugenperipherie mit Ausbildung einer Knochenbrücke 8
1.5 Distraktionskräfte der Wachstumsfuge bei zentraler Lage (Tibia) und peripherer Lage (Femur) des Bohrkanals 9
1.6 Altersverteilung der kniegelenksbezogenen Versicherungsansprüche 10
1.7 Notch-Weiten-Index 12

3.1 Bestimmung des Kniegelenksmittelpunkt bei der Fotografischen Beinachsenmessung 28

4.1 Top Ten Sportarten 35
4.2 Anteriore Tibia Translation in [mm] in Neutralstellung mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich 36
4.3 Anteriore Tibia Translation in [mm] in Innenrotaion mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich 37
4.4 Anteriore Tibia Translation in [mm] in Außenrotaion mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich 38
4.5 Beinlängenmessung im Seitenvergleich 40
4.6 Beinachsenmessung im Seitenvergleich 41

Tabellenverzeichnis

1.1 Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries Detected on MRI 11

4.1 Ergebnis Übersicht 32
4.2 KT 1000 Laxitester Messung mit maximaler Zugkraft 39
4.3 Ergebnisse Rotations Messung mit 2 Nm Drehmoment 39

Zusammenfassung

Vordere Kreuzbandrupturen bei Kindern sind ein Dilemma für alle Beteiligten. Zunächst für die Kinder selbst, da sie schon in frühen Jahren einer Verletzung ausgesetzt sind, die sie in ihrem sportlichen Anspruch stark einschränkt und ihnen eventuell auch in Zukunft Beschwerden oder Folgeschäden bereiten kann. Die Eltern der Kinder sind ebenfalls betroffen, da sie im Zweifelsfall lange Wege gehen müssen, um eine endgültige Diagnose zu erfahren und sich dann verschiedensten Meinungen ausgesetzt sehen, die letztlich auch das Dilemma der behandelnden Ärzte widerspiegeln.

Soll man operieren oder nicht? Das ist die große Frage, mit der sich in der letzten Zeit sehr viele, auch renommierte Knieoperateure beschäftigt haben. Was für ein Risiko birgt ein konservatives Vorgehen, welches ein abwartendes Verhalten mit VKB-Rekonstruktion zum Wachstumsabschluss? Welche Gefahren birgt eine zeitnahe Rekonstruktion? Kann es vielleicht zu Wachstumsveränderungen kommen?

Diese Arbeit zeigt die verschiedenen Therapie-Möglichkeiten auf und diskutiert sie mit den untersuchten Ergebnissen nach einer zeitnahen vorderen Kreuzband-Rekonstruktion bei Kindern mit offenen Wachstumsfugen. Sie liefert Hinweise über die objektiven Stabilitätsverhältnisse im Kniegelenk nach einem solchen Eingriff und deren Relevanz bei einer möglichen Rückkehr zur sportlichen Vollbelastung der jungen Patienten. Ebenso werden die Risiken für Wachstumsschäden eruiert und diskutiert.

Letztlich soll diese Arbeit darauf abzielen, Auswege aus dem Dilemma für alle Beteiligten aufzuzeigen, beginnend mit einer zeitnahen Diagnosefindung und einer anschließend fundierten Möglichkeit zur individuellen Beratung durch den behandelnden Arzt.

Kapitel 1

Grundlagen

Die einleitenden Grundlagen zielen v.a. darauf ab, die Physiologie des heranwachsenden Kniegelenks aufzuzeigen. Diese ist wichtig um einerseits zu verstehen, warum es zu intraligamentären VKB-Rupturen bei Kindern kommen kann und andererseits um mögliche Risiken, die mit einer VKB-Rekonstruktion bei Kindern einhergehen könnten, einzuräumen.

1.1 Anatomie des heranwachsenden Kniegelenks

1.1.1 Anatomie des vorderen Kreuzbandes

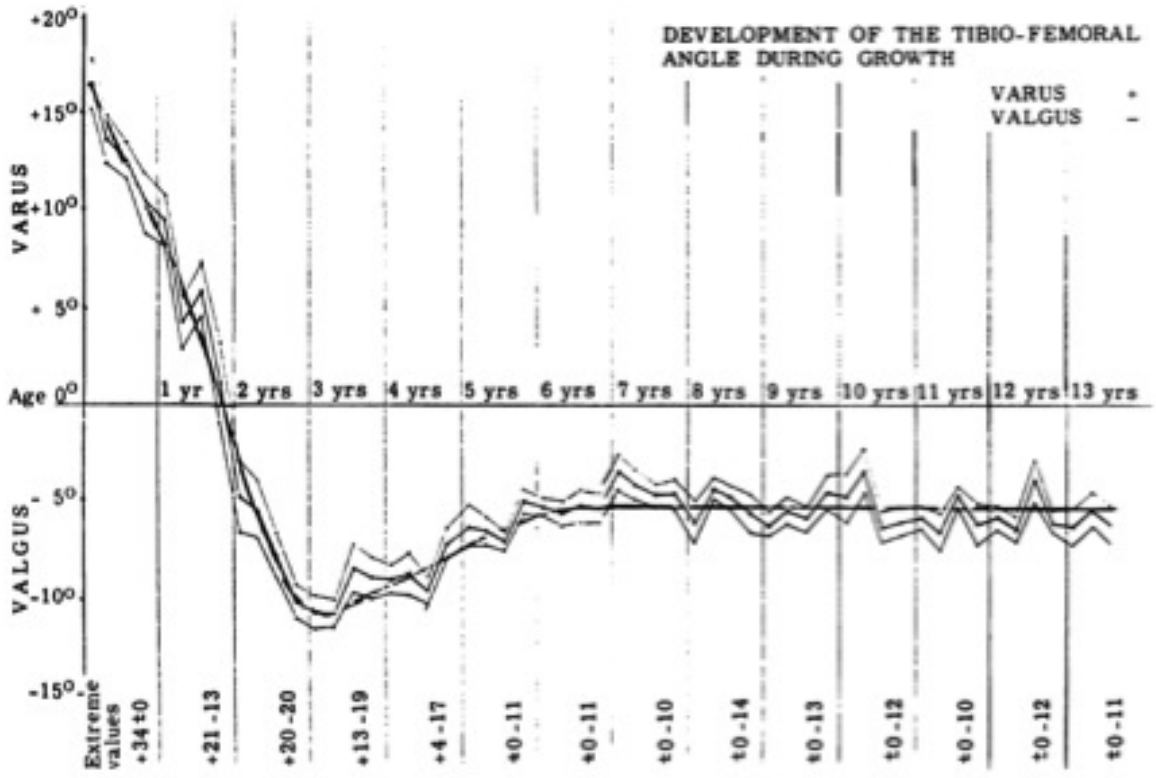
Zu den passiven Stabilisatoren des Kniegelenks gehören neben den kapsulären Strukturen auch die Kollateral- und Kreuzbänder. Durch seinen Verlauf vom hinteren Anteil der medialen Begrenzung des lateralen Femurcondylus hinzu dem vorderen Anteil der tibialen Intercondylregion zwischen den Wurzel der Meniskusvorderhörner verhindert das vordere Kreuzband v.a. eine tibiale Translation nach ventral. Es ist unterteilt in drei Bündel, einem anteromedialen Bündel, einem intermediären und einem posterolateralen Bündel. Das anteromediale Bündel ist länger und entspringt femoral dorsaler und inseriert tibial medial ventraler. Es ist v.a. bei Flexion angespannt und verhindert neben der Translation auch eine anterolaterale Rotation. Das posterolaterale Bündel entspringt femoral weiter ventral und inseriert tibial etwas weiter dorsal und lateraler als das anteromediale Bündel. Es ist v.a. in Streckung gespannt und verhindert eine posterolaterale Rotation, letztlich eine vermehrte tibiale Außenrotation. Das intermediäre Bündel liegt zwischen den anderen Bündeln und wirkt einer anteromedialen Rotation entgegen [Norwood und Cross (1979)].

1.1.2 Entwicklung Kindesalter bis ausgewachsenes Knochenalter

Einer von vielen Risikofaktoren für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) ist eine Valgusstellung des Kniegelenks [Pappas u. a. (2013)]. Das kindliche Kniegelenk steht in einer solchen physiologischen Valgusstellung. In der Arbeit von *Salenius et al.* wird die Veränderung des tibiofemoralen Winkels während des Wachstums aufgezeigt [Salenius und

Vankka (1975)]. Bei radiologischer Messung der Angulation der Schaftachsen von Femur und Tibia wurde im Alter von 13 Jahren ein Winkel von 6° Valgus ± 8° festgestellt:

Abbildung 1.1: Die Entwicklung des tibiofemoralen Winkels bei Kindern



aus [Salenius und Vankka (1975)]

Ähnliche Werte erhielten *Cahuzac et al.*, die eine klinische Messung vollzogen haben [Cahuzac, Vardon und Sales de Gauzy (1995)]. Als proximaler Schenkel wurde die Verbindungslinie von Spina ilica anterior superior und Kniescheibenzentrum, als distaler die von Kniescheibenzentrum zur Mitte der Malleolengabel genommen. Für 13-jährige wurde ein Durchschnittswinkel von 5,5° valgus gemessen. Zusätzlich wurde eine deutliche Verminderung der Valgustellung bei Jungen im Vergleich zu Mädchen ab einem Alter von 14 Jahren beobachtet. In gleicher Weise verfuhren *Arazi et al.* und maßen 13-jährige Jungen im Durchschnitt mit 8° valgus und Mädchen mit 9°. Insgesamt wurde eine Abnahme der Valgusstellung im Verlauf des Wachstums festgestellt [Arazi, Ögün und Memik (2001)].

1.1.3 Größenverhältnisse im kindlichen Knie

Während des Wachstums unterliegt die distale Femurepiphyse einer morphologischen Veränderung. Bis zu einem Alter von 11-12 Jahren ist die Epiphyse in ihrer knöchernen Form voll ausgebildet. Zu diesem Zeitpunkt ist die laterale Femurcondyle noch rundlich geformt.

Im weiteren Verlauf wachsen die Femurcondylen v.a. in anteroposteriorer Richtung. Dabei wächst die laterale Femurcondyle meist stärker als die mediale wodurch sich auch die Trochlea asymmetrisch ausbildet. Die Epiphyse mit ihren Condylen entwickelt sich demnach von einer in axialer Aufsicht eher rechteckigen Form in früher Kindheit hin zu einer in der Pubertät eher quadratischen Form. Im Hinblick auf den zunehmend aufrechten Gang mit Anpassung des Knochens an die Druckbelastungen ist dies durchaus nachvollziehbar [Tardieu u. a. (1998)]. Ebenfalls ist damit auch die bereits beschriebene Abnahme der Valgusstellung im Verlauf erklärbar.

Als weiterer Risikofaktor für eine VKB-Ruptur gilt neben einer Valgusstellung auch eine schmaler Raum zwischen beiden Femurcondylen, der als Notch bezeichnet wird [Domzalski, Grzelak und Gabos (2010)]. Ebenso fanden *Swami et al.* eine signifikant kleineres Notch-Volumen bei Heranwachsenden mit rupturiertem VKB, verglichen mit einer gesunden Kontrollgruppen gleichen Alters und Geschlecht [Swami u. a. (2013b)]. Die Weite der Notch zwischen den Femurcondylen unterliegt einer Veränderung während des Wachstums. So konnten *Kepler et al.* aufzeigen, dass bis zu einem Alter von ca. 8 Jahren die Weite signifikant pro Jahr zunimmt. Anteriore Notchweite und Notch-Weiten-Index unterschieden sich signifikant zwischen 7 Jahren und 11 Jahren. Ab einem Alter von 11 Jahren konnten keine signifikanten Veränderungen der Notchdimensionen gefunden werden. Allerdings zeigte sich eine signifikante Differenz der Notchausmaße zwischen Jungen und Mädchen ab einem Alter von 10 Jahren. Mädchen wiesen hier deutlich kleinere Werte auf als Jungen [Kepler u. a. (2011 Feb 16-19; San Diego, CA)].

1.1.4 Besonderheiten beim kindlichen Kniegelenks-Bandapparat

Für die Beurteilung einer pathologischen Laxität der Kniebänder beim Kind ist es wichtig eine physiologische Referenz zu haben. In der von *Baxter et al.* veröffentlichten Studie wurden 464 normale kindliche Kniegelenke mit einem Knielaxitester dem Genucom [Anderson und Lipscomb (1989)] getestet. Es zeigte sich, dass eine physiologische Laxität mit zunehmendem Alter abnimmt. Außerdem spielte die jeweilige Größen- und Gewichtsperzentile eine Rolle. Es fiel auf, dass Kinder, die im Vergleich zu ihrem Altersdurchschnitt, weniger groß waren oder weniger wogen, auch jeweils eine höhere Knielaxität hatten. Solche, die ihrem Altersdurchschnitt voraus waren, hatten eine entsprechend geringere Laxität. Seiten- und Geschlechtsunterschiede konnten nicht festgestellt werden. Es zeigte sich eine erhöhte Laxität nicht nur der tibialen Translation, sondern auch der anteorlateralen und posterolateralen Rotation, sowie der Außen- und Innenrotation selbst [Baxter (1988)].

Die durchschnittliche Größe einer Insertionsfläche des VKB eines Erwachsenen liegt femoral bei 84 ± 25.3 mm^2 und tibial bei 144.7 ± 35.9mm^2. Dabei scheint die Größe des Footprints mit der Notchhöhe und der Fläche der lateralen Femurcondyle zu korrelieren [Swami u. a. (2013a)]. Allerdings scheint die Insertionsgröße nicht durch die Größe des Patienten selbst oder durch sein Geschlecht vorhersagbar zu sein [Wu u. a. (2011)]. Ähnliches fanden *Iriuchishima et al.*. Sie fanden eine mittlere VKB-Insertionsfläche femoral von 72.3 $\pm$ 24.4 mm^2 und tibial von 134.1 ± 32.4 mm^2. Die Insertionsflächen korrelierten ebenfalls signifikant mit Notchhöhe und der Fläche des lateralen Femurcondylus [Iriuchishima u. a.

(2013)]. Hieraus lässt sich schließen, auch wenn genau Daten in der Literatur fehlen, dass bei Kindern auch eine kleinere VKB-Insertionsfläche zu finden sein muss, wenn wie oben beschrieben die laterale Femurcondyle v.a. in anteroposteriorer Richtung wächst [Tardieu u. a. (1998)].

Aus oben genannten Daten lässt sich vermuten, dass eine mögliche VKB-Rekonstruktion bei Kindern zum Einen auf ein ohnehin etwas laxeres Gelenk stößt, was auch die Gefahr birgt, das Gelenk durch die Rekonstruktion unphysiologisch straffer zu machen, als es altersgemäß wäre. Zum Anderen ist die Größe des rekonstruierten VKBs möglicherweise nicht so groß, wie es zu einem späteren Zeitpunkt beim Erwachsenen sein sollte. Es stellt sich hier auch die Frage, ob das rekonstruierte VKB mitwachsen kann, ohne an Stabilität zu verlieren. Beide Aspekte sollen in der Diskussion noch genauer beleuchtet werden.

1.1.5 Beteiligte Wachstumsfugen

Die bei der operativen Versorgung potenziell gefährdeten Wachstumsfugen im Kniegelenk sind die distale Epiphysenfuge am Femur und die proximale an der Tibia. Erstere trägt prozentual mehr zum Wachstum der unteren Extremität bei. Dies lässt vermuten, dass eine Beschädigung der distalen Femurepiphysenfuge (dFEPF) größere Ausmaße an Wachstumsveränderungen mit sich bringen kann, als solche der proximalen Tibiaepiphysenfuge (pTEPF).

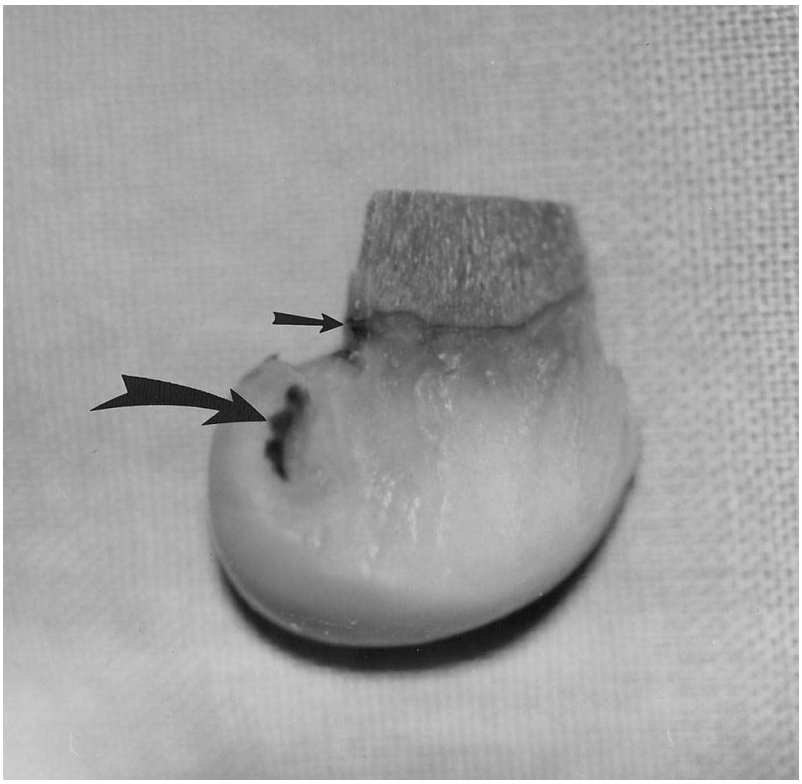
1.1.6 Lagebeziehungen zum Kniegelenk

Die dFEPF liegt im Schnitt ca. 2,92mm entfernt vom Ursprungsbereich des VKB. Im Vergleich zu den Verhältnissen in einem fetalen Kniegelenk vollzieht sich im weiteren Wachstum keine wesentliche Distanzänderung bis zum Wachstumsabschluss [Behr, Potter und Paletta (2001)]. Nicht nur die femorale Epiphyse liegt in der Nähe des VKB bzw. eines potenziellen Bohrkanals sondern auch die Fuge im Bereich der tibialen Apophyse. Gemessen in sagittaler Schnittebene ist die tibiale Wachstumsfuge ca. 19.6, 20.7, und 21.5 mm vom proximalsten Punkt der Tibia entfernt. Die Werte beziehen sich jeweils auf Schnittebenen im Bereich der am weitesten lateral gelegenen Patellarsehneninsertion, der lateralen VKB-Insertion und der medialsten VKB-Insertion [Shea u. a. (2007)].

1.1.7 Stadieneinteilung der Wachstumsfugen

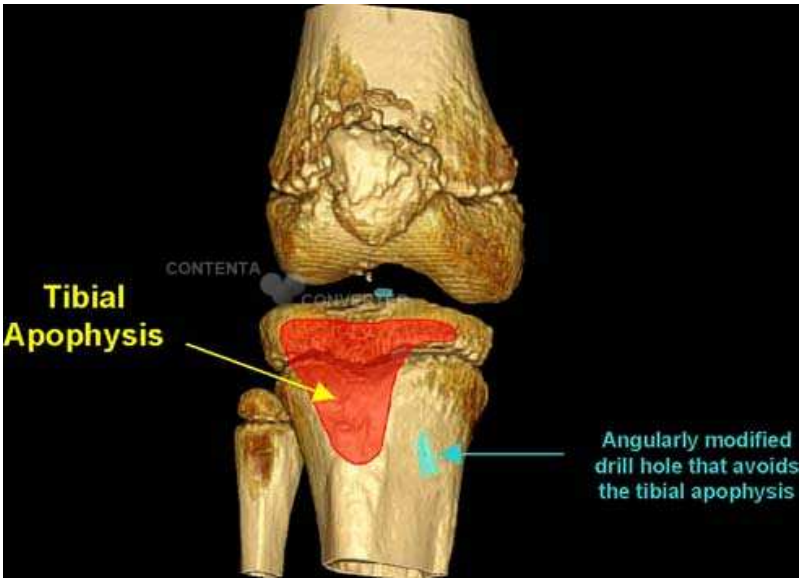
O'Connor et al. haben eine röntgenologische Stadieneinteilung der Wachstumsfugen des Kniegelenks vorgenommen. Hierbei werden prinzipiell 5 Stadien unterschieden. Im Stadium 0 sind durchgängige Fugen sowohl in der frontal, als auch in der sagittalen Aufnahme erkennbar. Das Stadium 1 beschreibt einen Zustand, bei dem im Vergleich zu Stadium 0 eine Annäherung erkennbar ist, aber noch keine Verbindung stattfindet. Eine erste Verbindung, v.a. zentral median ist im Stadium 2 vorhanden. Das Stadium 3 beschreibt eine kürzlich beendete Verbindung von Epi- und Metaphase, weil noch ein radiologischer Schatten der

Abbildung 1.2: Lagebeziehung der femoralen Wachstumsfuge zum VKB-Ursprung



aus [Behr, Potter und Paletta (2001)]

Abbildung 1.3: Lagebeziehung der tibialen Apophysenfuge zum VKB-Ursprung und einem potenziellen Bohrkanal



aus [Shea u. a. (2007)]

Fuge sichtbar ist. Dieser ist im Stadium 4, dem Stadium der vollständigen Verknöcherung nicht mehr ersichtlich [O'Connor u. a. (2008)].

Für ein potenzielles Restwachstum, im Hinblick auf eventuelle spätere Wachstumsveränderungen, scheint allerdings eine MRT-Einteilung der Fugen sinnvoller. Nach *Prince et al.* gilt es drei verschiedene MR-tomografische Stadien der kniegelenksnahen Fugen des Heranwachsenden zu unterscheiden. Hierbei wird das Knorpelsignal in der Fuge beurteilt. Ist dieses durchgängig in allen Sequenzen vorhanden so liegt Stadium I vor, was als „immature" bezeichnet wird. Ist das Signal nicht mehr ganz durchgängig vorhanden, jedoch die Wachstumsfuge noch in allen Sequenzen ersichtlich, so wird dies als Stadium II „partially mature" bezeichnet. Im Stadium III, „mature", sind keine Signale einer Wachstumsfuge mehr zu sehen [Prince, Laor und Bean (2005)].

Eine Übersicht über den Wachstumsfugenschluss in Abhängigkeit von Alter und der Knorpelsignalintensität liefert die Arbeit von *Sasaki et al.*. Es wird beschrieben, dass der Wachstumsfugenschluss in der MRT-Bildgebung besser zu beurteilen sei, als in der konventionellen Röntgenuntersuchung. Die Abschwächung des Knorpelsignals in der Wachstumsfuge beginne zentral tibialseits und sei bei Mädchen im Schnitt früher vorzufinden als bei Jungen. Das sog. „drop-out-sign" gehe einher mit einem Sistieren des Wachstums ausgehend von den davon betroffenen Wachstumsfugen. In der beschriebenen Studie fanden die Autoren ein solches drop-out-sign bei 60% der Patienten mit 12 Jahren, bei 80% der 13-jährigen und bei 97% der 14-jährigen [Sasaki u. a. (2002)].

1.1.8 Wachstumsfugenbiologie

Wachstumsfugen an Röhrenknochen dienen v.a. dem Längenwachstum. Die Regulation des Wachstums wird dabei hormonell systemisch und lokal durch Wachstumshormone bewerkstelligt. Diese bewirken eine Proliferation von Knorpelzellen in der Wachstumsfuge. Die Proliferationsprozesse münden über eine Kalzifizierung der Matrix letztlich in eine Ossifikation. Die Versorgung der Epiphysenfugen ist v.a. durch Diffusion von und zu Gefäßen, die v.a. von metaphysär angrenzen gesichert, da die Fuge selbst avaskulär ist. Die Peripherie der Wachstumsfuge beinhaltet zwei maßgebliche Strukturen, die Ranvier-Furche 1.1.8 und den perichondralen Ring von LaCroix 1.1.8[Ballock und O'Keefe (2003)]. Beide Strukturen sind bei einer Bohrkanalplatzierung v.a. femoral gefährdet direkten Schaden zu nehmen, weshalb die Überlegungen unserer Operateure dahingingen, den femoralen Bohrkanal etwas weiter ventral in Richtung des PL-Bündel Ursprungs zu positionieren.

Das Schließen der Wachstumsfugen ist molekularbiologisch noch nicht hinreichend geklärt. Allerdings spielen Östrogen und eine Invasion der Fuge mit Blutgefäßen eine entscheidende Rolle. *Emons et al.* untersuchten die Stimulationsfähigkeit von Knorpelzellen auf Estradiol (E_2). Sie fanden einen Zusammenhang mit dem Expressionsmuster von vascular epithelial growth factor (VEGF), den die Knorpelzellen offensichtlich sezernieren und der Estradiolexposition [Emons u. a. (2010)]. Daher ist anzunehmen, dass eine direkte Verletzung der Fuge mit anschließender Invasion von Blutgefäßen zu einer Ossifikation der Wachstumsfuge führen kann. Die Ausbildung einer Knochenbrücke über die Fuge nach offen lassen eines Bohrkanals im Hundemodell wurde von *Stadelmaier et al.* beobachtet.

Diese Ossifkation konnte durch ein Fasia lata Transplantat im Bohrkanal verhindert werden [Stadelmaier u. a. (1995)].

Eine solchen Knochenbrücke über die Epiphysenfuge kann Wachstumsschäden, im Sinne einer Längen- oder Achsabweichung verursachen [Seil, Pape und Kohn (2008)]. Allerdings sind hierbei Kräfteverhältnisse die vom Wachstum der Epiphysenfuge ausgehen zu beachten. Eine eher zentral gelegene Knochenbrücke über die Wachstumsfuge, wie z.B. bei einem tibialen Bohrkanal, führt eher zu einer symmetrischen Kraftumverteilung als eine periphere Knochenbrücke, wie z.B. bei einem femoralen Bohrkanal zur VKB-Rekonstruktion [Seil und Robert (2005)].

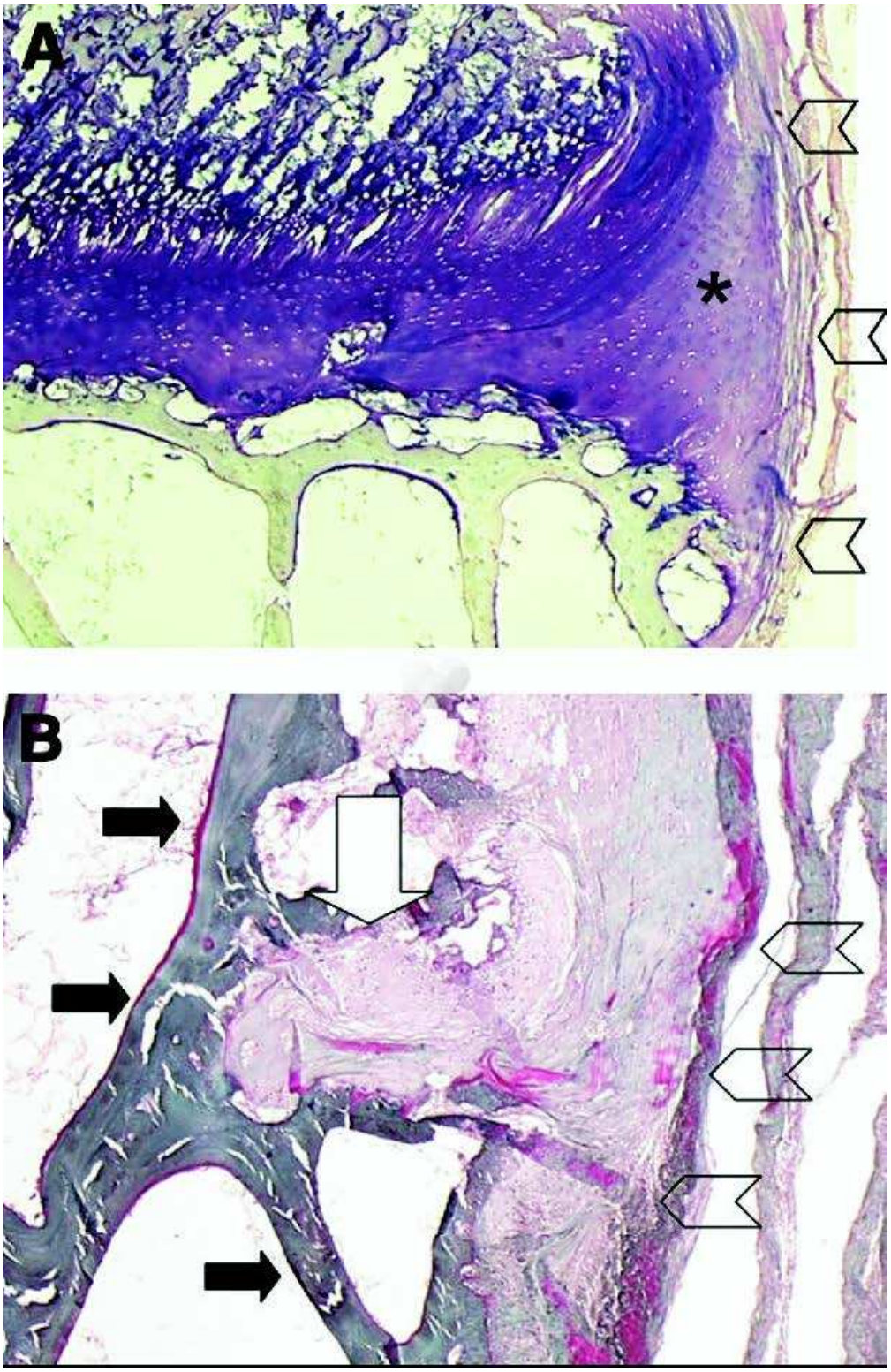
Ranvier-Furche

Die Ranvier-Furche ist eine keilförmige Zone von Knorpel-Progenitorzellen, die als Reservezellen für das Breitenwachstum der Fuge bei zunehmendem Längenwachstum dient.

Perichondrale Ring von LaCroix

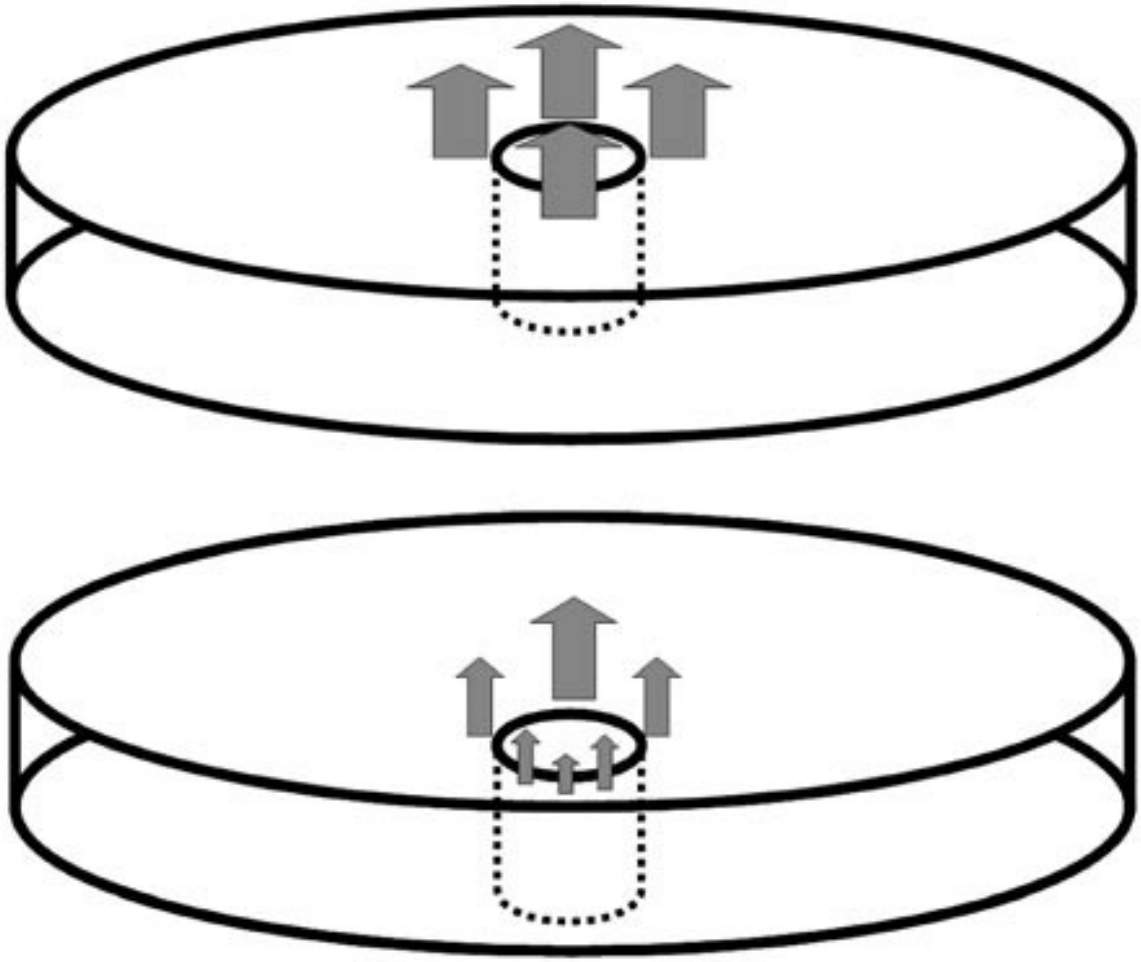
Der Perichondrale Ring von LaCroix ist ein Bindegewebe, das die Grenze hin zum Periost bildet. Es dient für die Wachstumsfuge als formgebende und mechanische Stütze gegen Druck, Zug und Scherkräfte [Ballock und O'Keefe (2003)].

Abbildung 1.4: Wachstumsfugenperipherie mit Ausbildung einer Knochenbrücke



aus [Seil, Pape und Kohn (2008)]

Abbildung 1.5: Distraktionskräfte der Wachstumsfuge bei zentraler Lage (Tibia) und peripherer Lage (Femur) des Bohrkanals



aus [Seil und Robert (2005)]

1.2 VKB-Rupturen bei Kindern

1.2.1 Epidemiologie

Läsionen des VKB bei Kindern und Heranwachsenden wurden in ihrer Häufigkeit in früherer Zeit unterschätzt. Einige neuere Studien belegen allerdings die Bedeutsamkeit dieser Verletzung bei Kindern.

So fanden beispielsweise *Stanitski et al.* in einer arthroskopischen Evaluation von 70 akuten Kniegelenksergüssen bei 47% der 7-12 jährigen eine VKB-Läsion und bei 55% der 13-18 jährigen. Bei diesen Läsionen handelte es sich in 42% und 39% der Fälle um vollständige Rupturen. Die Unterscheidung zwischen einem tibialen knöchernen Ausriss und einer intraligamentären Ruptur wurden nicht eindeutig erfasst. Die einzige Angabe in diese Richtung leisteten die Untersucher mit der Feststellung, dass jeweils ein Drittel der Rupturen in beiden Altersgruppen proximal, mittig und distal zu liegen kämen [Stanitski, Harvell und Fu (1993)].

Des Weiteren werteten *Shea et al.* insgesamt 8215 Versicherungsansprüche, die innerhalb von 5 Jahren an eine, auf die Versorgung von kindlichen und jugendlichen Fußballspielern spezialisierte, amerikanische Versicherungsgesellschaft gestellt wurden, aus. 1793 der 8125 Ansprüche wurden aufgrund von Knieverletzungen eingereicht. Bei 31% der Meldungen über Knieverletzungen (37% Mädchen, 24% Jungen) handelte es sich um Meldungen wegen VKB-Läsionen [Shea u. a. (2004)]. Eine Altersverteilung der kniegelenksbezogenen Versicherungsansprüche zeigt Abbildung 1.6:

Abbildung 1.6: Altersverteilung der kniegelenksbezogenen Versicherungsansprüche

TABLE 1. Injury Claims Distribution-Sexes Combined

Age	ACL Injuries	All Knee Injuries	All Injuries	Knee Injuries/All Injuries	ACL Injury/Knee Injury	ACL Injury/All Injuries
5	1	2	24	0.08	0.50	0.04
6	0	1	37	0.03	0.00	0.00
7	0	2	71	0.03	0.00	0.00
8	0	2	142	0.01	0.00	0.00
9	1	17	251	0.07	0.06	0.00
10	0	35	389	0.09	0.00	0.00
11	4	39	591	0.07	0.10	0.01
12	13	107	796	0.13	0.12	0.02
13	37	198	1076	0.18	0.19	0.03
14	60	258	1256	0.21	0.23	0.05
15	107	294	1224	0.24	0.36	0.09
16	141	372	1118	0.33	0.38	0.13
17	114	289	821	0.35	0.39	0.14
18	75	177	419	0.42	0.42	0.18
Total	553	1793	8215			
Average				0.22	0.31	0.07

aus [Shea u. a. (2004)]

Tabelle 1.1: Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries Detected on MRI

Patient Characteristics	Group 1	Group 2	Group 3	Total
No. of knees	31	27	24	82
Age (yr)				
Range	7-17	12-17	15-19	7-19
Mean	12.4	15.6	16.6	14.7
Sex				
Male	27	11		
Female	4	16	16	36
ACL injuries (% of cases)				
Complete tear	48	81	88	71
Partial tear	26	15	8	17
Tibial spine avulsion fracture	26	4	4	12

aus [Prince, Laor und Bean (2005)]

Prince et al. konnten belegen, dass bei Patienten mit noch offenen Wachstumsfugen nicht nur VKB-Läsionen in Form eines tibialen Ausrisses, sondern auch häufig als eine komplette Ruptur vorliegen können. In der Gruppe mit aktivem Knorpelsignal in den Epiphysenfugen handelte es sich in 48% der 31 beobachteten VKB-Läsionen um eine komplette Ruptur. Auf partielle Rupturen und tibiale Ausrisse entfielen jeweils 26%. Mit fortschreitendem Wachstum und undurchgängigem Knorpelsignal in den Wachstumsfugen steigt der prozentuale Anteil an kompletten bzw. intraligamentären VKB-Rupturen wie Tabelle 1.1 zusammenfassend zeigt [Prince, Laor und Bean (2005)].

1.2.2 Einteilung

VKB-Rupturen bei Kindern können sowohl intraligamentär als auch mit einer knöchernen Avulsion auftreten. *Kocher et al.* konnten zeigen, dass mit geringerem Notch-Weiten-Index, das Verhältnis der Notchbreite zur gesamten mediolateralen Femurbreite (siehe Abbildung 1.7), das Risiko für eine intraligamentäre Ruptur steigt [Kocher u. a. (2004)]. Im Vergleich zu Heranwachsenden ohne eine VKB-Läsionen konnten *Domzalski et al.* eine geringere Notchweite bei Kindern mit VKB-Rupturen feststellen [Domzalski, Grzelak und Gabos (2010)].

Im Folgenden soll es um rein intraligamentäre VKB-Rupturen gehen.

1.2.3 Komplikationen

Als Komplikationen bei kindlichen VKB-Rupturen gelten zusätzliche Verletzungen der Kollateralbänder bzw. der Menisken. Bei akuten Traumata sind Begleitverletzungen nicht sel-

Abbildung 1.7: Notch-Weiten-Index

aus [Kocher u. a. (2004)]

ten [Graf u. a. (1992); Millett, Willis und Warren (2002)]. *Millett et al.* beschrieben, dass der Innenmeniskus nachträglich häufigere und schwerere Läsionen bei chronischen Instabilitäten aufwies.

1.3 Therapiemöglichkeiten

Grundsätzlich sind drei Optionen an Therapiemöglichkeiten voneinander abgrenzbar:

1. konservatives Vorgehen
2. operative VKB-Rekonstruktion zeitnah
3. operative VKB-Rekonstruktion erst nach Wachstumsabschluss

1.3.1 konservativ

Ein rein konservatives Vorgehen ohne VKB-Rekonstruktion ist grundsätzlich denkbar, wird aber immer noch kontrovers diskutiert.

1.3.2 operative VKB-Rekonstruktion

Zeitnahe VKB-Rekonstruktion

Eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion kann in verschiedensten technischen Formen durchgeführt werden. Hier gilt es v.a. anatomische und nichtanatomische Rekonstruktionen voneinander zu unterscheiden. Die nichtanatomischen Rekonstruktionen wie z.B. eine over-the-top Positionierung des Transplantates femoral wurde aus Sorge vor Fugenverletzungen geboren. Als rein anatomische Variante ist eine transphyseale Rekonstruktion mit Platzierung der Bohrkanäle durch die Wachstumsfugen hindurch zu verstehen. Allerdings werden hier, anders als beim Erwachsenen die Bohrkanäle insgesamt steiler gebohrt, um den Volumen-Schaden der Fugen möglichst gering zu halten.

VKB-Rekonstruktion nach Wachstumsabschluss

Eine Verzögerung der VKB-Rekonstruktion bis zum Wachstumsabschluss ist aufgrund der potenziellen Gefährdung der Wachstumsfugen mit möglichen Wachstumsveränderungen eine Option. Von einigen Operateuren wird diese Methode favorisiert. Dieses Vorgehen sollte allerdings mit einer engen Patientenführung verbunden sein, da gezeigt werden konnte, dass eine Verzögerung einer VKB-Rekonstruktion potenziell zu irreversiblen Knorpel- und Meniskusschäden führen kann. Bei entsprechender Compliance der jungen Patienten und deren Eltern ist jedoch ein konservatives Regime mit Muskelkräftigung und Sportreduktion denkbar [Moksnes u. a. (2013)].

Transplantatwahl

Als Transplantat wurde in unserer Studie auf die Muskelsehnen von M. semitendinosus und teilweise zusätzlich auf die des M. gracilis zurückgegriffen. Ein Patellarsehnen- oder Quadrizepssehnentransplantat mit Knochenblock sollte vermieden werden, da der Knochenblock nach Transplantateinzug auf Höhe einer Wachstumsfuge zu liegen kommt und dort zu einem frühzeitigen Fugenschluss führen kann. Die verwendeten Hamstringsehnen unterliegen viskoplastischer Deformierung unter ständiger Last [Kopf u. a. (2009)]. Daher besteht die Annahme, dass sich die Länge des Transplantates im Wachstum verändern kann. *Bollen et al.* entdeckten eine durchschnittliche Längenänderung von 8-25% [Bollen u. a. (2008)] bei im Schnitt 17cm gewachsenen Patienten. Zusätzlich zu einer viskoplastischen Deformierung kann bei Hamstringsehnen eine Stressrelaxation bei erhöhter Vorspannung auftreten [CicconeII u. a. (2006)]. Insgesamt ist aber anzunehmen, dass sich die Hamstringsehnen nach dem Ligamentisierungsprozess an die anatomischen Gegebenheiten im Kniegelenk anpassen [Kopf u. a. (2009)].

Platzierung der Bohrkanäle

Die Platzierung der Bohrkanäle ist bei Kindern noch mehr als bei Erwachsenen ein Diskussionspunkt. Mit dem Wissen der Lagebeziehungen zu den formgebenden Strukturen an der Wachstumsfugenperipherie gilt es nicht nur eine anatomische Rekonstruktion am VKB-Ursprung bzw. Insertion zu wahren, sondern auch potenzielle Schäden an der Fugenperipherie zu verhindern. Nach Bestimmung des Bohrkanaleintritts kann die Angulation variiert werden. Ziel bei der kindlichen VKB-Rekonstruktion sollte eine möglichst steile Überquerung der Fugen sein um so wenig wie nötig Fugenvolumen zu zerstören. Zahlreiche Studien simulierten den Volumenschaden je nach Angulation und Bohrkanaldurchmesser. Bei einem Durchmesser von 7mm ist bei einer konventionellen anatomischen Rekonstruktion ein Fugenschaden, der eine Wachstumsänderung nach sich zieht, unwahrscheinlich. Eine steilere Platzierung der Bohrkanäle bedeutet auch eine etwas vertikalere Zugrichtung der Transplantatfasern in der Verankerungssituation. Unter Berücksichtigung der engen Lagebeziehung des femoralen VKB-Ursprungs mit der femoralen Wachstumsfuge und ihren formgebenden und regenerativen Strukturen bietet es sich an, den Eintrittspunkt des femoralen Bohrkanals eher in Richtung des Ursprungs des PL-Bündels zu wählen.

Fixationsmethoden

In den letzten Jahren haben die Techniken zur Transplantat-Fixierung einen Wandel erfahren. Auch unser Patientengut repräsentiert diesen Wandel mit. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit von Schraubenfixationen. Aktuell häufiger werden femoral Flippanker-Systeme z.B. ACL-Tight-rope oder Endobutton verwendet. V.a. bei Kindern sind femoral metaphysäre Verankerungsmethoden wie Flippanker günstig, da sie das Transplantat entfernt von der Wachstumsfuge fixieren. Bei einer Schraubenfixation besteht grundsätzlich die Gefahr von Hardware in der Fuge. Im Einzelfall ist es möglich die femorale Schraube soweit nach

proximal zu drehen, dass sie oberhalb der Fuge zu liegen kommt. Eine andere Fixationsmethode stellen Pin-Systeme, über die das Transplantat femoral aufgehängt wird, dar. Tibial kann eine Schraube soweit gekürzt werden, dass sie ebenfalls metaphysär das Transplantat fixiert.

1.4 Fragestellung, Hypothesen und Ziel der Studie

Aus der bisherigen Datenlage ergeben sich folgende Fragen und Hypothesen.

1. Zeigen sich nach einer transphysealen VKB-Rekonstruktion bei offenen Wachstumsfugen stabile Kniegelenksverhältnisse im Seitenvergleich?
2. Wie zeigt sich insbesondere die Rotationsstabilität bei vertikaler Zugrichtung der Transplantatfasern, sowie einem femoralen Bohrkanal eher im Ursprungsbereich des posterolateralen VKB-Bündels (PL-Bündel)?
3. Kommt es im Verlauf zu Veränderungen des Beinlängen- oder Achsenwachstum?
4. Ist eine Rückkehr zum Sportniveau vor der Verletzung möglich?

Wir vermuten, dass sich nach einer solchen transphysealen VKB-Rekonstruktion mit Hamstringsehnen Transplantaten und metaphysärer Fixierung seitengleich stabile Kniegelenksverhältnisse zeigen, auch hinsichtlich der Rotationslaxität. Zudem erwarten wir keine Wachstumsdeformitäten und vermuten, dass eine Rückkehr zum ursprünglichen Sportniveau möglich ist.

Die Studie soll dazu beitragen, die Versorgung von Kindern mit VKB-Rupturen zu optimieren. Sie soll zeigen, dass eine VKB-Rekonstruktion mit metaphysärer Fixierung unter Berücksichtigung der Wachstumsfugen möglich ist. Es soll gezeigt werden, dass durch ein vertikales Bohren der Kanäle im nahezu anatomischen Ursprungsbereich eine Verletzung der Wachstumsfugen mit möglichen Wachstumsveränderungen minimiert werden kann. Darüber hinaus soll gezeigt werden, dass eine solche Rekonstruktionstechnik sowohl translatorisch als auch rotatorisch stabile Kniegelenksverhältnisse herstellen kann. Letztlich soll damit gezeigt werden, dass eine Rückkehr zum ursprünglichen Sportniveau möglich ist.

Kapitel 2

Material

2.1 Patientendaten

Für den Zeitraum von 2006 bis einschließlich April 2010 wurden die Operationsdaten sowohl der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar, als auch der OCM-Klinik nach VKB-Ersatzplastiken bei Kindern durchsucht. Gesucht wurde anhand der ICD-Verschlüsselung für Bandverletzungen im Kniegelenk S83.5***. Anschließend wurde das Patientengut nach den folgenden Ein- und Ausschlusskriterien erstellt.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

In diese Studie wurden alle Kinder und Jugendlichen mit radiologisch offenen Wachstumsfugen eingeschlossen, die sich im o.g. Zeitraum an unseren Zentren einer transphysealen VKB-EBPL in Einzelbündeltechnik mit Hamstring-Grafts unterzogen haben. Allen Rekonstruktionen ging eine intraligamentäre Ruptur des VKB voraus. Als primäre Ausschlusskriterien veranschlagten wir der Wichtigkeit nach geordnet:

1. kombinierte Kniebandbandverletzungen (HKB-Rupturen)
2. Knorpelschäden, die operativ mitangegangen werden mussten (Mikrofrakturierung (MFx), Autologe Osteochondrale Transplantation (OATS), Matrixassoziierte Autologe Chondrozyten Translation (MACT)

Nach den primären Ausschlusskriterien erhielten wir eine Anzahl von insgesamt 47 jungen Patienten. Nachträglich wurden anhand der sekundären Ausschlusskriterien folgende Patienten vom Kollektiv entfernt:

1. 4 Patienten mit Rerupturen
2. 2 Patienten mit einer Operation am kontralateralen Kniegelenk
3. 3 Patienten mit tibialer Fixation anhand einer gelenknahen Retroscrew

4. 1 Patient mit femoraler Fixation durch einen Etipin

Somit standen die postoperativen Ergebnisse von 37 Patienten zur Auswertung für diese Studie an.

2.3 Begleitpathologien und besondere Patienten

Bei neun Patienten des Kollektivs wurde eine Läsion des medialen kollateralen Ligaments (MCL) präoperativ konservativ behandelt. Ein Meniskuseingriff während der VKB-Ersatzbandplastik (VKB-EBPL) war bei 16 Patienten erforderlich (8xAußenmeniskus (AM), 8xInnemeniskus (IM)). Bei einem Patienten bestand Z.n. Arthroskopie (ASK) mit AM-Refixation und eine Patientin wurde nach der VKB-EPBL bei erneutem Trauma rearthroskopiert und dabei der anfänglich refixierte IM teilreseziert. 2 Patienten erhielten nur eine Rekonstruktion des anteromedialen VKB-Bündels bei noch stehenden posterolateralen-Fasern und 1 Patient zeigte neben der intraligamentären Ruptur auch einen knöchernen Ausriss, der mit einer Anzugsnaht zusätzlich transossär fixiert wurde.

2.4 Follow-Up

Die durchschnittliche Latenz zwischen OP und Untersuchung betrug 24.9 ± 11.4 Monate. Der Nachuntersuchungszeitpunkt wurde nach keinem festen Schema festgelegt. Daher wurden einzelne Patienten früher nachuntersucht, die anderen später. Allerdings wurde der Untersuchungszeitpunkt möglichst herausgezögert.

2.5 Indikation zur VKB-EBPL

Bei einem insgesamt hohen sportlichem Anspruch, dem klinischen Erscheinungsbild mit rezidivierender Giving-way Symptomatik und den o.g. Gründen für sekundäre Schäden bei konservativem Vorgehen, wurden bei diesem Patientengut die Indikation zur VKB-EBPL gestellt. Die entsprechenden Aufklärungen wurden im adäquaten Abstand zur OP durchgeführt, sodass eine Unterschrift eines Erziehungsberechtigten zeitgerecht vorlag.

2.6 Operations-Techniken und Durchführung

Die an den beiden Zentren bevorzugte Operations-Technik wird nachfolgend erläutert. Eine altersgerechte Vollnarkose wird eingeleitet, wobei sich der Patient in liegender Lagerung mit aufgestelltem Bein befindet, teilweise aber auch mit hängendem Bein im Beinhalter. Das zu operierende Bein wird steril bis zur Mitte des Oberschenkels abgewaschen. Anbringen einer Blutsperre am Oberschenkel mit einem Druck von ca. 250-280mmHg, Anzeichnen der anatomischen Landmarken. Hautschnitt über dem Pes anserinus, Spaltung des Subcutangewebes bis auf die Sartoriusfascie. Darstellen der Sehnen des M. Semitendinosus und des

M. Gracilis. Anschlingen der Semitendinosussehne mit Fadenmaterial. Scharfes Trennen der Sehne vom Knochen unter Mitnahme des inserierenden Perioststreifens. Mobiliseren der Sehne vom Muskelbauch mit einem Sehnenstripper. Die entnommene Sehne wird am Nebentisch als 3fach oder 4fache Bündel präpariert. Je nach Sehnendicke zusätzliche Entnahme der Sehne des M. Gracilis. Verschluss des Perisiosts, Verschluss der Sartoriusfascie.

Vorbereitung zur Arthroskopie. Hierfür Platzierung eines anterolateralen Portals 1cm infrapatellar und 1cm lateral der Patellarsehne. Diagnostische Arthroskopie des medialen Kompartiments, des lateralen Kompartiments, der Fossa intercondylaris und des patellofemoral Gelenks, sowie des medialen und lateralen Recessus. Unter arthroskopischer Sicht setzen eines anteromedialen Portals unter Berücksichtigung des Arbeitsweges zu etwaigen Begleitpathologien. Entsprechende Adressierung von Begleitpathologien. Vorbohren des tibialen Bohrkanals in 90° Flexion, sodass der Ansatz im noch nicht entfernten VKB-Stumpf zu liegen kommt. Unter langsamer Extension wird ein mögliches Notch-Impingement kontrolliert. Im Zweifelsfall wird die Position in den anatomischen Limiten korrigiert bzw. eine Notchplastik durchgeführt. Überbohren des Zieldrahtes je nach Transplantatdurchmesser. Identifizierung des femoralen Ursprungs des VKB zwischen 10.30 Uhr und 11.00 Uhr für das linke Bein, entsprechend 13.00 Uhr und 13.30Uhr für das rechte Bein. Setzen eines Zieldraht über das anteromediale Arbeitsportal in 120° Flexion im originären Ursprungsbereich mit der Tendenz in Richtung des Ursprungs zum PL-Bündel, anschließendes Überbohren. Einbringen des am Nebentisch armierten Transplantats von tibial nach femoral. Der Einzug erfolgt soweit, dass das Transplantat die Strecke des Bohrkanals, der über die Wachstumsfuge läuft, sicher überquert und eine Mindeststrecke von ca. 2cm für eine Sehnen-Knochen-Heilung vorhanden ist. Unter Zug nach proximal erfolgt zunächst die Fixierung femoral wahlweise mit einem Pin oder einem Button, welcher unter Bildwandlerkontrolle an der femoralen Gegenkortikalis geflippt wird. Nach der femoralen Fixierung wird das Knie 20mal durchgebeugt, um die Transplantatsehnen zu konditionieren. Unter leichter Vorspannung wird das Transplantat in 30° Flexion tibial mit einer Bio-Interferenzschraube fixiert. Diese muss ggf. gekürzt werden, dass sie sicher unterhalb der Wachstumsfuge abschließt.

2.6.1 Single-Bundle und Transplantat

Als Transplantat wurde je nach Größe der Sehne des Musculus semitendinosus zusätzlich in 17 Fällen die Sehne des Musculus Gracilis verwendet. Die Patienten erhielten ausschließlich eine single-bundle Rekonstruktion. Im Nachhinein ist mangels Daten nicht mehr nachvollziehbar, ob die Sehnen 3fach oder 4fach zusammengelegt wurden. Das Transplantat besitzt in seinem Verlauf einen tibialen Anteil, einen Gelenkanteil und einen femoralen Anteil. Die Länge des Transplantates wurde jeweils so gewählt, dass es in seinem ossären Verlauf die Wachstumsfugen überschreitet. Durch vorheriges Ausmessen und Markieren des Gelenkanteils des Grafts kann dies beim Einziehen sicher gestellt werden. Nach *Stadelmaier et al.* verhindert die Ausfüllung des Bohrkanals mit Sehnenmaterial im Fugenbereich die Ausbildung einer Knochenbrücke, welche zu einem Fehlwachstum führen könne Stadelmaier u. a. [1995]. Siehe auch 1.1.8.

2.6.2 Bohrkanäle und Fugen

Nach der Messmethode von Bernhard und Hertel Bernard und Hertel [1996] wurden 17 Bohrkanäle femoral im 1.Quadranten platziert, 23 Bohrkanäle im 2. Quadranten. Tibial wurden 38 Kanäle im 2. und 2 Kanäle im 3.Quadranten gebohrt. Bei einer Patientin fehlte ein postoperatives Röntgenbild zur Bestimmung der Bohrkanallage. Der Durchmesser der Tunnel reichte von 5mm bis 9mm, sowohl tibial als auch femoral. In sieben Fällen wurde der Abstand vom metaphysären Eintritt des tibialen Bohrkanals bis zur Wachstumsfuge gemessen. Die Werte reichten von 20mm bis 35mm. Je nach Operateur ist dokumentiert, dass beim Durchdringen der Wachstumsfugen die Drehzahl des Bohrers verringert worden ist, um thermische Schäden zu verhindern.

2.6.3 Fixationsmethoden

Ziel der Fixationsmethoden bei kindlichen VKB-Ersatzplastiken ist es, die Epiphysenfugen nicht zu verletzten. Eine epiphysenfugen-überbrückende Fixation scheidet aus. Es bleiben Verankerungsmöglichkeiten oberhalb bzw. unterhalb der Wachstumsfuge. In dieser Studie werden, wie oben erwähnt, jeweils nur die metaphysären Verankerungen betrachtet, d.h. femoral oberhalb und tibial unterhalb der Fuge. Die hier gebrauchten Befestigungssysteme umfassen die Button-Technik, das Rigid-Fix System und bioabsorbierbare Schrauben. Auf eine gute Ausfüllung der Bohrkanäle mit Sehnengewebe wurde geachtet, jedoch wurde eine sog. pressfit Verankerung je nach Operateur gewählt oder nicht. In diesen Fällen wurden jeweils die Bohrkanäle minimal kleiner als der Transplantatdurchmesser gewählt. Hierdurch soll ein besserer Sehnen-Knochenkontakt entstehen, der eine suffizientere circuläre Einheilung verspricht.

Button-Technik

Das Prinzip der Button-Technik besteht im Verhaken eines Metallplättchens am gelenkfernen Ausgang des femoralen Bohrkanals. An diesem Plättchen ist über mehrere Fäden das Transplantat über einen Steg aufgehängt. Das Metallplättchen besitzt zudem in seiner rechteckigen Form zwei Löcher an den Enden. Durch diese Löcher laufen an entgegengesetzten Seiten Zug- und Kippfäden. Mittels Zugfaden wird das Transplantat bis zur vorher angebrachten Markierung ins Gelenk eingezogen. Im Anschluss erfolgt das sog. „Flippen“ durch Zug am Kippfaden. So steht das Plättchen nicht mehr längs zum Bohrkanal sondern quer. Eine Bildwandlerkontrolle und retrogrades Ziehen an den Zugfäden können das „Flippen“ und den festen Sitz bestätigen.

Rigid-Fix System und Transfix Pin

Bei diesen Verankerungssystemen wird das Transplantat durch ein oder zwei quer zum Bohrkanal eingebrachte, bioabsorbierbare Pins aufgespießt. Das 3- oder 4-fach Sehnenpräparat ist im femoralen Anteil dementsprechend zu einem dicken Bündel zusammengenäht,

sodass keine einzelne Schlinge des Grafts dem Pin ausweichen kann. über ein Zielgerät wird die Treffsicherheit der Pins gewährleistet.

Schrauben proximal der Fuge

Die Schraubenfixation proximal der Fuge erfordert die Kenntnis der Bohrkanallänge jenseits der Wachstumsfuge. Diese Strecke wird vor Transplantat Einzug gemessen. Tibial wurden ausschließlich infraphyseal platzierte Schraube angebracht.

Kapitel 3

Methoden

3.1 Scores

Für die Beurteilung der subjektiven Zufriedenheit und zur Einschätzung der sportlichen Leistungsfähigkeit wurden folgende Fragebögen erhoben. Die ausgehändigte Fragebogenmappe ist im Anhang beigefügt. Da der Fragebogen erst zum follow-up ausgehändigt wurde, sind teilweise Fragen rückblickend gestellt worden. Die Fragen wurden bei Schwierigkeiten zusammen mit den Eltern bzw. den Erziehungsberechtigten beantwortet.

3.1.1 Allgemeine Fragen

Folgende Fragen wurde an die jungen Patienten gerichtet um Ihre allgemeine Zufriedenheit und ihre aktuelle Schmerzsituation zu erfassen:

1. Wurden Sie nach der Knie-Operation an unserer Abteilung oder woanders nochmals am Knie operiert? (ja, nein)

2. Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis der Operation an Ihrem Kniegelenk? (sehr zufrieden, zufrieden, bedingt zufrieden, unzufrieden)

3. Haben Sie aktuell Schmerzen im Knie? (starke Schmerzen, mäßige Schmerzen, gelegentlich leichte Schmerzen, Keine Schmerzen)

4. Müssen Sie aktuell Schmerzmedikamente einnehmen? (regelmäßig, bei Bedarf, nein)

5. Wenn Sie Sport treiben, müssen Sie dann zur Durchführung Schmerzmedikamente nehmen? (regelmäßig, bei Bedarf, nein)

6. Würden Sie sich in der Form nochmals operieren lassen? (ja, nein)

3.1.2 Visuelle Analog Skala

Hayes et al. beschrieben 1921 erstmalig eine Visuelle Analogskala (VAS) (als grafische Ratingskala) als neue Methode zur Beurteilung von Arbeitern durch deren Vorgesetzte [Hayes und Patterson (1921)]. Später wurde die Form einer visuellen Skala weiterentwickelt um das subjektive Befinden zu quantifizieren, da einer nominalen Unterteilung sprachliche Grenzen gesetzt sind [Aitken (1969)]. In unserer VAS entspricht das spitze Ende keinem Schmerz und das breite Ende dem schlimmsten Schmerz. Zum Follow-Up wurden die Patienten gefragt, wo Sie Ihre Schmerzen zum Zeitpunkt unmittelbar vor der Operation gesehen haben und wo sie Sie zum jetzigen Zeitpunkt sehen würden. Eine Abbildung der Visuellen Analog Skala ist beigefügt (siehe Anhang 3. VAS).

3.1.3 Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Kniegelenks International Knee Documentation Committee - subjektiver IKDC-Score

Das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies beinhaltet Fragen nach Symptomen unter variabler Belastung wie Anschwellen, Schmerzen, Blockieren und Instabilität. Eine Validität hinsichtlich der Aussagen über Schmerzen, Symptome, Funktion und Sportfähigkeit konnte durch *Higgins et al.* gezeigt werden [Higgins u. a. (2007)]. *Van Meer et al.* beschrieben, dass die darin enthaltenen Fragen nützlicher zur Evaluierung von Patienten mit akuten VKB-Rupturen oder 1 Jahr nach VKB-Rekonstruktion sind als die des 'Knee Injury and Osteoarthritis Scores'.

3.1.4 Lysholm-Score

Der Lysholm Score wurde 1982 erstmalig von Jack Lysholm beschrieben. Der Bogen fragt nach der Häufigkeit folgender Symptome: Hinken, Blockieren, Gefühl der Instabilität, Schwellung, Schmerzen und Blockieren. Zusätzlich wird erhoben wie Treppensteigen, in die Hocke gehen oder eine allgemeine Belastungsfähigkeit vollzogen werden kann [Lysholm und Gillquist (1982)]. Ca. 25 Jahre später wurde eine erneute Validierung des Scores von *Briggs et al.* vorgenommen [Briggs u. a. (2009)].

3.1.5 Tegner-Aktivitätsindex

Der Tegner-Aktivitätsindex stellt die Sportfähigkeit vor einer Verletzung mit dem Zustand zum follow-up gegenüber. Das sportliche Niveau wird je nach Intensität der Sportart unterteilt. So gilt z.B. Fußball auf nationaler Ebene als das höchste Niveau und wird mit zehn Punkten deklariert. Vier Punkten entfallen z.B. auf zweimaliges Joggen pro Woche. Der Score ist auch für seine deutsche Version validiert [Wirth u. a. (2013)].

3.1.6 Activity-Rating-Scale

Die Activity-Rating-Scale wurde 2001 von *Marx et al.* entwickelt. Sie sollte als ein Score dienen, der sportartunspezifisch die Funktion des Kniegelenks wiedergibt, wie häufig eine bestimmte das Knie beanspruchende Bewegung (z.B. schnelle Richtungswechsel oder schnelles abruptes Abbremsen aus vollem Lauf) pro Woche bzw. pro Monat durchgeführt werden kann [Marx u. a. (2001)].

3.1.7 Sportaktivitätsfragebogen

Beim Sportaktivitätsfragebogen geben die Patienten Sportarten bzw. Aktivitäten an, die Sie regelmäßig vor der Operation ausgeübt haben oder derzeit ausüben. Der Score unterscheidet dabei drei Zeitpunkte Life-Time, 1 Jahr vor der Operation und aktuell zum follow-up. Wenn nie eine Sportart regelmäßig ausgeübt worden ist oder ausgeübt wird, muss auch kein Kreuz gesetzt werden. Darüber hinaus wird das sportliche Niveau erfragt, auf dem die Patienten jeweils aktiv waren oder noch sind. Hierbei wird zwischen freizeitmäßig, wettkampfmäßig, leistungsmäßig und hochleistungsmäßig unterschieden. Zusätzlich wird auch die Häufigkeit (wie oft pro Woche?) und die Dauer der sportlichen Aktivität erhoben. Beides wird für die Zeit ein Jahr vor der Operation und für den Zeitpunkt des follow-ups dokumentiert. Abschließend wird noch festgehalten, ob die Patienten durch eine andere Verletzung oder eine andere Operation noch eine sportliche Einschränkung erfahren haben und ob sich überhaupt die Sportfähigkeit durch die VKB-Rekonstruktion verändert hat. Dieser relativ spezifische Fragebogen wurde bereits von *Naal et al.* verwendet [Naal u. a. (2007)].

3.2 Klinische Untersuchung

Für die klinische Untersuchung wurden die Parameter des Formblattes zur objektiven Beurteilung des Kniegelenks des International Knee Dokumentation Committee erhoben. Hierin enthalten ist die Messung mit dem KT 1000 siehe unten. Darüber hinaus wurden die Beinlängen klinisch gemessen und die Beinachsen fotografisch festgehalten und später standardisiert ausgewertet. Der single-leg hop Test wurde zur funktionellen Beurteilung der Belastbarkeit erhoben.

3.2.1 Formblatt zur objektiven Beurteilung des Kniegelenks International Knee Documentation Committee

Die klinische Untersuchung zum follow-up wurde in Anlehnung an das Formblatt zur objektiven Beurteilung des Kniegelenks des IKDC durchgeführt. Dieses Formblatt ist im Anhang B zu finden. Es beinhaltet u.a. die klinische Evaluation der allgemeinen Laxität, der Stellung der Kniescheibe, der Beinachse und des Bewegungsausmaßes in Flexion, Extension und Außenrotation. Ebenfalls werden Gelenkerguss, passives Bewegungsdefizit,

Bandstabilität, Abnutzung eines Kniegelenk Kompartiments, Transplantatentnahmemorbidität, Röntgenbefunde und ein Einbeinsprungtest jeweils im Seitenvergleich untersucht. Je nach Befund erfolgt eine Einteilung in Grad A = normal, Grad B = fast normal, Grad C = abnormal und Grad D = deutlich abnormal. Die Abschlussbeurteilung entspricht dem schlechtesten Funktionsgrad. So kann ein einziger Grad C wie z.B. leichte Schmerzen bei patellofemoralen Krepitationen bei sonst hervorragenden Graden ein Abschlussergebnis von C verursachen. Entscheidend für den Lachman Test ist die Dokumentation der anterioren tibialen Translation (ATT). Diese wird im Seitenvergleich bei einer Zugkraft von 30lb (ca. 13,6 kg) festgehalten, welche im Rahmen der KT 1000 Messung ohnehin evaluiert wird.

3.2.2 KT 1000 - Laxitestermessung

Der KT-1000 ist ein Instrument, das die anteriore Translation des Unterschenkels im Bezug zum Oberschenkel misst. Als proximale Referenz und Zugangriffspunkt dient die Tuberositas Tibiae, als Hebel dient der distale Unterschenkel. Bei 30° vorgebeugtem Knie und an den Femurcondylen nach medial und lateral stabilisiertem Oberschenkel, erfolgt der Zug am Unterschenkel.

Entsprechend *Mayr et al.* kann der KT-1000 auch in Verbindung mit einem „Laxitester“(ORTEMA Sport Protection, Markgroeningen, Germany) verwendet werden. Der „Laxitester“ ermöglicht die Messung der anterioren Translation in oben genannter Neutralstellung mit zusätzlicher 2Nm Dorasalflexion des Sprunggelenks zum Ausschalten der über das Kniegelenk ziehenden Muskulatur des M. gastrocnemius. Darüber hinaus kann eine mit 2Nm genormte Außenrotation und Innenrotation des Unterschenkels in 5° Schritten eingestellt werden. So kann die Messung der anterioren Unterschenkeltranslation auch in Rotation vollzogen werden [Mayr u. a. (2011)]. Hierbei ist zu beachten, dass bei einer Innenrotation des Unterschenkels, dieser sich schon geringgradig nach vorne bewegt. Um diese Translation nicht zu vernachlässigen, wird beim Übergang der ap-Messung in Neutralstellung zur ap-Messung in Innenrotation die Skala nicht mehr genullt. Eine erneute Nullung wird erst wieder in der Außenrotationsmessung durchgeführt.

Jede Messung wird sukzessive dreimal wiederholt, wobei jeweils der dritte Wert für 15lb, 20lb, 30lb und manual max. aufgezeichnet wird.

3.2.3 Klinische Körpergrößenmessung

Zur Beurteilung, ob und wieviel die Patienten seit dem operativen Eingriff gewachsen sind, wurde die von der Anästhesie erhobene Körpergröße zum OP-Zeitpunkt mir der klinisch gemessenen Körpergröße zum follow-up verglichen. Für die Messung der Körpergröße stellten sich die Patienten an einer Messskala, welche zuvor im Lot mit dem Meterstab abgemessene wurde, auf, wobei die Fersen direkt an der Wand anlagen und der höchste Scheitel des Kopfes als Messpunkt galt.

3.2.4 Klinische Beinlängenmessung

Zur klinischen Beinlängenmessung wurde nach Mobilisation des Iliosakralgelenks die Distanz von der spina iliaca anterior superior bis zur Spitze des malleolus mediales auf beiden Seiten festgehalten [Beattie u. a. (1990)]. Bei einem längeren operierten Bein wurde die Differenz als positiv definiert, entsprechend als negativ, wenn das operierte Bein kürzer war im Vergleich zur Gegenseite.

3.2.5 Fotografische Beinachsenbestimmung

Die Fotografische Beinachsenmessung wurde entsprechend der Validierung von *Schmitt et al.* vorgenommen [Schmitt u. a. (2008)]. Hierfür wurden die Patienten mit bis auf die Unterwäsche entkleideten Beinen im Abstand von 3m vor der Kamera in schulterbreiter und neutralrotierter Beinstellung aufgestellt. Die Kamera (Typ Sony DSC W12) fokussierte die Mitte beider Kniegelenke. Es wurden pro Patient mehrere Aufnahmen angefertigt. Zur Auswertung der Beinachse wurden die Aufnahmen ausgedruckt und folgende Punkte und Achsen bestimmt. Bei der Messung entspricht die Femurachse der Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkte der größten Oberschenkelausdehnung mit dem Mittelpunkt der Kniegelenksebene. Diese wird auf der Hälfte zwischen dem Umschlagspunkt der proximalen Konvexität der Kontur des vastus medialis und der distalen Konkavität unmittelbar unterhalb des Knies am Unterschenkel bestimmt. Die Tibiaachse entspricht der Verbindung zwischen dem Mittelpunkt der Kniegelenksebene mit dem Mittelpunkt der weitesten Konturenausdehnung über den Malleolen (siehe Abbildung 3.1).

3.2.6 Einbein-Sprung-Test

Der sog. Einbein-Sprung-Test oder single-leg-hop Test ist für die Beurteilung der Kniegelenksfunktion eine nützliche Untersuchung. Er ist Teil des Formblatts zur objektiven Beurteilung des Kniegelenks, wird aber aufgrund seiner Wichtigkeit hier nochmals näher erläutert. Der Patient muss jeweils mit dem gesunden und dem operierten Bein aus dem Einbeinstand einen Weitsprung durchführen und mit dem Absprungbein auch wieder Landen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Landung eine sichere ohne seitliches Ausgleichen, Festhalten oder Abstützen vollzogen wird. Andernfalls gilt hier eine gesprungene Strecke von 0 cm. Nach einem Probedurchgang auf beiden Seiten, wird pro Seite dreimal immer abwechselnd gesprungen. Die Distanz vom Absprung (Fußspitze) bis zur Landung (Ferse) wird als gesprungene Weite dokumentiert. Die Weiten pro Bein werden aufsummiert und zueinander in Relation gesetzt, operiert vs. gesunde Seite. Ein Relation von > 0.9 gilt als normale Funktion des operierten Beines. *Reinke et al.* konnten eine Korrelation des IKDC und des single-hop Tests feststellen [Reinke u. a. (2011)].

Abbildung 3.1: Bestimmung des Kniegelenksmittelpunkt bei der Fotografischen Beinachsenmessung

3.3 Bildgebung

Im Sinne einer good clinical practice führten wir bei den Patienten jeweils eine Röntgenkontrolluntersuchung zum Ausschluss von Fugenirritationen oder röntgenologisch erkennbare Wachstumsveränderungen wie z.B. eine verfrühter Fugenschluss durch. Für einen direkten Vergleich waren Aufnahmen des kontralarelaen Kniegelenks ebenfalls notwendig. Die Patienten und ihre Erziehungsberechtigten wurden über eine Röntgenuntersuchung und deren Risiken aufgeklärt und gaben jeweils ihr schriftliches Einverständnis hierfür.

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS Statistics (für Macintosh, version 21, SPSS, Inc., Chicago, IL) und mit G*Power Version 3.1.3. . Für die deskriptive Statistik wurden Mittelwert, range und Standardabweichung (SD) bestimmt. Für Unterschiede hinsichtlich den Scores präoperativ bzw. preinjury zum follow-up und für Unterschiede hinsichtlich der Laxitester Messung wurde der t-Test für gepaarte Stichproben angewandt. Statistische Signifikanz wurde für $p < 0.05$ festgelegt.

Kapitel 4

Ergebnisse

Ein Überblick über die Ergebnisse zeigt Tabelle 4.1.

4.1 Patientendaten

Von 42 Patienten (28 männliche, 14 weibliche) mit offenen Wachstumsfugen, die zwischen 10/2006 und 04/2010 eine transphyseale VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik erhalten haben, wurden 37 Patienten mit einem Durchschnitts-Follow-up von 24.9 Monaten (range 9.3 – 50.1, SD ± 11.4) nachuntersucht. Das mittlere Alter beim Eingriff betrug 13.2 Jahre (range 9.8 – 15.9, SD ± 1.6) bei den Jungen und 13.1 Jahre bei den Mädchen (range 11.0 – 14.6, SD ± 1.0). Vor der Rekonstruktion wurden bei 10 Patienten Läsionen des Innenbandes (MCL) zunächst konservativ ausgeheilt. Nach *Prince et al.* zeigten 22 Patienten ein „über die ganze Fuge ersichtliches Knorpelsignal“ und 18 „ein über den Verlauf der Fuge diskontinuierliches Knorpelsignal“ Prince, Laor und Bean [2005]. Drei Patienten hatten eine Reruptur, jeweils aufgrund eines neuen Kniedistorsionstraumas. Ein Patient erlitt sein erneutes Trauma beim Handballspielen neun Monate nach seiner VKB-Rekonstruktion. Ein anderer Patient verletzte sich erneut während des Brennballspielens 7 Monate postoperativ. Der dritte war beim Schulsport in ein neues Trauma verwickelt, wobei hierzu genauere Angaben nicht dokumentiert sind. Zwei weitere Patienten konnten aufgrund einer VKB-Verletzung des kontralateralen Kniegelenks nicht in die Nachuntersuchung miteinbezogen werden. Für eine Patientin war das KT 1000 Messgerät zu groß.

4.2 Ergebnisse der Operationstechnik

Alle Patienten wurden einer arthroskopischen VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik mit Hamstringsehnentransplantaten und metaphysärer Fixierung unterzogen. Während der Rekonstruktion war in 21 Fällen ein Eingriff am Meniskus (medial oder lateral) erforderlich. Der Innenmeniskus war 8 mal betroffen, der Außenmeniskus 11 mal und einmal beide. Die Interventionen am Meniskus umfassten sieben Refixationen und 14 Teilresektionen oder Glättungen. Nach Auswertung der postoperativen Röntgenbilder im sagittalen

Tabelle 4.1: Ergebnis Übersicht

n = 37	Mittel-wert	Minimal-wert	Maximal-wert	Standard-abweichung	Einheit	Signifikanz	Effektstärke
follow-up	24.9	9.3	50.1	11.4	Monate		
Alter zum OP-Zeitpunkt (Jungen)	13.2	9.8	15.9	1.6	Jahre		
Alter zum OP-Zeitpunkt (Mädchen)	13.1	11.0	14.6	1.0	Jahre		
Intervall bis zur VKB-EBPL	4.2	0.9	20.6	4.2	Monate		
VAS präoperativ	4.9	0	9	2.7			
VAS sum follow-up	0.7	0	6	1.4		$p < 0.05$	dz = 0.18
subjektiver IKDC Score	92.9	73.6	100.0	7.7			
Lysholm Score	93.9	72.0	100.0	7.7			
Tegner Score vor Verletzung	7.8	2.0	10.0	1.6			
Tegner Score zum follow-up	7.2	2.0	10.0	1.9		$p < 0.05$	dz = 0.49
ARS vor Verletzung	12.1	2.0	16.0	3.3			
ARS zum follow-up	11.4	0	16.0	4.3		$p = 0.266$	dz = 0.18
Sport vor Verletzung	6.2	0	18.0	3.9	Stunden/Woche		
Sport zum follow-up	5.8	0	17.5	4.0	Stunden/Woche	$p = 0.54$	dz = 0.1
Zuwachs	6.7	0	23.0	6.4	cm		
Beinlänge operiert	88.8	73.5	107.5	7.1	cm		
Beinlänge kontralateral	89.0	74.0	108.5	7.2	cm	$p < 0.05$	dz = 0.37
Beinachse operiert	1.2	-8.3	8.0	3.3	°		
Beinachse kontralateral	0.5	-8.8	6.8	3.5	°	$p < 0.05$	dz 0.45

Strahlengang wurden die femoralen Bohrkanäle 17 mal im ersten und 23 mal im zweiten Quadranten nach der Methode von Bernard und Hertel platziert. Tibial erfolgten die Bohrungen in 38 Fällen im zweiten Quadranten und nur zweimal fast im dritten Quadranten Sommer, Friederich und Müller [2000]; Bernard und Hertel [1996].

4.3 Ergebnisse der Scores

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf die 37 nachuntersuchten Patienten.

4.3.1 Ergebnisse Allgemeine Fragen

Wurden Sie nach der Knie-Operation an unserer Abteilung oder woanders nochmals am Knie operiert? Eine Patientin erlitt ein neues Distorsionstrauma und wurde in der Folge nochmals am Innenmeniskus operiert. Dieser wurde teilreseziert. *Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis der Operation an Ihrem Kniegelenk?* Alle Patienten waren mit dem operativen Outcome zufrieden (65% sehr zufrieden, 35% zufrieden). Bis auf ein Patient würden alle dieselbe Prozedur nochmals vornehmen. *Haben Sie aktuell Schmerzen im Knie?* Auf die Frage nach aktuellen Schmerzen im Knie antworteten 25 Patienten mit nein. 11 Patienten gaben an gelegentlich leichte Schmerzen zu haben und 1 Patient berichtete über mäßige Schmerzen. *Müssen Sie aktuell Schmerzmedikamente einnehmen?* Keiner der Patienten nahm zum Nachuntersuchungszeitpunkt Schmerzmediakamente ein. *Wenn Sie Sport treiben, müssen Sie dann zur Durchführung Schmerzmedikamente nehmen?* Auch bei sportlicher Aktivität war für keinen der Befragten die Einnahme von Schmerzmedikamenten notwendig. *Würden Sie sich in der Form nochmals operieren lassen?* Bis auf den Patienten, der über mäßige Schmerzen zum follow-up berichtete, würden sich alle Patienten nochmals der gleichen Prozedur unterziehen, wenn sie nochmals in der selben Lage wären.

4.3.2 Ergebnisse Visuelle Analog Skala

Der Mittelwert der Visuellen Analog Skala betrug 4.9 (range 0 – 9, SD ± 2.7) vor der Operation und 0.7 (range 0 – 6, SD ± 1.4) zum follow-up. Die Reduktion war signifikant ($p < 0.05$, $dz = 1.2$).

4.3.3 Ergebnisse subjektiver IKDC-Score

Der durchschnittliche Wert im subjektiven IKDC-Score betrug 92.9 (range 73.6 – 100.0, SD ± 6.9).

4.3.4 Ergebnisse Lysholm Score

Im Lysholm Score wurden im Mittel 93.9 Punkte erreicht (range 72.0 – 100.0, SD ± 7.7).

4.3.5 Ergebnisse Tegner-Aktivitätsindex

Im Tegner-Aktivitätsindex konnte eine leichte Minderung der Sportfähigkeit vor der Verletzung im Vergleich zu der zum follow-up festgestellt werden. Vor der Verletzung betrug er 7.8 im Schnitt (range 2.0 – 10.0, SD ± 1.6), zum follow-up belief sich der Mittelwert auf 7.2 (range 2.0 – 10.0, SD ± 1.9). Diese Veränderung war signifikant mit einer mittleren Effektstärke ($p < 0.05$, $dz = 0.5$).

4.3.6 Ergebnisse Activity-Rating-Scale

Verglichen mit den Werten vor initialem Trauma zeigten sich bei der Activity-Rating-Scale zum follow-up keine signifikanten Veränderungen ($p = 0.266$, $dz = 0.2$). Vor dem Trauma lag die mittlere Punktzahl bei 12.1 (range 2.0 – 16.0, SD ± 3.3) und zum follow-up bei 11.4 points (range 0 – 16.0, SD ± 4.3).

4.3.7 Sportaktivitätsfragebogen

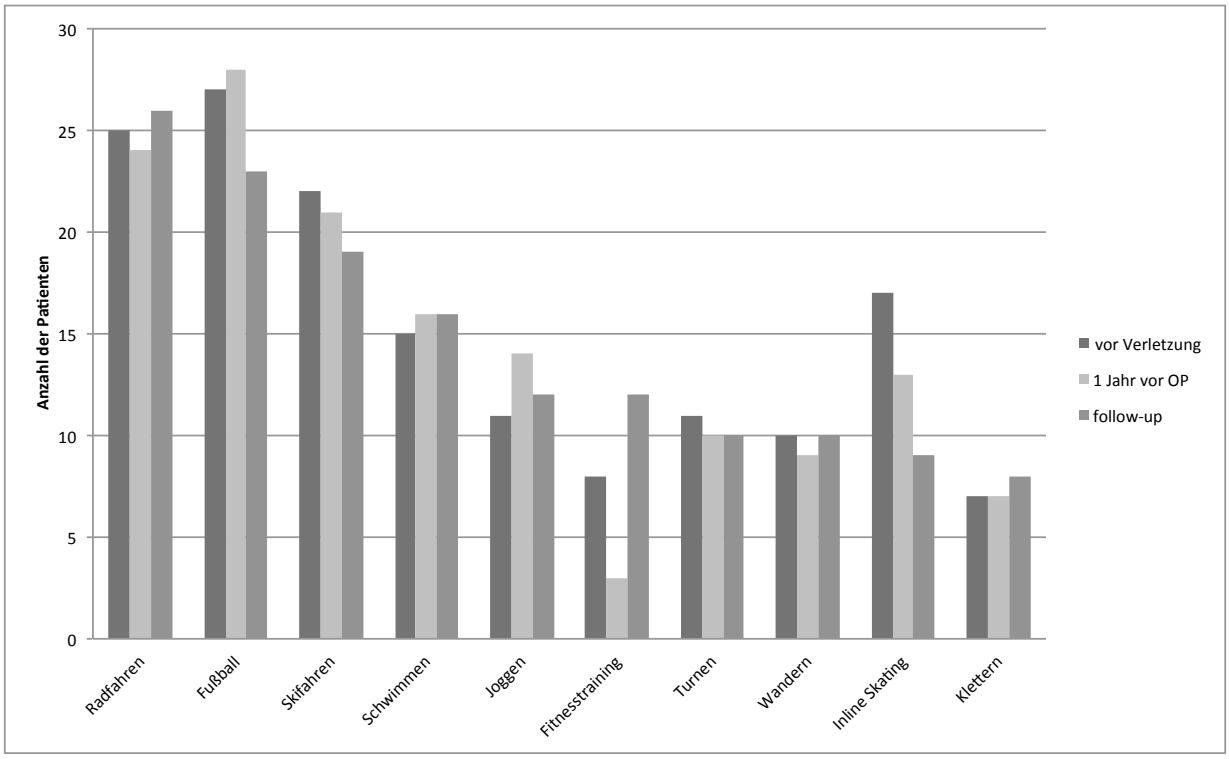
Zum follow-up gaben 35 Patienten an, dass ihre Sportfähigkeit mindestens gleich geblieben sei, obwohl nur 27 berichteten, dass sie zu ihrem Aktivitäts-Level von vor dem Unfall zurückkehren konnten. Das durchschnittliche follow-up der Patienten, welche mindestens zu ihrem preinjury-level zurückkehrten lag bei 27.6 Monaten (range 9.3 – 50.1, SD ± 11.2) und von denen, welche es zum follow-up noch nicht wieder erreicht hatten bei 17.7 Monaten (range 10.5 - 32.9, SD ± 7.3). Vor der Verletzung verbrachten die jungen Patienten im Schnitt 6.2 Stunden pro Woche (range 0 – 18, SD ± 3.9) mit sportlicher Aktivität, die in 70% der Fälle mit dem Niveau von Wettkampfsport ausgeübt wurde. Zum follow-up lag die durchschnittliche wöchentliche Dauer sportlicher Aktivität bei 5.8 Stunden (range 0 – 17.5, SD ± 4.0), 57% davon auf Niveau von Wettkampfsport. Diese Veränderung war statistisch nicht signifikant ($p = 0.542$, $dz = 0.1$). Allerdings konnte eine signifikante Korrelation zwischen return to preinjury sport level und follow-up Dauer festgestellt werden ($r = 0.37$, $p < 0.05$). Patienten mit einem längeren follow-up fanden verhältnismäßig gesehen häufiger zurück zu ihrem preinjury sport level. Letztlich konnte aber keine Korrelation zwischen objektiven IKDC-Score und der follow-up Dauer nachgewiesen werden ($r = 0.03$, $p = 0.85$). Ein Auszug der ausgeübten Sportarten zeigt folgende Grafik (TopTen Sportarten). Hoch beanspruchende Sportarten wie Fußball und Skifahren wurden regelmäßig ausgeübt, z.B. spielten 1 Jahr vor der OP 28 Patienten Fußball und zum follow-up noch 23.

4.4 Ergebnisse Klinische Untersuchung

4.4.1 Ergebnisse objektiver IKDC-Score

In der Abschlussbeurteilung der Gruppengrade im objektiven IKDC-Score kamen 5 Patienten auf Grad A, 23 Patienten auf Gruppengrad B und 9 Patienten auf C. Der Lachman Test war in 31 Fällen normal und fast normal in 6 Fällen. Bei 20 der jungen Patienten

Abbildung 4.1: Top Ten Sportarten



war der pivot-shift Test negativ, 14 zeigten ein geringes Gleiten und bei 3 war ein „clunk“ bemerkbar.

4.4.2 Ergebnisse KT 1000 - Laxitester Messung

Die Ergebnisse der KT 1000 Messung sind in Grafiken festgehalten. Die anteriore tibiale Translation (ATT) mit einer Zugkraft von 30lb am betroffenen Knie in Neutralposition betrug 3.8mm (range 1.3 – 7.7, SD ± 1.6) und an der Gegenseite 2.6mm (range 0.7 – 5.5, SD ± 1.0). Dies entsprach einem signifikanten Unterschied mit mittlerer Effektstärke ($p < 0.05$, $dz = 0.7$) siehe Abbildung 4.2.

Die Werte für die ATT in 2 Nm Unterschenkel Innenrotation zeigten keinen signifikanten Unterschied ($p=0.075$, $dz = 0.3$). Sie beliefen sich auf 4.4mm (range 1.0 – 8.2, SD ± 1.6) im operierten Knie und 3.7mm (range 0.7 – 8.9, SD ± 1.7) im gesunden Kniegelenk.

Ein signifikanter Unterschied für die ATT in 2 Nm Unterschenkel Außenrotation war, bei im Schnitt 3.8mm (range 1.5 - 7.3, SD ± 1.5) am betroffenen Knie und 3.0mm (range 1.0 – 5.9, SD ± 1.2) an der Gegenseite, ersichtlich ($p < 0.05$, $dz = 0.5$).

Es gab nur 4 Patienten, die eine ATT größer als 3mm im Seitenvergleich aufwiesen, von denen die höchste 5mm betrug. Der Patient, der diese hohe Seit zu Seit Differenz zeigte, wurde nach einem weiteren Jahr nochmals zu einer Kontrolluntersuchung einbestellt, wo sich der Seitenunterschied auf nunmehr 2.6mm in Neutralposition reduzierte. Bei der ATT

Abbildung 4.2: Anteriore Tibia Translation in [mm] in Neutralstellung mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich

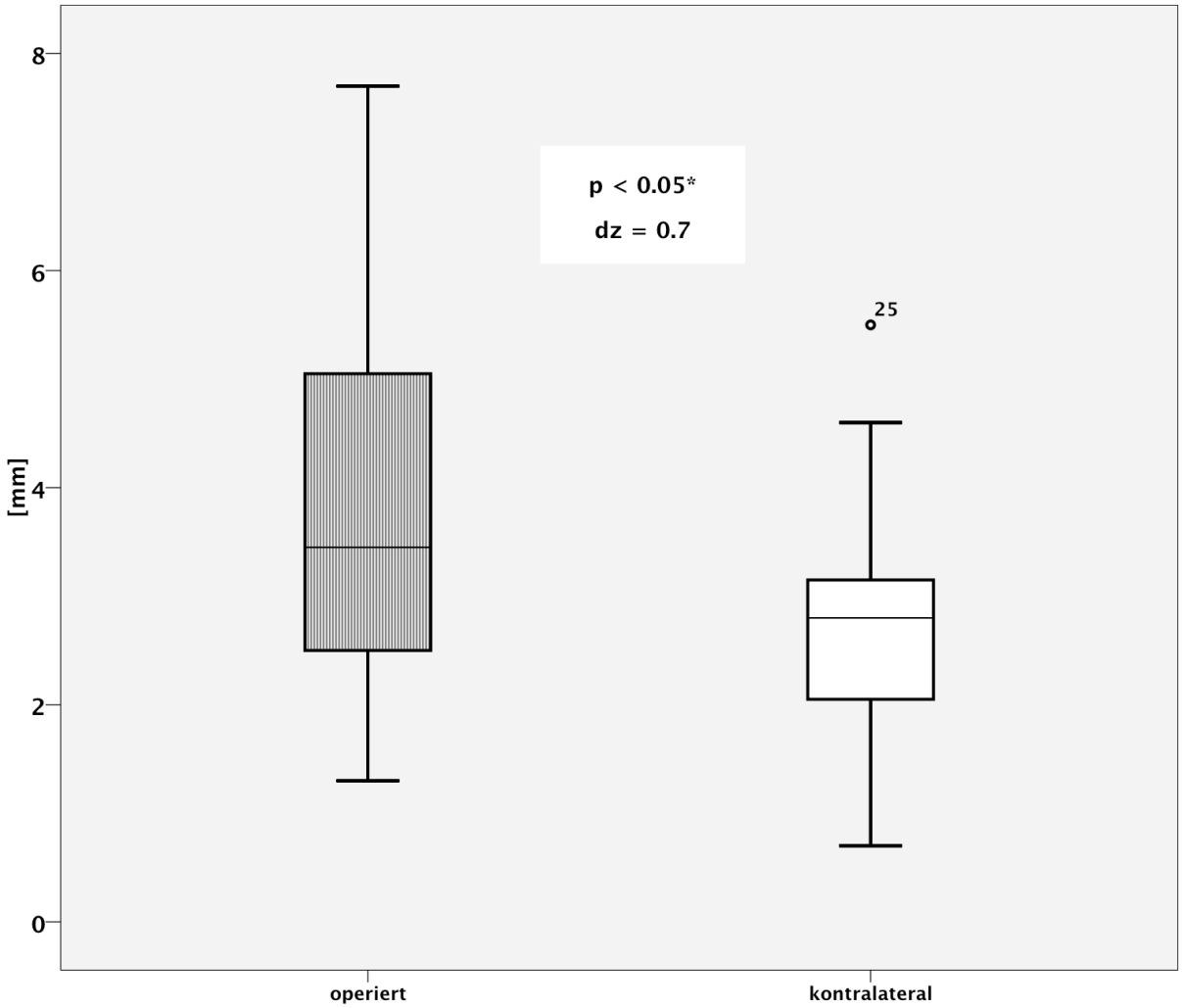


Abbildung 4.3: Anteriore Tibia Translation in [mm] in Innenrotaion mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich

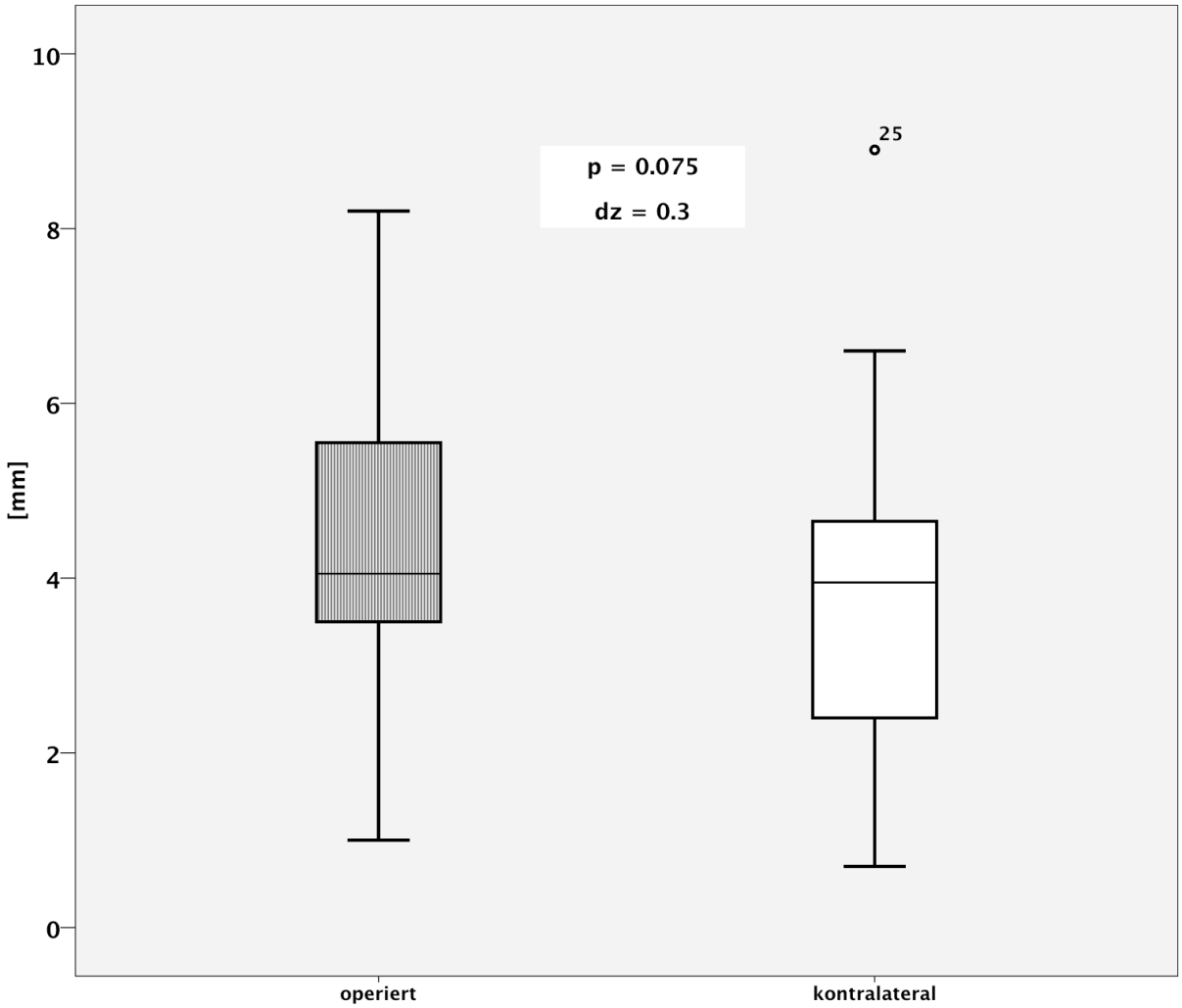


Abbildung 4.4: Anteriore Tibia Translation in [mm] in Außenrotaion mit 30lb Zugkraft im Seitenvergleich

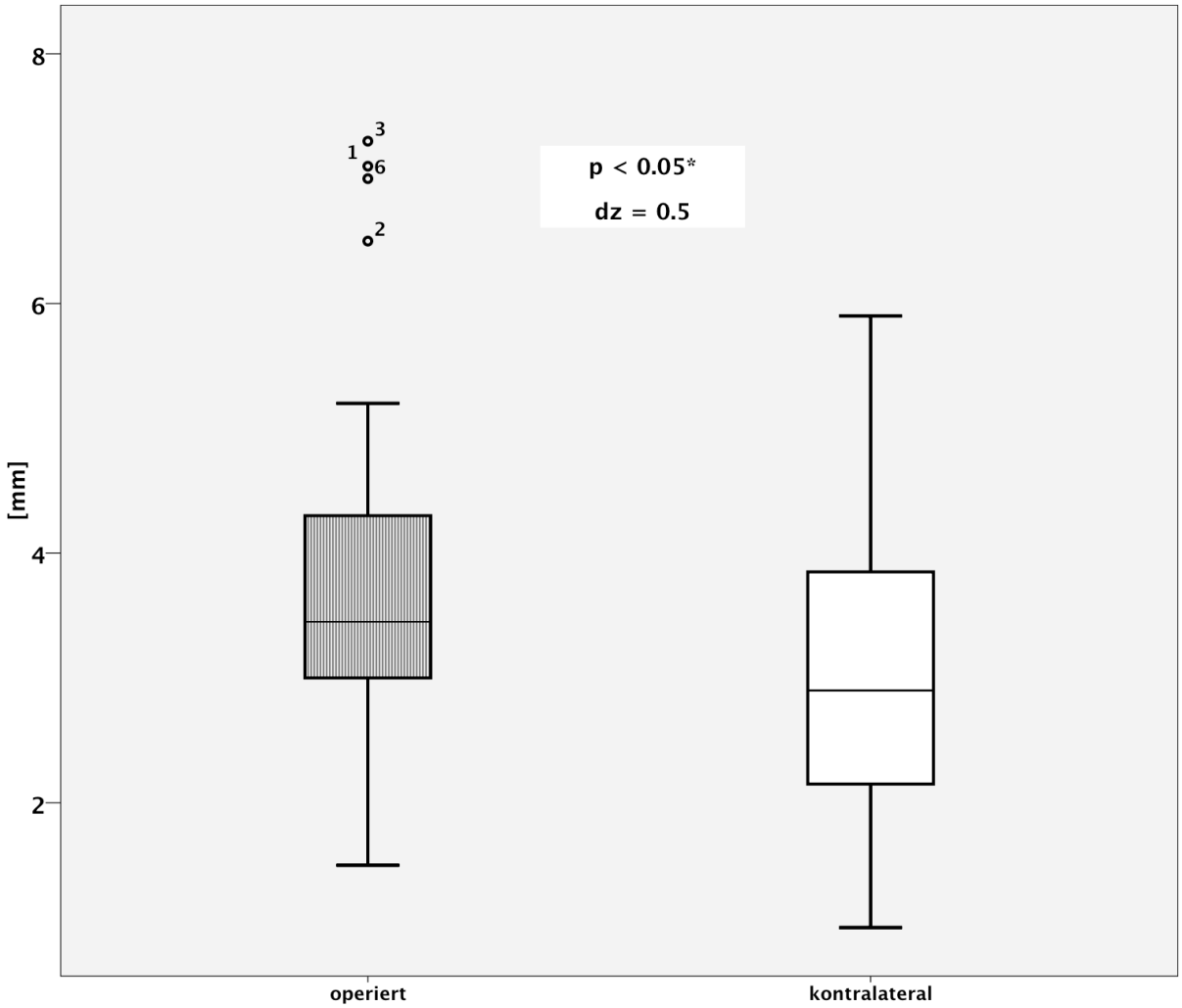


Tabelle 4.2: KT 1000 Laxitester Messung mit maximaler Zugkraft

n = 37	MW	min	max	SD	Einheit	Signifikanz	Effektstärke
ATT op neut	5.4	1.9	9.4	1.8	mm		
ATT kontra neut	3.7	0.8	6.3	1.3	mm	$p < 0.05$	dz = 0.89
ATT op IRO	5.6	1.6	9.6	1.8	mm		
ATT kontra IRO	4.4	1.0	9.5	1.8	mm	$p < 0.05$	dz = 0.50
ATT op ARO	5.5	2.1	9.3	1.8	mm		
ATT kontra ARO	4.1	1.1	7.8	1.5	mm	$p < 0.05$	dz = 0.59

Tabelle 4.3: Ergebnisse Rotations Messung mit 2 Nm Drehmoment

n = 37	MW	min	max	SD	Einheit	Signifikanz	Effektstärke
IRO op	26.7	10.0	45.0	9.0	°		
IRO kontra	25.6	10.0	45.0	8.1	°	$p = 0.186$	dz = 0.22
ARO op	43.9	10.0	65.0	10.4	°		
ARO kontra	40.0	15.0	60.0	12.7	°	$p < 0.05$	dz = 0.44

in 2 Nm Innenrotation fanden sich 8 Patienten mit einem Seitenunterschied von mehr als 3mm, von denen wieder der höchste Wert 5mm betrug, welcher beim vorhin erwähnten Patienten zu sehen war. Dieser zeigte ebenfalls den höchsten Seitenunterschied der ATT in Außenrotation. Wie in Neutralposition fielen diese Werte bei der Kontrolluntersuchung nach einem Jahr. In Außenrotation erreichte nur ein weiterer Patient eine mehr als 3mm große Seitendifferenz. Allerdings wurde aufgrund der statischen Laxizitätsmessung kein Patient als Gruppengrad C deklariert. Die Werte der ATT mit einer manuell maximalen Zugkraft sind in Tabelle 4.2 dargestellt.

Die unter 2 Nm Drehmoment erreichten Winkel in Innenrotation zeigten im Seitenvergleich keinen signifikanten Unterschied ($p=0.186$, dz = 0.2). Sie betrugen im Mittel 26.7° (range 10.0 – 45.0, SD ± 9.0) am operierten Bein und 25.6° (range 10.0 – 45.0, SD ± 8.1) an der Gegenseite. Jedoch war die Außenrotation im Seitenvergleich am betroffenen Knie mit 43.9° (range 10.0 – 65.0, SD ± 10.4) höher als am gesunden Kniegelenk 40.0° (range 15.0 – 60.0, SD ± 12.7). Dies war statistisch signifikant ($p < 0.05$, dz = 0.4)

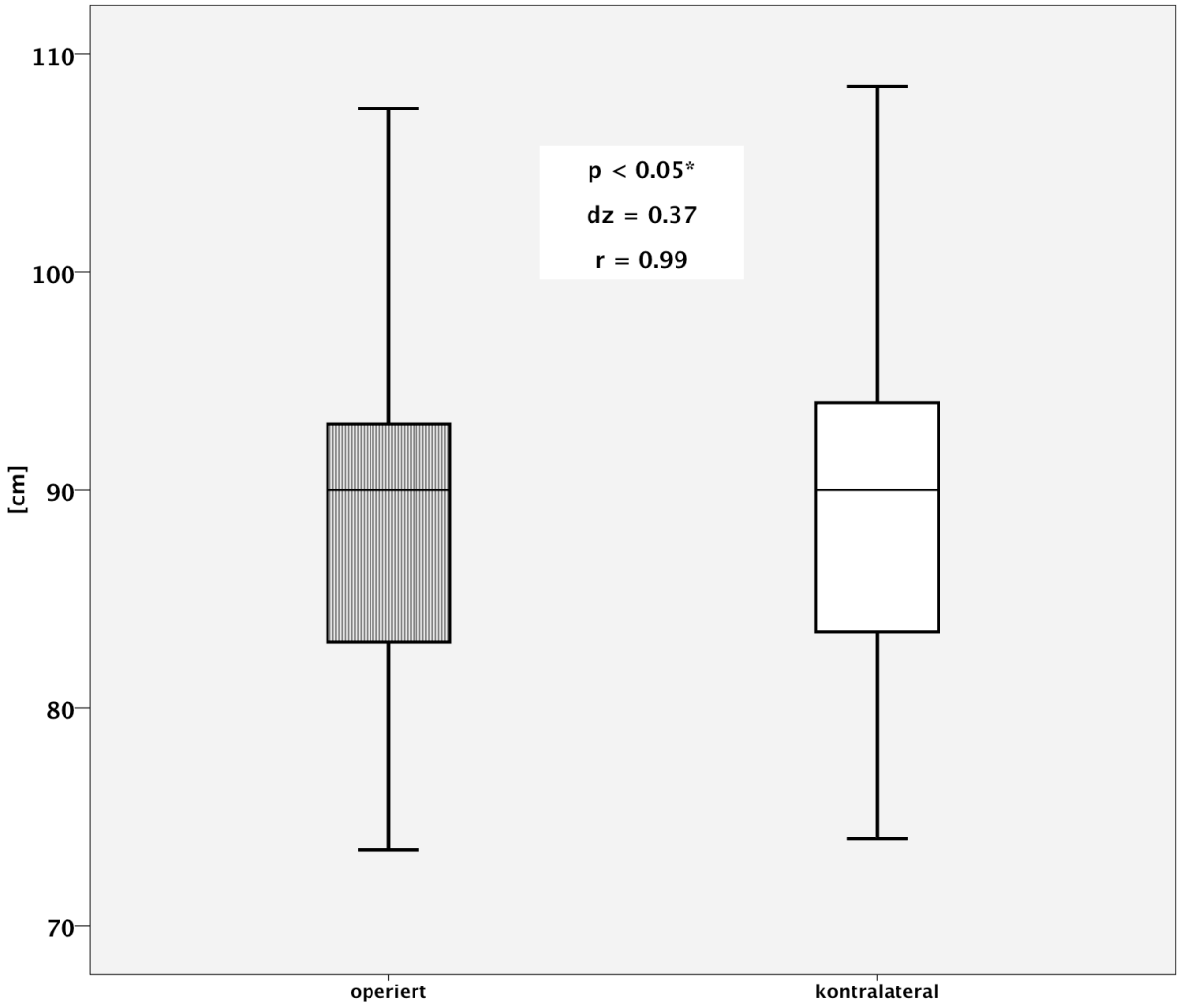
4.4.3 Ergebnisse Körpergrößenmessung

Bis auf bei vier Patienten war die Körpergröße zum Operationszeitpunkt dokumentiert. Sie betrug im Mittel 1.61m (range 1.40 - 1.85, SD ± 0.12). Zum Untersuchungszeitpunkt waren es 1.67m im Schnitt (range 1.47 - 1.98, SD ± 0.11). Das ergab einen durchschnittlichen Zuwachs von 6.7cm (range 0 – 23, SD ± 6.4) bis zum follow-up.

4.4.4 Ergebnisse Klinische Beinlängenmessung

Bei der Beinlängenmessung konnte das operierte Bein im Mittel mit 88.8cm (range 73.5 – 107.5, SD ± 7.1) und die Gegenseite mit 89.0cm (range 74 – 108.5, SD ± 7.2) gemessen werden. Das ergab zwar einen signifikanten Unterschied ($p < 0.05$, $dz = 0.37$), jedoch zeigte sich eine sehr hohe Korrelation der Werte ($r = 0.997$) siehe Abbildung 4.5.

Abbildung 4.5: Beinlängenmessung im Seitenvergleich

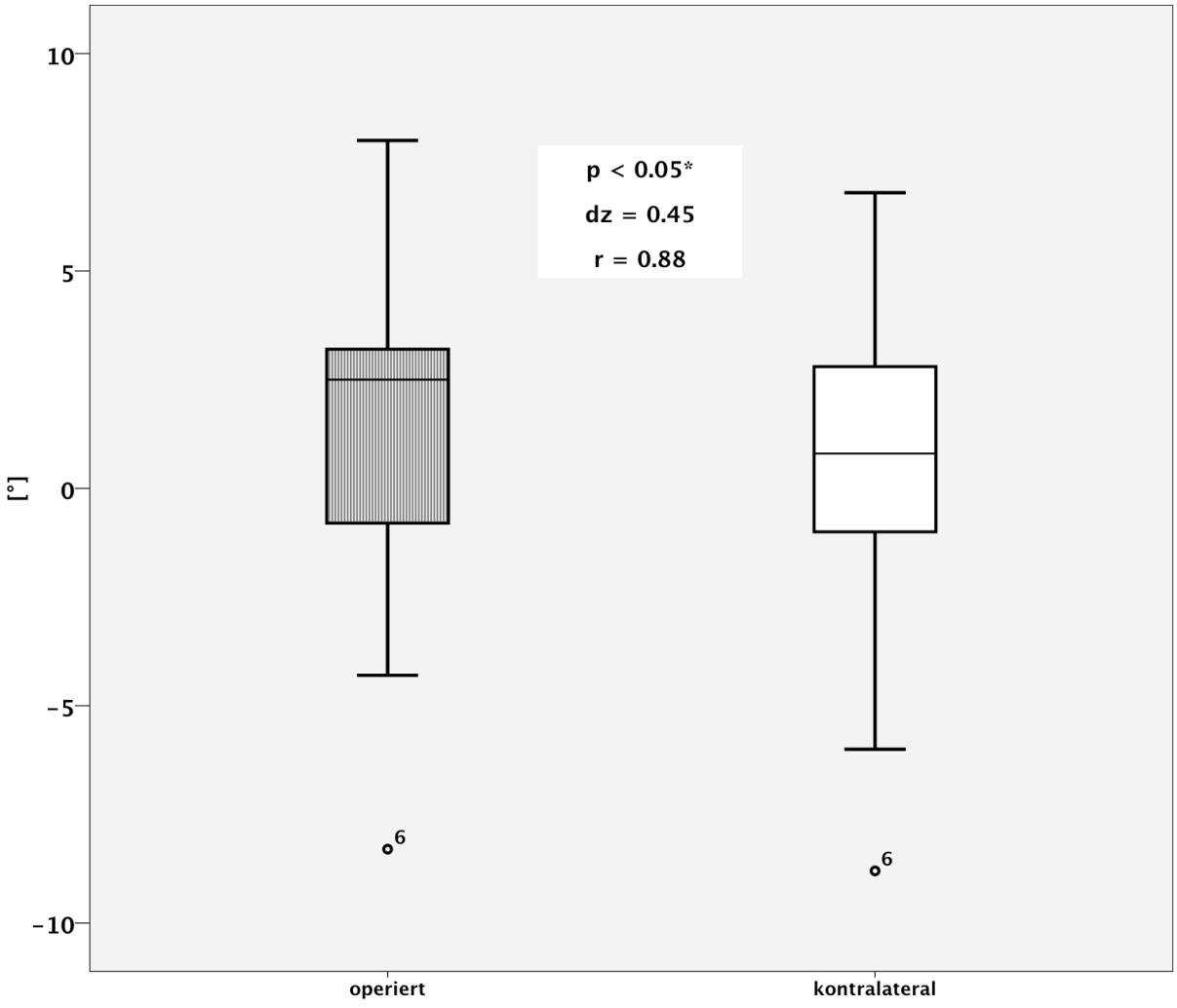


4.4.5 Ergebnisse Fotografische Beinachsenbestimmung

Ähnlich verhielt es sich auch mit den Werten für die Beinachsen. Zwar war auch hier ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Beinen erkennbar ($p < 0.05$, $dz = 0.45$), jedoch auch eine hohe Korrelation der Werte ($r = 0.879$) siehe Abbildung 4.6. Das operierte Bein

zeigte im Mittel ein valgisches Alignement von 1.2° (range -8.3 – 8.0, SD ± 3.3), die Gegenseite eines von im Schnitt 0.5° (range -8.8 – 6.8, SD ± 3.5). Es gab keine valgus oder varus Fehlstellung von mehr als 3° in 34 Patienten. Allerdings zeigten drei Patienten Malalignement (1 varisches, 2 valgische) zwischen 3° und 4.5°.

Abbildung 4.6: Beinachsenmessung im Seitenvergleich



4.4.6 Ergebnisse Einbein-Sprung-Test

Das Verhältnis der drei gesprungenen Weiten mit dem operierten Bein verglichen mit dem gesunden Bein erreichte ein Mittelwert von 0.97 (range 0.74 - 1.15; SD 0.08).

Kapitel 5

Diskussion

5.1 Diskussion der eigenen Ergebnisse im Überblick

Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine transphyseale VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik mit Hamstring Sehnen Transplantaten und metaphysärer Fixierung nicht vollständig einen stabilen Funktionszustand wie auf der gesunden Seite erreichen kann. Es stellten sich Defizite hinsichtlich der dynamischen Laxizität beim pivot-shift Test mit 17 positiven Fällen heraus. Auch bei der statischen Laxizitätsmessung mit dem KT 1000 in Neutralposition sowie in genormter Innen- und Außenrotation wurden Defizite beobachtet. Signifikante Seitenunterschiede konnten in Neutralposition und in Außenrotation festgestellt werden. Allerdings zeigten insgesamt nur 8 Patienten eine ATT höher als 3mm, wobei kein Patient aufgrund einer erhöhten ATT in den IKDC Gruppengrad C fiel.

Nichtsdestotrotz konnten in unserem Patientengut keine Wachstumsdeformitäten nach einer solchen VKB-Rekonstruktion mit meatphysärer Fixierung nachgewiesen werden. Eine Rückkehr zu high-impact Sportarten war bei 27 Patienten möglich, wobei insgesamt 35 Patienten angaben, dass ihre Sportfähigkeit im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Verletzung gleich geblieben sei.

5.2 Diskussion der Gründe für eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion

Als einen triftigen Grund für eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion beschreiben viele Autoren die potenzielle Gefahr von sekundären Gelenkschäden an Meniskus und Knorpel. *Mizuta et al.* untersuchten das klinische Outcome von 18 konservativ versorgten Kindern mit offenen Wachstumsfugen und intraligamentären VKB-Rupturen. Innerhalb von 36 Monaten mussten sechs dieser Patienten aufgrund von rezidivierenden giving-way Phänomenen mit einer VKB-Rekonstruktion versorgt werden. Fünf davon hatten intraoperativ einen sekundären Meniskusschaden. Der mittlere Lysholm Score bei den 18 nachuntersuchten Patienten betrug lediglich 64.3 Punkte bei einem Durchschnitts follow-up von 51 Monaten. Insgesamt

war nur ein Patient in der Lage zu seinem Sportlevel von vor der Verletzung zurückzukehren [Mizuta u. a. (1995)]. *Lawrence et al.* verglichen eine Gruppe mit 40 jungen Patienten, die innerhalb von 12 Wochen mit einer VKB-Rekonstruktion versorgt wurden mit einer anderen Gruppe mit 29 Patienten, bei der die OP später erfolgte. Das Risiko für eine Innenmeniskusläsion war viermal höher in der Gruppe mit der verzögerten Intervention. Noch höher war das Risiko (11mal so hoch), wenn sich die Patienten selbst subjektiv instabil fühlten. Zudem wurden 11mal höhere Inzidenzen für Außenmeniskusläsionen und 3mal höhere für retropatelläre Knorpelschäden beobachtet bei einer OP über die zwölfte Woche hinaus [Lawrence, Argawal und Ganley (2011)]. Ähnlich hierzu stellten *Millett et al.* eine höhere Inzidenz von medialen Meniskusschäden bei Patienten fest, die eine VKB-Rekonstruktion später als sechs Wochen nach ihrem initialen Trauma erhielten (36% vs. 11%) [Millett, Willis und Warren (2002)]. Nur *Woods et al.* konnten, verglichen mit einer jungen Erwachsenengruppe, keine höhere Rate an sekundären Begleitläsionen bei einer Gruppe feststellen, bei der die VKB-Rekonstruktion bis zum Wachstumsabschluss aufgeschoben wurde. Der entscheidende Faktor hierbei war ein striktes konservatives Vorgehen mit Hartrahmenorthese und ein absolutes Teilnahmeverbot im Teamsport. Dafür war eine hohe Compliance essentiell notwendig [Woods und O'Connor (2004)]. Wie unsere klinische Erfahrung zeigte, war bei unserem Patientengut ein solch restriktives Vorgehen, aufgrund der hohen sportlichen Erwartungshaltung seitens der Patienten und ihrer Eltern nicht möglich.

5.3 Diskussion der Gründe gegen eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion

Die Angst vor Wachstumsstörungen durch Verletzungen an den Epiphysenfugen bei transphysealer VKB-Rekonstruktion ist begründet. Allerdings sind die bisher berichteten Fälle von Wachstumsveränderungen auf operative Defizite mit Hardwarematerial auf Höhe der Wachstumsfugen zurückzuführen[Chotel u. a. (2010); Robert und Casin (2010); Kocher u. a. (2002); Yoo, Kocher und Micheli (2011)].

Bei hohem Risiko für sekundäre Gelenkschädigungen mit Meniskus und Knorpelschäden auf der einen Seite und bei relativ geringem Risiko für Wachstumsstörungen auf der anderen Seite, favorisieren wir eine zeitnahe VKB-Rekonstruktion transphyseal mit metaphysärer Fixierung ohne Aufschub bis zum Wachstumsabschluss.

5.4 Diskussion von Material und Methoden

Wie aus unserem Patientengut ersichtlich ist, war die Zeitspanne zwischen operativer Intervention und Verletzung mit 4.2 Monaten recht hoch. Ein Grund hierfür könnte darin liegen, dass in vielen Fällen aus Unwissen über die Möglichkeiten extern eine VKB-Rekonstruktion nicht in Betracht gezogen wurde. So berichteten unsere Patienten häufig über einen langen Weg der Diagnose- und Therapiefindung, bevor sie bei uns vorstellig wurden. Ob nun die

hohe Anzahl der Meniskusläsionen, 21 von 42, in unserem Patientengut durch das initiale Trauma verursacht wurden oder erst sekundär im Verlauf entstanden sind, bleibt unklar.

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns war es uns nicht möglich die Patienten nachträglich Skelettalter nach der Tanner-Whitehouse-Klassifikation zu bestimmen[Medicus, Grøn und Moorrees (1971)]. Für die Selektion unserer Patienten war vielmehr das Knorpelsignal im präoperativen MRT und somit das von den Fugen ausgehende, potenzielle Restwachstum entscheidend [Prince, Laor und Bean (2005)].

Inversen et al. zweifelten 2007 die Validität des von uns hier verwendeten subjektiven IKDC-Scores zur Anwendung bei Heranwachsenden an. Kinder würden Begriffe wie „pivotieren“, „giving way“ oder „locking“ nicht verstehen. Darüber hinaus sei eine rückwirkende zeitliche Auflösung „in den letzten 4 Wochen“ nicht überblickbar. Ebenfalls würde eine Rating Skala mit 10 Unterteilungen die Entscheidung für eine Abstufung schwieriger gestalten [Iversen u. a. (2010)]. Aus diesen Überlegungen ist ein spezieller Fragebogen für Kinder, der Pedi-IKDC 2000 entstanden [Kocher u. a. (2011)]. Nach unserer Meinung kann der herkömmliche IKDC-Score sehr wohl im Beisein der Eltern suffizient ausgefüllt werden. Eventuelle offene Fragen wurden durch den Betreuer der Studie zum Follow-Up ohne suggestive Fragen erläutert.

5.5 Diskussion der Ergebnisse

5.5.1 Diskussion der Ergebnisse der allgemeinen Scores

Die allgemeine Zufriedenheit unserer Patienten zum follow-up war überzeugend. Die Signifikante Schmerzreduktion und die positiven Ergebnisse im subjektiven IKDC-Score mit im Mittel 92.9 Punkten und im Lysholm-Score mit 93.9 Punkten unterstreichen dies. Diese Ergebnisse sind mit derzeitiger Literatur vergleichbar, z.B. fanden *Hui et al.* einen Lysholm Score von 97 Punkten und einen subjektiven IKDC-Score von 96 Punkten in ihrem Patientengut. Hier wurde eine Gruppe von 16 kindlichen Patienten mit einem Mindest-follow-up von 25 Monaten nachuntersucht [Hui u. a. (2012)]. Ähnliche Ergebnisse fanden *Cohen et al.*, die in einer Gruppe von 26 Patienten eine mittlere Punktzahl im IKDC-Score von 91.5 $\pm$ 5.7 und im Lysholm-Score von 93.5 $\pm$ 4 fanden. Ebenfalls berichteten sie, wie wir, über drei Rerupturen [Cohen u. a. (2009)].

5.5.2 Diskussion der Ergebnisse der Sportfähigkeit Scores

Wir beobachteten eine signifikante Reduktion mit mittlerem statistischem Effekt im Tegner-Aktivitäts-Index von 7.8 vor der Verletzung auf 7.2 zum follow-up. Zusätzlich bemerkten wir eine geringe Minderung der wöchentlichen Dauer der sportlichen Aktivität von initial 6.2 Stunden auf 5.8 Stunden ohne statistische Signifikanz. Hierbei waren vor der Verletzung 70% der Patienten im Wettkampfsport tätig und zum follow-up 57%. Doch bei Betrachtung des Sportaktivitätsfragebogen fanden wir, dass 35 Kinder angaben, dass ihre Sportfähigkeit im Vergleich zum Niveau vor der Verletzung mindestens gleich geblieben sei. Damit

einhergehend zeigte die Activity-Rating-Scale im Verlauf keinen signifikanten Unterschied, was die Ausübung von Knie beanspruchenden Bewegungen angeht. Demnach beobachteten wir eine Diskrepanz zu dem, was die Patienten dachten leisten zu können und was sie tatsächlich leisteten. Ein möglicher Grund hierfür könnte das wesentlich kürzere follow-up der Patienten, die noch nicht zu ihrem Sportniveau von vor der Verletzung zurückkehrten, sein.

Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen war bei *Moksens et al.*, die eine konservative Therapie mit Muskelaufbau bis zum Wachstumsabschluss veranschlagten, eine signifikante Reduktion des Sportniveaus der Patienten nach zwei Jahren follow-up ersichtlich [Moksnes, Engebretsen und Risberg (2012)].

2011 konnten Ardern et al. in einer Meta-Analyse herausfinden, dass nach 12 Monaten nur 33% der beobachteten Patienten mit VKB-Rekonstruktion allen Alters zum Wettkampfsport zurückfinden. Weitere 33% würden nur trainieren und/oder gemäßigten Wettkampfsport betreiben. Sie fassten andere Studien zusammen, bei denen 64% wieder zum Wettkampfsport zurückfanden [Ardern u. a. (2011)]. Nach unserem Follow-Up von 24,9 ± 11,4 Monaten kehrten von unseren jungen Patienten vergleichbare 57% zum Wettkampfsport zurück. *Smith et al.* hingegen berichteten über 81% aus ihrem im Schnitt 21 Jahre alten Patientengut, bei denen nach 12 Monaten Wettkampfsport wieder möglich war [Smith u. a. (2004)].

Feller et al. beschrieben, dass die Rückkehr zum präoperativen Leistungsniveau durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Einen großen Einfluss stellt die OP selbst dar. Entscheidend hierbei ist v.a. eine anatomisch korrekte Rekonstruktion. Als weitere wichtige Einflussfaktoren werden die Durchführung der rehabilitativen Maßnahmen und psychologische Faktoren genannt [Feller und Webster (2013)]. Besonders junge Patienten würden ihre Hobbys und Freizeitaktivitäten ändern, was auch ein Grund dafür sein könnte, dass eine Rückkehr zum präoperativ durchgeführten Sport nicht mehr angegeben wird. Darüber hinaus sollte die Angst vor einer erneuten Verletzung bei jungen Patienten nicht unterschätzt werden. Ebenso könnte die unterschiedliche Zeit des Follow-Ups ein Grund für eine Aktivitätsniveau Reduktion sein. Einige unserer Patienten fielen mit ihrem Nachuntersuchungszeitpunkt in eine Jahreszeit, in der ihr eigentlicher Sport noch nicht durchführbar war (z.B. Skifahren), die Patienten aber angaben, dass sie diesen zum Saisonauftakt wieder ausüben wollten. Andere Patienten hatten tatsächlich ein kurzes Follow-Up und gaben auch z.T. an noch unter ihrem ursprünglichen Niveau zu liegen.

Letztendlich können wir nicht zeigen, dass alle Patienten ihr ursprüngliches Niveau wieder erreichen. Jedoch glauben einige, es zu können. Allerdings sind high-impact Sportarten wie Fußball und Skifahren auch nach VKB-Rekonstruktion bei Kindern möglich.

5.5.3 Diskussion der Ergebnisse der objektiven Kniegelenksfunktion und Laxitätsmessung

Die Evaluation der Kniefunktion erfolgte anhand des Formblatts des IKDC 2000 zur objektiven Beurteilung der Kniefunktion. Dabei erreichten 28 Patienten Gruppengrad A oder

B (75,7%) und 9 Patienten Grad C. Drei davon wiesen als donor-site-morbidity eine Hypo- oder Dysästhesie im Innervationsgebiet des R. infrapatellaris auf. Bei zwei Patienten war die Hyperextensionsfähigkeit im Vergleich zur gesunden Seite vermindert. Weitere drei Patienten zeigten einen abnormalen pivot-shift Test und ein Patient hatte eine erhöhte Außenrotationsfähigkeit im Seitenvergleich.

Hinsichtlich des pivot-shift Tests kamen sonst 20 Patienten zu seitengleichen Verhältnissen, 14 zeigten ein Gleiten als einfach positiven Test und eben schon oben genannte drei Patienten wiesen einen abnormalen Test auf. Dies zeigt, dass eine residuelle dynamische Knie-Laxität bei 45.9% der Patienten noch vorhanden war. Bei Erwachsenen konnten *Aglietti et al.* bei nahezu einem Fünftel der Nachuntersuchten noch einen minimal positiven pivot-shift Test finden [Aglietti u. a. (2004)]. *Freedman et al.* fanden in einem Review bei 14% der VKB-Rekonstruktionen mit Hamstring-Sehnen noch ein Gleiten im pivot-shift [Freedman u. a. (2003)]. Unsere Ergebnisse liegen damit deutlich über den Vergleichswerten von Erwachsenen.

Der Lachman Test war in 31 Fällen normal und bei 6 Patienten fast normal, obwohl die Messungen des KT1000 eine gewisse statische Restlaxität zeigten. Die Ergebnisse dieser Studie sind jedoch vergleichbar zu denen, die von Erwachsenen mit wesentlich längerem Follow-Up berichtet werden. *Janssen et al.* fanden eine mittlere ATT von 2.3mm ± 2.9 bei einem 10 Jahres FU von 100 erwachsenen Patienten [Janssen u. a. (2012)].

In unserem Patientengut zeigte sich eine signifikante Seitendifferenz der ATT in Neutralposition und in Außenrotation. Jedoch waren lediglich 8 Patienten von einer Seitendifferenz größer als 3mm bei der KT1000 Messung betroffen und kein Patient wurde aufgrund der Knielaxitäts Testung in Gruppe C eingestuft. Unglücklicherweise wurde in anderen Studien die Knielaxität bei der KT1000 Messung durch eine manuell maximale Kraft erhoben, was unüblich ist [Redler u. a. (2012); Hui u. a. (2012)]. Für eine bessere Vergleichbarkeit sollten beide, die standardisierte Kraft von 134N (30lb) und die manuell maximale Kraft zur Messung der ATT appliziert werden. Aufgrund dessen ist ein Vergleich der ähnlichen Studien hinsichtlich der ATT schwierig. Jedoch fanden Streich et al. bei der ATT Messung mit 1.8mm ± 1.4 bei einer Spannweite zwischen -1mm - 5mm insgesamt vergleichbare Werte [Streich u. a. (2010)]

Wie *Mayr et al.* konnten wir keine signifikante Abweichung der Innenrotation mit genormt applizierter Kraft im Seitenvergleich finden [Mayr u. a. (2011)]. Die signifikant höhere Außenrotationsfähigkeit des operierten Beines könnte durch die mehr vertikal angelegten Kanäle femoral bedingt sein, Obwohl der Tunneleingang anatomisch angelegt ist, liegen die Transplantat Fasern in einer geraderen Richtung. Andere Gründe wie Seitenbandinstabilitäten oder Meniskusläsionen konnten bei den betroffenen Patienten nicht festgestellt werden. Nicht zuletzt ist das Vordere Kreuzband nicht nur der erste Widerstand gegen die ATT sondern auch gegen die Außenrotation der Tibia gegenüber dem Femur. Daher ist eine kleine Rotationslaxität bei den betroffenen Personen nicht weg zu diskutieren.

Die festgestellten Laxitäten in der Translation und in Kombination mit der Rotation sind letztlich im Seitenvergleich feststellbar und damit auch höher, als die ohnehin schon bestehende höhere physiologische Laxitäten der Kinder. Die klinische Erfahrung zeigt uns allerdings, dass diese residuelle dynamische und statische Knielaxität auch im Seitenver-

gleich bis zum Ende der Wachstumsperiode abnimmt. Dies ist jedoch mit zukünftigen Studien noch zu beweisen, die ein längeres Follow-Up mit mehreren Nachuntersuchungterminen im Verlauf aufweisen. Der Effekt der abnehmenden Laxität mit zunehmendem Alter könnte auf eine erhöhte Vorspannung des Transplantates während des Extremitätenwachstums zurückführbar sein. Die biomechanische Eigenschaften der Sehnentransplantate könnten dabei zum Einem dem Ligamentisierungsprozess und zum Anderen der Viskoelastizität unterliegen.[CicconeII u. a. (2006); Höher u. a. (2000); Mayr u. a. (2012)]. *Bollen et al.* fanden eine Längenzunahme der Transplantate bei 5 Patienten die im Mittel 17cm gewachsen waren, ohne eine Reduktion des Transplantaquerschnitts [Bollen u. a. (2008)]. Jedoch bedeutet länger nicht unbedingt straffer. Unsere klinische Erfahrung deckt sich auch mit derer, da auch sie zum Ende der Wachstumsphase stabilere Knieverhältnisse vorfinden. Eine prospektive Erhebung der anterioren tibialen Translation im Verlauf bis zum Wachstumsabschluss könnte diese Frage beantworten.

Trotz dieser gewissen Rotationslaxität scheinen die Kinder eine vergleichbare Belastung wie auf der Gegenseite ausüben zu können. Im Einbein-Sprung-Test lieferte einen Mittelwert von 0.97 (range 0.74 - 1.15; SD ± 0.08), wobei lediglich 7 Patienten unter einem Wert von 0.93 blieben. Diesen Wert stellten *Orishimo et al.* als Richtwert auf, in der Relation vom operierten Bein zum gesunden Bein. Eine vollständige Ergebnisgleichheit beim Einbein-Sprung-Test sei nicht zu erwarten, da man keine biomechanische Gleichheit zwischen zwei unterschiedlich benutzten Beinen erwarten könne [Orishimo u. a. (2010)]. Dieser Wert ist damit noch etwas kritischer als der von *Reinke et al.* mit 0.9 [Reinke u. a. (2011)].

5.5.4 Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich möglicher Wachstumsdeformitäten

Unsere Absicht war es zu zeigen, dass es bei einer transphysealen Rekonstruktion zu keinen Wachstumsdeformitäten im Verlauf kommt.

Obwohl die statistische Auswertung einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Beinlängen und -achsen im Seitenvergleich ergab, konnte eine hohe Korrelation der Werte beider Seiten beobachtet werden. Eine Beinlängendifferenz größer als 1 cm konnte nicht beobachtet werden. 3 Patienten zeigten ein Varus (1) oder Valgus (2)-Malalignement zwischen 3° und 4.5°. Demnach konnten wir zeigen, dass bei einem mittleren Zuwachs von 6.7cm ± 6.4 weder Beinlängendifferenzen oder größere Achsformitäten auftraten.

Wie *Schmitt et al.* verwendeten wir eine digital fotografische Bestimmung der Beinachsen. Mit zunehmendem BMI wird diese Messung ungenau [Schmitt u. a. (2008)]. Doch in unserem Patientengut zeigte sich ein durchschnittlicher BMI von 21.3 (range 16.2 - 28.7; SD ± 3.4). Ganzbein Röntgenaufnahmen wären sicherlich genauer, würden jedoch die Kinder einer erhöhten Strahlendosis aussetzen.

Somit konnten in unserem Patientengut keine größeren Wachstumsdeformitäten beobachtet werden.

Als Gründe für eventuelle Wachstumsdeformitäten würden sowohl ein verfrühter Fugenschluss, als auch eine beschleunigtes Wachstum durch einen Schaden an der Wachstumsfuge

in Frage kommen. Um einen strukturellen Schaden an der Wachstumsfuge zu verursachen bzw zu vermeiden, gilt es einige Aspekte zu berücksichtigen:

Hierzu gehören v.a. die Tunnelplatzierung und die Fixationstechnik. Einige Studien beschreiben, dass ein Volumenschaden der Wachstumsfugen größer als 7-10% zu Wachstumsdeformitäten führen kann. Nach *Shea et al.* ergibt ein femoraler Bohrkanal mit einem Durchmesser von 9mm einen Volumenschaden an der femoralen Epiphysenfuge von 5.4% ± 1.86 und von 3.76% ± 1.23 an der tibialen Fuge [Shea u. a. (2009)]. *Kercher et al.* fanden heraus, dass bei einer Erhöhung des Bohrkanal-Winkels der Volumenschaden der betroffenen Wachstumsfuge abnimmt, ca. 0.2% alle 5°. Eine größere Reduktion könnte allerdings durch eine Verringerung des Kanaldurchmessers erzielt werden, im Mittel 1.1% pro mm [Kercher u. a. (2009)]. Bei unseren Patienten wurde fast ausschließlich ein Bohrkanaldurchmesser von 7mm (range 5 - 9mm) gewählt. Der Bohrkanalwinkel wurde dabei so gewählt, dass die Kanäle eher vertikal die Fugen querten. Lediglich ein Patient erhielt Bohrkanäle mit einem Durchmesser von 9mm Größe. Insbesondere auch dieser zeigte keine Abweichungen des Längen- und Achsenwachstums zum follow-up.

Generell wurde während des Bohrens auf eine erhöhte Bohrerdrehzahl verzichtet, um einen möglichen thermischen Schaden an den Wachstumsfugen zu vermeiden.

Eine exzentrische Verletzung der Epiphysenfugen kann mehr zu einer axialen Deformierung führen als eine zentrale Schädigung [Robert und Casin (2010); Seil und Robert (2005)]. Daher ist die femorale Bohrkanalplatzierung, welche schon anatomische peripher gelegen ist, eine Herausforderung. Zusätzlich gilt es zu beachten, dass der durchschnittliche Abstand des femoralen Ansatzes des VKB von der femoralen Epiphysenfuge nur 2.92mm ± 0.68 entfernt ist [Behr, Potter und Paletta (2001)]. Nicht nur aus biomechanischer Sicht ist eine periphere Fugenschädigung gefährlich, sondern auch auch strukturell. Ein zu weit dorsal platzierter Bohrkanal kann die formgebenden Strukturen der Fuge verletzen. Zum einen die Ranvier Furche und zum Anderen den perichondralen Ring von LaCroix [Seil und Robert (2005); Ballock und O'Keefe (2003)]. Dies sollte insbesondere bei der femoralen Bohrkanalplatzierung beachtet werden. Eine Platzierung eher in Richtung des PL-Bündel Ursprungs könnte diese Gefahr reduzieren.

Ein weiterer Aspekt für mögliche Schäden der Wachstumsfuge ist der Kanal auf Höhe der Fuge selbst. Wird dieser offen gelassen oder mit Hardware z.B. einer Fixationsschraube gefüllt, kann dies ebenfalls zu Veränderungen des Wachstums führen. Meist wird eine vorzeitige Verknöcherung der Fuge an dieser Stelle beobachtet. Ein Überbrücken der Fugen mit Weichteilgewebe, insbesondere Sehnengewebe kann dieses Risiko deutlich senken, wie *Seil et al.* in einem Schafmodell zeigen konnten [Seil, Pape und Kohn (2008)]. Eine pressfit Füllung der Bohrkanäle und eine entsprechende Länge des Transplantates ist unseres Erachtens daher zu empfehlen.

Kapitel 6

Schlussfolgerungen

Diese Arbeit zeigt vielversprechende Ergebnisse nach einer zeitnahen transphysealen VKB-Rekonstruktion bei Kindern. Trotz gewisser Defizite hinsichtlich der objektiven Stabilität scheinen die jungen Patienten sich subjektiv stabil zu fühlen und können zum größten Teil ihrer sportlichen Aktivität wieder nachgehen, die sie vor der Verletzung ausgeübt hatten.

Das Risiko für Wachstumsveränderungen ist bei Beachten der Fugenbiologie mit den zu schonenden Strukturen an der Fugenperipherie sehr gering. In unserer Population zeigten sich keine tiefgreifenden Wachstumsveränderungen.

Mit insgesamt drei Rerupturen und einem erneuten Innen-Meniskusriss in unserem beschriebenen follow-up ist die Komplikationsrate vergleichbar mit der von Erwachsenen.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und dem Wissen um das erhöhte Risiko für Folgeschäden bei aufgeschobener VKB-Rekonstruktion mit entsprechendem sportlichen Ausfall für die jungen Patienten favorisieren wir eine zeitnahe transphyseale VKB-Rekonstruktion mit metaphysärer Fixierungstechnik.

Durch weitere Studien mit längerem follow-up sollte dieser Standpunkt allerdings noch bekräftigt und bestätigt werden.

Anhang A

Fragebogen Mappe

Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie
Klinikum rechts der Isar
der Technischen Universität München
Anstalt des öffentlichen Rechts
Abteilung für Sportorthopädie
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. A. B. Imhoff

Liebe Patientin, lieber Patient,
sehr geehrte Eltern,

es folgen nun sieben verschieden Fragebögen, die wir Sie höflichst bitten, nach bestem Wissen auszufüllen:

1. Allgemeine Fragen
2. Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
3. Visuelle Analogskala (VAS) a) vor der OP b) derzeit
4. Lysholm - allgemeiner Kniefragebogen - derzeit
5. Sportaktivitätsfragebogen
6. Acitivity Scale a) vor der OP b) derzeit
7. Tegner Aktivitätsindex a) vor der OP b) derzeit

Bitte lesen Sie die folgenden Fragen genau durch und kreuzen Sie bitte das jeweils Zutreffende an.

Bei Fragen steht Ihnen unter der 0176/6190 5781 unser betreuende Doktorand Herr Holwein zur Verfügung.

1. ALLGEMEINE FRAGEN

Wurden Sie nach der Knie-Operation an unserer Abteilung oder woanders nochmals am Knie operiert?

Ja ☐ Nein ☐

Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis der Operation an Ihrem Kniegelenk?

Sehr zufrieden ☐ Zufrieden ☐ Bedingt zufrieden ☐ Unzufrieden ☐

Haben Sie aktuell Schmerzen im Knie?

Ja, starke Schmerzen ☐ Ja, mässige Schmerzen ☐

Ja, gelegentlich leichte Schmerzen ☐ Keine Schmerzen ☐

Nehmen Sie zurzeit Schmerzmedikamente wegen des Knies?

Ja, regelmässig ☐ Ja, bei Bedarf ☐ Nein ☐

Wenn Sie Sport treiben, müssen Sie dann zur Durchführung Schmerzmedikamente nehmen?

Ja, regelmässig ☐ Ja, bei Bedarf ☐ Nein ☐

Würden Sie sich in der Form nochmals operieren lassen?

Ja ☐ Nein ☐

2. FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES

Name:

Heutiges Datum:

Datum der Verletzung :

SYMPTOME*:
Wählen Sie zur Beurteilung der Symptome die höchste Aktivitätsstufe, die Sie Ihrer Meinung nach ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben.

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

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

2. **Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?**
   Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (Nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (ständig Schmerzen).

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

3. **Wie stark sind Ihre Schmerzen?**
   Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht mit zunehmender Stärke der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

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

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

   ☐ überhaupt nicht
   ☐ etwas
   ☐ ziemlich
   ☐ sehr
   ☐ extrem

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

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

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

   - ☐ Ja
   - ☐ Nein

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

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

SPORTLICHE BETÄTIGUNG:

8. **Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?**
   - ☐ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
   - ☐ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
   - ☐ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
   - ☐ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
   - ☐ Ich kann aufgrund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

		überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmöglich
a)	Treppensteigen	☐	☐	☐	☐	☐
b)	Treppen hinuntergehen	☐	☐	☐	☐	☐
c)	auf dem vorderen Knie knien	☐	☐	☐	☐	☐
d)	Hockstellung	☐	☐	☐	☐	☐
e)	normal sitzen	☐	☐	☐	☐	☐
f)	vom Stuhl aufstehen	☐	☐	☐	☐	☐
g)	geradeaus laufen	☐	☐	☐	☐	☐
h)	hochspringen und auf dem betroffenen Bein landen	☐	☐	☐	☐	☐
i)	beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportler/in sind) schnell anhalten und starten	☐	☐	☐	☐	☐

FUNKTION:

10. Wie würden Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Knies auf einer Skala von 0 bis 10 beurteilen, wobei 10 eine normale und ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bezeichnet und 0 die Unfähigkeit, irgendeine Ihrer normalen täglichen Aktivitäten, darunter möglicherweise auch Sport, auszuführen?

FUNKTIONSFÄHIGKEIT VOR DER KNIEVERLETZUNG:

kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	0 ☐	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐	7 ☐	8 ☐	9 ☐	10 ☐	keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten

DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES:

kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	0 ☐	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐	7 ☐	8 ☐	9 ☐	10 ☐	keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten

IKDC-Ergebnis = ---------- x 100

IKDC-Ergebnis =

3. VAS (Visuelle Analog Skala)

Wie beurteilen Sie den Schmerz (falls vorhanden) im operierten Kniegelenk auf der unten angegebenen Skala vor der OP a) und zum jetzigen Zeitpunkt b)? Bitte auf der Skala entsprechend ankreuzen.

a) unmittelbar vor der Operation

kein Schmerz **unerträglicher Schmerz**

b) derzeit

kein Schmerz **unerträglicher Schmerz**

Ergebnis:

4. Lysholm-Kniefragebogen

Dieser Fragebogen bezieht sich auf Ihre **aktuelle Situation!**

Hinken

- ☐ niemals
- ☐ leicht oder periodisch
- ☐ stark oder permanent

Treppen steigen

- ☐ ohne Probleme
- ☐ mit leichter Beeinträchtigung
- ☐ nur Schritt für Schritt
- ☐ überhaupt nicht, ist unmöglich

Gefühl der Instabilität

- ☐ nie
- ☐ mäßig beim Sport oder anderer starker Belastung
- ☐ häufig beim Sport oder anderer starker Belastung
- ☐ gelegentlich bei täglichen Aktivitäten
- ☐ häufig bei täglichen Aktivitäten
- ☐ bei jedem Schritt

Schwellung

- ☐ nie
- ☐ gelegentlich
- ☐ bei starker Beanspruchung
- ☐ bei leichter Beanspruchung
- ☐ permanent

Belastung

- ☐ uneingeschränkt möglich
- ☐ ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich
- ☐ ist überhaupt nicht möglich

In die Hocke gehen

- ☐ ohne Probleme
- ☐ mit leichter Beeinträchtigung
- ☐ nicht über 90° im Kniegelenk
- ☐ überhaupt nicht, ist unmöglich

Schmerzen

- ☐ nie
- ☐ unkonstant und leicht bei starker Belastung
- ☐ beim Wegknicken des Beines
- ☐ bei starker Beanspruchung
- ☐ bei Spaziergängen von 2km und mehr
- ☐ bereits bei Spaziergängen von weniger als 2km
- ☐ permanent und stark

Blockierung

- ☐ keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung
- ☐ Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung
- ☐ gelegentliche Blockierung
- ☐ häufige Blockierung
- ☐ blockiertes Gelenk bei Untersuchung

5. Sportaktivitäts-Fragebogen

1) **Bitte geben Sie die Sportarten bzw. Aktivitäten an, die Sie regelmässig vor der Operation ausgeübt haben bzw. derzeit ausüben. Beachten Sie bitte Folgendes:**

Life-Time **bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie irgendwann im Leben für eine gewisse Zeit regelmässig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie nie eine Sportart regelmässig ausgeübt haben.

Jahr vor OP **bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie im letzten Jahr vor der Operation regelmässig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmässig ausgeübt haben.

Aktuell **bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie jetzt / zurzeit regelmässig ausüben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmässig ausüben.

Saisonsportarten (z. B. Langlauf, Skifahren, Golf, usw.) sind auf die jeweilige Saison (z. B. Winter) zu beziehen.

	Life-Time	Jahr vor OP	Aktuell
Nordic Walking	☐	☐	☐
Jogging	☐	☐	☐
Inline Skating	☐	☐	☐
Bergwandern	☐	☐	☐
Bergsteigen/Klettern	☐	☐	☐
Radfahren	☐	☐	☐
Mountainbiking	☐	☐	☐
Schwimmen	☐	☐	☐
Fitness-/Krafttraining	☐	☐	☐
Aerobic	☐	☐	☐
Gymnastik/Turnen	☐	☐	☐
Aqua Fit	☐	☐	☐

Alpin Ski			
Langlauf			
Snowboard			
Eishockey			
Eislauf			
Golf			
Tennis Einzel			
Tennis Doppel			
Tischtennis			
Badminton			
Fussball			
Handball			
Basketball			
Volleyball			
Kampfsport			
Reiten			
Tanzen			
Segeln			
Wasserski			
Rudern			

2) Auf welchem Niveau üben Sie Sport aus bzw. haben Sie Sport ausgeübt?

	Life-Time	Jahr vor OP	Aktuell
Freizeitmässig	☐	☐	☐
Wettkampfmässig	☐	☐	☐
Leistungsmässig	☐	☐	☐
Hochleistungsmässig	☐	☐	☐

3) Wie oft in der Woche sind Sie sportlich aktiv?

Ich betreibe keinen Sport ☐

<1x ☐

1x ☐ 2x ☐ 3x ☐ 4x ☐ 5x ☐ 6x ☐ tägl ☐

4) Wie oft in der Woche waren Sie im letzten Jahr vor der Kreuzbandoperation sportlich aktiv?

Ich betrieb keinen Sport ☐

<1x ☐

1x ☐ 2x ☐ 3x ☐ 4x ☐ 5x ☐ 6x ☐ tägl ☐

5) Wie viele Stunden pro Woche sind Sie sportlich aktiv? ☐

6) Wie viele Stunden pro Woche waren Sie im letzten Jahr vor der Kreuzbandoperation sportlich aktiv? ☐

7) Haben Sie sich seit der Kreuzbandoperation während des Ausübens einer Sportart schon einmal eine Verletzung zugezogen oder sind gestürzt?

Nein ☐

Ja ☐

Wenn ja, wie oft insgesamt? Was ist bei welchem Sport passiert?

---

8) Hat die Operation Ihre Sportfähigkeit im Vergleich zum Jahr vor der Operation verändert?

Stark verschlechtert ☐
Verschlechtert ☐
Unverändert ☐
Verbessert ☐
Stark Verbessert ☐

6.a) Activity Rating Scale → vor der Operation

Bitte geben Sie an wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand **im Jahr vor der Operation** ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

	Weniger als einmal im Monat	**Einmal im Monat**	**Einmal in der Woche**	**Zwei- bis dreimal in der Woche**	**Viermal in der Woche oder öfters**
Laufen/Rennen: Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging					
Schnelle Richtungs-wechsel: Schnelle Richtungswechsel beim Laufen					
Abbremsen: Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen					
Drehen/Schwenken: Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Ski-fahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.)					

6.b) Activity Rating Scale → derzeit

Bitte geben Sie an wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand **in den letzten Wochen** ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

	Weniger als einmal im Monat	**Einmal im Monat**	**Einmal in der Woche**	**Zwei- bis dreimal in der Woche**	**Viermal in der Woche oder öfters**
Laufen/Rennen: Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging					
Schnelle Richtungs-wechsel: Schnelle Richtungswechsel beim Laufen					
Abbremsen: Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen					
Drehen/Schwenken: Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Ski-fahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.)					

7.a) Tegner Aktivitäts-Index → vor der Operation

Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die *höchste* Stufe an, in die Sie sich **im Jahr vor der Operation** einordnen konnten.

10.	☐	**Wettkampfsport**	Fussball, nationale und internationale Elite
9.	☐	**Wettkampfsport**	Fussball, niedrigere Ligen; Eishockey
			Ringen oder Kampfsport, Gymnastik
8.	☐	**Wettkampfsport**	Squash oder Badminton, Alpin Ski
			Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
7.	☐	**Wettkampfsport**	Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen)
			Motorcross, Handball, Basketball
	☐	**Freizeitsport**	Fussball, Eishockey
			Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
6.	☐	**Freizeitsport**	Tennis, Badminton
			Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motorcross
			Handball, Basketball
			Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche), Alpin Ski
5.	☐	**Arbeit/Beruf**	Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)
	☐	**Wettkampfsport**	Velo oder Mountainbike oder Langlauf
	☐	**Freizeitsport**	Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
4.	☐	**Arbeit/Beruf**	Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)
	☐	**Freizeitsport**	Rad oder Mountainbike, Langlauf
			Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
3.	☐	**Arbeit/Beruf**	Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)
	☐	**Wettkampf- oder Freizeitsport**	Schwimmen
	☐	**Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich**	
2.	☐	**Arbeit/Beruf**	Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen undTreppensteigen)
	☐	**Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge**	
1.	☐	**Arbeit/Beruf**	Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)
	☐	**Gehen auf ebenem Untergrund möglich**	
0.	☐	**Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden**	

7.b) Tegner Aktivitäts-Index → derzeit

Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die *höchste* Stufe an, in die Sie sich **derzeit** einordnen können.

10.	☐	**Wettkampfsport**	Fussball, nationale und internationale Elite
9.	☐	**Wettkampfsport**	Fussball, niedrigere Ligen; Eishockey
			Ringen oder Kampfsport, Gymnastik
8.	☐	**Wettkampfsport**	Squash oder Badminton, Alpin Ski
			Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
7.	☐	**Wettkampfsport**	Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen)
			Motorcross, Handball, Basketball
	☐	**Freizeitsport**	Fussball, Eishockey
			Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
6.	☐	**Freizeitsport**	Tennis, Badminton
			Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motorcross
			Handball, Basketball
			Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche), Alpin Ski
5.	☐	**Arbeit/Beruf**	Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)
	☐	**Wettkampfsport**	Velo oder Mountainbike oder Langlauf
	☐	**Freizeitsport**	Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
4.	☐	**Arbeit/Beruf**	Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)
	☐	**Freizeitsport**	Rad oder Mountainbike, Langlauf
			Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
3.	☐	**Arbeit/Beruf**	Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)
	☐	**Wettkampf- oder Freizeitsport**	Schwimmen
	☐	**Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich**	
2.	☐	**Arbeit/Beruf**	Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)
	☐	**Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge**	
1.	☐	**Arbeit/Beruf**	Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)
	☐	**Gehen auf ebenem Untergrund möglich**	
0.	☐	**Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden**	

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Literatur

Aglietti, Paolo, Francesco Giron, Roberto Buzzi, Flavio Biddau und Francesco Sasso (2004). „Anterior cruciate ligament reconstruction: Bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon graftsA prospective, randomized clinical trial“. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 86.10, S. 2143–2155.

Aitken, Robert C (1969). „Measurement of feelings using visual analogue scales.“ In: *Proceedings of the royal society of medicine* 62.10, S. 989.

Anderson, Allen F und A Brant Lipscomb (1989). „Preoperative instrumented testing of anterior and posterior knee laxity“. In: *The American journal of sports medicine* 17.3, S. 387–392.

Arazi, Mehmet, Tunç C Ögün und Recep Memik (2001). „Normal development of the tibiofemoral angle in children: a clinical study of 590 normal subjects from 3 to 17 years of age“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 21.2, S. 264–267.

Ardern, Clare L, Kate E Webster, Nicholas F Taylor und Julian A Feller (2011). „Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play“. In: *British journal of sports medicine* 45.7, S. 596–606.

Ballock, R Tracy und Regis J O'Keefe (2003). „The biology of the growth plate“. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 85.4, S. 715–726.

Baxter, Maureen P (1988). „Assessment of normal pediatric knee ligament laxity using the genucom“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 8.5, S. 546–550.

Beattie, Paul, Kale Isaacson, Dan L Riddle und Jules M Rothstein (1990). „Validity of derived measurements of leg-length differences obtained by use of a tape measure“. In: *Physical therapy* 70.3, S. 150–157.

Behr, Christopher T, Hollis G Potter und George A Paletta (2001). „The Relationship of the Femoral Origin of the Anterior Cruciate Ligament and the Distal Femoral Physeal Plate in the Skeletally Immature Knee An Anatomic Study“. In: *The American journal of sports medicine* 29.6, S. 781–787.

Bernard, M und P Hertel (1996). „Die intraoperative und postoperative Insertionskontrolle bei vorderen Kreuzbandplastiken: Ein radiologisches Messverfahren (Quadrantenmethode)“. In: *Der Unfallchirurg* 99.5, S. 332–340.

Bollen, S, F Pease, A Ehrenraich, S Church, J Skinner und A Williams (2008). „Changes in the four-strand hamstring graft in anterior cruciate ligament reconstruction in the

skeletally-immature knee“. In: *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 90.4, S. 455–459.

Briggs, Karen K, Jack Lysholm, Yelverton Tegner, William G Rodkey, Mininder S Kocher und J Richard Steadman (2009). „The Reliability, Validity, and Responsiveness of the Lysholm Score and Tegner Activity Scale for Anterior Cruciate Ligament Injuries of the Knee 25 Years Later“. In: *The American journal of sports medicine* 37.5, S. 890–897.

Cahuzac, JP, D Vardon und J Sales de Gauzy (1995). „Development of the clinical tibiofemoral angle in normal adolescents. A study of 427 normal subjects from 10 to 16 years of age“. In: *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 77.5, S. 729–732.

Chotel, Franck, Julien Henry, Romain Seil, Julien Chouteau, Bernard Moyen und Jérôme Bérard (2010). „Growth disturbances without growth arrest after ACL reconstruction in children“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18.11, S. 1496–1500.

CicconeII, William J, Derek R Bratton, David M Weinstein und John J Elias (2006). „Viscoelasticity and temperature variations decrease tension and stiffness of hamstring tendon grafts following anterior cruciate ligament reconstruction“. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 88.5, S. 1071–1078.

Cohen, Moises, Mario Ferretti, Marcelo Quarteiro, Frank B Marcondes, João PB de Hollanda, Joicemar T Amaro und Rene J Abdalla (2009). „Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 25.8, S. 831–838.

Domzalski, Marcin, Piotr Grzelak und Peter Gabos (2010). „Risk factors for Anterior Cruciate Ligament injury in skeletally immature patients: analysis of intercondylar notch width using Magnetic Resonance Imaging“. In: *International orthopaedics* 34.5, S. 703–707.

Emons, Joyce, Andrei S Chagin, Torun Malmlöf, Magnus Lekman, Åsa Tivesten, Claes Ohlsson, Jan M Wit, Marcel Karperien und Lars Sävendahl (2010). „Expression of vascular endothelial growth factor in the growth plate is stimulated by estradiol and increases during pubertal development“. In: *Journal of Endocrinology* 205.1, S. 61–68.

Feller, Julian und Kate E Webster (2013). „Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction“. In: *International orthopaedics* 37.2, S. 285–290.

Freedman, Kevin B, Michael J D'Amato, David D Nedeff, Ari Kaz und Bernard R Bach (2003). „Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction A metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts“. In: *The American Journal of Sports Medicine* 31.1, S. 2–11.

Graf, Ben K, Richard H Lange, C Keith Fujisaki, Gregory L Landry und RK Saluja (1992). „Anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: meniscal pathology at presentation and after attempted conservative treatment“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 8.2, S. 229–233.

Hayes, MHS und DG Patterson (1921). „Experimental development of the graphic rating method“. In: *Psychological Bulletin* 18, S. 98–99.

Higgins, Laurence D, Marcus K Taylor, Daniel Park, Neil Ghodadra, Milford Marchant, Ricardo Pietrobon und Chad Cook (2007). „Reliability and validity of the International

Knee Documentation Committee (IKDC) subjective knee form“. In: *Joint Bone Spine* 74.6, S. 594–599.

Höher, Jürgen, Sven U Scheffler, John D Withrow, Glen A Livesay, Richard E Debski, Freddie H Fu und Savio L-Y Woo (2000). „Mechanical behavior of two hamstring graft constructs for reconstruction of the anterior cruciate ligament“. In: *Journal of Orthopaedic Research* 18.3, S. 456–461.

Hui, Catherine, Justin Roe, Duncan Ferguson, Alison Waller, Lucy Salmon und Leo Pinczewski (2012). „Outcome of anatomic transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in Tanner stage 1 and 2 patients with open physes“. In: *The American journal of sports medicine* 40.5, S. 1093–1098.

Iriuchishima, Takanori, Keinosuke Ryu, Hiroshi Yorifuji, Shin Aizawa und Freddie H Fu (2013). „Commonly used ACL autograft areas do not correlate with the size of the ACL footprint or the femoral condyle“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, S. 1–7.

Iversen, MD, B Lee, P Connell, J Andersen, AF Anderson und MS Kocher (2010). „Validity and comprehensibility of the international knee documentation committee subjective knee evaluation form in children“. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 20.1, e87–e95.

Janssen, Rob PA, Arthur WF du Mée, Juliette van Valkenburg, Harm AGM Sala und Carroll M Tseng (2012). „Anterior cruciate ligament reconstruction with 4-strand hamstring autograft and accelerated rehabilitation: a 10-year prospective study on clinical results, knee osteoarthritis and its predictors“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, S. 1–12.

Kepler, C, H Potter, DW Green und S Hammoud (2011 Feb 16-19; San Diego, CA). „Intercondylar notch dimensions and growth patterns in young pediatric patients“. In: *Presented at the Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.*

Kercher, Jim, John Xerogeanes, Allen Tannenbaum, Ramsey Al-Hakim, James C Black und John Zhao (2009). „Anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: an anatomical study utilizing 3-dimensional magnetic resonance imaging reconstructions“. In: *Journal of pediatric orthopedics* 29.2, S. 124.

Kocher, Mininder S, Hillary S Saxon, W David Hovis und Richard J Hawkins (2002). „Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and The ACL Study Group“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 22.4, S. 452–457.

Kocher, Mininder S, Rahul Mandiga, Kevin Klingele, Louis Bley und Lyle J Micheli (2004). „Anterior cruciate ligament injury versus tibial spine fracture in the skeletally immature knee: a comparison of skeletal maturation and notch width index“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 24.2, S. 185–188.

Kocher, Mininder S, Jeremy T Smith, Maura D Iversen, Katherine Brustowicz, Olabode Ogunwole, Jason Andersen, Won Joon Yoo, Eric D McFeely, Allen F Anderson und David Zurakowski (2011). „Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in

children with knee disorders“. In: *The American journal of sports medicine* 39.5, S. 933–939.

Kopf, S, C Stärke, R Meller und PD Dr R Becker (2009). „Transplantatverhalten bei offenen Wachstumsfugen“. In: *Arthroskopie* 22.1, S. 45–50.

Lawrence, J Todd R, Nina Argawal und Theodore J Ganley (2011). „Degeneration of the Knee Joint in Skeletally Immature Patients With a Diagnosis of an Anterior Cruciate Ligament Tear Is There Harm in Delay of Treatment?“ In: *The American journal of sports medicine* 39.12, S. 2582–2587.

Lysholm, Jack und Jan Gillquist (1982). „Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale“. In: *The American Journal of Sports Medicine* 10.3, S. 150–154.

Marx, Robert G, Timothy J Stump, Edward C Jones, Thomas L Wickiewicz und Russell F Warren (2001). „Development and evaluation of an activity rating scale for disorders of the knee“. In: *The American journal of sports medicine* 29.2, S. 213–218.

Mayr, Hermann O, Anna Hoell, Anke Bernstein, Robert Hube, Claudius Zeiler, Thomas Kalteis, Norbert P Suedkamp und Amelie Stoehr (2011). „Validation of a measurement device for instrumented quantification of anterior translation and rotational assessment of the knee“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 27.8, S. 1096–1104.

Mayr, Hermann O, Amelie Stoehr, Markwart Dietrich, Rüdiger von Eisenhart-Rothe, Robert Hube, Senta Senger, Norbert P Suedkamp und Anke Bernstein (2012). „Graft-dependent differences in the ligamentization process of anterior cruciate ligament grafts in a sheep trial“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 20.5, S. 947–956.

Medicus, Hildegard, Anna-Marie Grøn und Coenraad FA Moorrees (1971). „Reproducibility of rating stages of osseous development.(Tanner-Whitehouse system)“. In: *American journal of physical anthropology* 35.3, S. 359–371.

Millett, Peter J, Andrew A Willis und Russell F Warren (2002). „Associated injuries in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament tears: does a delay in treatment increase the risk of meniscal tear?“ In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 18.9, S. 955–959.

Mizuta, H, K Kubota, M Shiraishi, Y Otsuka, N Nagamoto und K Takagi (1995). „The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients“. In: *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 77.6, S. 890–894.

Moksnes, Håvard, Lars Engebretsen und May Arna Risberg (2012). „The Current Evidence for Treatment of ACL Injuries in Children Is LowA Systematic Review“. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 94.12, S. 1112–1119.

Moksnes, Håvard, Lars Engebretsen, Ingrid Eitzen und May Arna Risberg (2013). „Functional outcomes following a non-operative treatment algorithm for anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature children 12 years and younger. A prospective cohort with 2 years follow-up“. In: *British journal of sports medicine* 47.8, S. 488–494.

Naal, Florian D, Michael Fischer, Alexander Preuss, Joerg Goldhahn, Fabian von Knoch, Stefan Preiss, Urs Munzinger und Tomas Drobny (2007). „Return to sports and recrea-

tional activity after unicompartmental knee arthroplasty“. In: *The American journal of sports medicine* 35.10, S. 1688–1695.

Norwood, Lyle A und Mervyn J Cross (1979). „Anterior cruciate ligament: functional anatomy of its bundles in rotatory instabilities“. In: *The American journal of sports medicine* 7.1, S. 23–26.

O'Connor, JE, C Bogue, LD Spence und J Last (2008). „A method to establish the relationship between chronological age and stage of union from radiographic assessment of epiphyseal fusion at the knee: an Irish population study“. In: *Journal of Anatomy* 212.2, S. 198–209.

Orishimo, Karl F, Ian J Kremenic, Michael J Mullaney, Malachy P McHugh und Stephen J Nicholas (2010). „Adaptations in single-leg hop biomechanics following anterior cruciate ligament reconstruction“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18.11, S. 1587–1593.

Pappas, Evangelos, Franceska Zampeli, Sofia A Xergia und Anastasios D Georgoulis (2013). „Lessons learned from the last 20 years of ACL-related in vivo-biomechanics research of the knee joint“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 21.4, S. 755–766.

Prince, Jeffrey S, Tal Laor und Judy A Bean (2005). „MRI of anterior cruciate ligament injuries and associated findings in the pediatric knee: changes with skeletal maturation“. In: *American Journal of Roentgenology* 185.3, S. 756–762.

Redler, Lauren H, Rebecca T Brafman, Natasha Trentacosta und Christopher S Ahmad (2012). „Anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients with transphyseal tunnels“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 28.11, S. 1710–1717.

Reinke, Emily K, Kurt P Spindler, Dawn Lorring, Morgan H Jones, Leah Schmitz, David C Flanigan, Angel Qi An, Amanda R Quiram, Emily Preston, Michael Martin u. a. (2011). „Hop tests correlate with IKDC and KOOS at minimum of 2 years after primary ACL reconstruction“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 19.11, S. 1806–1816.

Robert, Henri Emile und Charles Casin (2010). „Valgus and flexion deformity after reconstruction of the anterior cruciate ligament in a skeletally immature patient“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18.10, S. 1369–1373.

Salenius, Pentti und Eila Vankka (1975). „The development of the tibiofemoral angle in children.“ In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 57.2, S. 259.

Sasaki, Tomoyuki, Yasuyuki Ishibashi, Yoshihisa Okamura und Satoshi Toh (2002). „MRI evaluation of growth plate closure rate and pattern in the normal knee joint.“ In: *The journal of knee surgery* 15.2, S. 72.

Schmitt, Holger, Hannes Kappel, Michael T Moser, Eloy Cardenas-Montemayor, Karoly Engelleiter, Benita Kuni und Michael Clarius (2008). „Determining knee joint alignment using digital photographs“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 16.8, S. 776–780.

Seil, PD Dr R und H Robert (2005). „VKB-Plastik bei offenen Wachstumsfugen“. In: *Arthroskopie* 18.1, S. 48–52.

Seil, Romain, Dietrich Pape und Dieter Kohn (2008). „The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 24.7, S. 824–833.

Shea, Kevin G, Ronald Pfeiffer, Jo Han Wang, Mike Curtin und Peter J Apel (2004). „Anterior cruciate ligament injury in pediatric and adolescent soccer players: an analysis of insurance data“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 24.6, S. 623–628.

Shea, Kevin G, Peter J Apel, Ronald P Pfeiffer und Paul D Traughber (2007). „The anatomy of the proximal tibia in pediatric and adolescent patients: implications for ACL reconstruction and prevention of physeal arrest“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 15.4, S. 320–327.

Shea, Kevin G, Jen Belzer, Peter J Apel, Kurt Nilsson, Nathan L Grimm und Ronald P Pfeiffer (2009). „Volumetric injury of the physis during single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction in children: a 3-dimensional study using magnetic resonance imaging“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 25.12, S. 1415–1422.

Smith, FW, EA Rosenlund, AK Aune, JA MacLean und SW Hillis (2004). „Subjective functional assessments and the return to competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction“. In: *British journal of sports medicine* 38.3, S. 279–284.

Sommer, CH, Niklaus F Friederich und Werner Müller (2000). „Improperly placed anterior cruciate ligament grafts: correlation between radiological parameters and clinical results“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 8.4, S. 207–213.

Stadelmaier, Denise M, Steven P Arnoczky, Julie Dodds und Herb Ross (1995). „The Effect Of Drilling and Soft Tissue Grafting Across Open Growth Plates A Histologic Study“. In: *The American journal of sports medicine* 23.4, S. 431–435.

Stanitski, Carl L, James C Harvell und Freddie Fu (1993). „Observations on acute knee hemarthrosis in children and adolescents“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 13.4, S. 506–510.

Streich, Nikolaus A, Alexander Barié, Tobias Gotterbarm, Maximilian Keil und Holger Schmitt (2010). „Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent athletes“. In: *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18.11, S. 1481–1486.

Swami, Vimarsha Gopal, June Cheng-Baron, Catherine Hui, Richard Thompson und Jacob Lester Jaremko (2013a). „Reliability of Estimates of ACL Attachment Locations in 3-Dimensional Knee Reconstruction Based on Routine Clinical MRI in Pediatric Patients“. In: *The American journal of sports medicine*.

Swami, Vimarsha Gopal, Myles Mabee, Catherine Hui und Jacob Lester Jaremko (2013b). „Three-Dimensional Intercondylar Notch Volumes in a Skeletally Immature Pediatric Population: A Magnetic Resonance Imaging–Based Anatomic Comparison of Knees With Torn and Intact Anterior Cruciate Ligaments“. In: *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 29.12, S. 1954–1962.

Tardieu, Christine u. a. (1998). „Short adolescence in early hominids: infantile and adolescent growth of the human femur“. In: *American Journal of Physical Anthropology* 107.2, S. 163–178.

Wirth, B, N Meier, PP Koch, J Swanenburg u. a. (2013). „[Development and Evaluation of a German Version of the Tegner Activity Scale for Measuring Outcome after Anterior Cruciate Ligament Injury.]“ In: *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft fur Orthopadisch-Traumatologische Sportmedizin.*

Woods, G William und Daniel P O'Connor (2004). „Delayed anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents with open physes“. In: *The American journal of sports medicine* 32.1, S. 201–210.

Wu, Eileen, Michael Chen, Daniel Cooperman, Brian Victoroff, Donald Goodfellow und Lutul D Farrow (2011). „No correlation of height or gender with anterior cruciate ligament footprint size“. In: *Journal of Knee Surgery* 24.01, S. 039–044.

Yoo, Won Joon, Mininder S Kocher und Lyle J Micheli (2011). „Growth plate disturbance after transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature adolescent patients: an MR imaging study“. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 31.6, S. 691–696.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Stefan Hinterwimmer bedanken, für die Idee zur Studie, für die Geduld und das Verständnis, dass es in meinem speziellen Fall auch etwas länger gedauert hat! Vielen Dank für Deine einmalige Vorbildfunktion, die mich sehr geprägt hat!

Ein herzlicher Dank gilt auch Hermann Mayr und Otto Münch für die Einleitung der Kooperation der zwei Kliniken und den Support bei den Kongressen.

Ein ganz besonderen Dank möchte ich auch an Andreas Imhoff aussprechen. Seine Art junge Leute zu Motivieren und in Ihnen den Mut für größere Aufgaben zu wecken ist beispielhaft.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir in gesundheitlich schwierigen Zeiten den Rücken gestärkt haben. Allen voran meinen Eltern und meinem Bruder, die Rückhalt geboten haben und den Mut gegeben haben Fortzufahren. Vielen Dank Euch allen. Ohne Euch würde ich heute nicht dort meine Arbeit begonnen haben, wo ich immer beginnen wollte, in der Sportorthopädie.

Lebenslauf

Lebenslauf
Christian Holwein

Kontakt

Christian Holwein
Hirtentäschweg 13
D-81377 München

Mobil	+49 176 6190 5781
E-mail	christianholwein@gmx.de

Persönliche Angaben

Geburtsdaten	17. November 1984 in Geislingen an der Steige
Familienstand	ledig, keine Kinder

Ärztliche Weiterbildung Orthopädie und Unfallchirurgie

seit 01.07.2012	**Abteilung für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar**
Mai – Oktober 2014	Rotation Rehabilitationsklinik - Medical Park St. Hubertus
	Betreuung des Doktoranden Kolloquiums Organisation AGA-Students Advanced School 2014 u. 2015
Promotion	*„Stabilität und Sportfähigkeit nach transphysealer VKB-Rekonstruktionen bei Kindern“*
Instititut	Abteilung für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar Prof. Dr. A. Imhoff
Posterpräsentation	AGA Jahreskongress 2011 Regensburg, ESSKA Genf 2012
Vorträge	Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie 2012 GOTS Kongress Mannheim 2013
Kurse	Organisation 19. Internationaler Schulterkurs München 2014

Ausbildung

Studium der Medizin	
2005 – 2011	Vorklinisches Studium (LMU), Klinisches Studium (TUM)
Praktisches Jahr	
02/2011 – 06/2011	**Orthopädie, Sportorthopädie und Kinderorthopädie** Klinikum rechts der Isar, TU München
06/2011 – 09/2011	Innere Medizin: Intensivmedizin, Onkologie und Hämatologie Klinikum rechts der Isar, TU München
10/2011 – 01/2012	Chirurgie: Traumatologie und Visceralchirurgie Kantonspital Glarus, Universität Zürich
Staatsexamen Medizin	
06/2012	schriftliches Ergebnis: 3,0 mündliches Ergebnis: 2,0

Lebenslauf
Christian Holwein

Studienbegleitende Tätigkeiten

Famulaturen

09/2008	**Anästhesie** bei der Anästhesiegemeinschaft in München: OCM Klinik (Orthopädie) Geisenhauserklinik (Gynäkologie und Plastische Chirurgie) Arabellaklinik (HNO und Augenheilkunde)
02/2009	**Innere Medizin** (Schwerpunkt Gastroenterologie) Helfensteinklinik Geislingen an der Steige
09/2009	**Sporthopädie** Klinikum rechts der Isar München
03/2010	**Viszeral Chirurgie** Städtisches Klinikum München Harlaching

Studentenjob

2007 – 2011	Studentischer Mitarbeiter im Aufwachraum der Orthopädischen Chirurgie in München (OCM)
2008 – 2010	Studentischer Mitarbeiter als Chauffeur für Herrn Dipl. Ing. Prof. Dr. Jochen Buck Institut für forensisches Sachverständigenwesen (IfoSA)

Schulbildung

06/2004	**Abitur** - Michelberg-Gymnasium Geislingen Apollinaire Preis (Französisch) Anselm Schott Preis (Religion) Preis des Fördervereins (Mathematik und Chemie)

Sprachen

1995 – 2004	Französisch, schriftliches und mündliches Abiturfach
1997 – 2002	Englisch, fließend

Soziales Engagement

2011 – 2012	Initiator und Leiter der AGA-Studenten der Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA)
Seit 2008	Mitglied im LEO-Club Geislingen-Helfstein
09/2010	Organisation des „Württembergischen Musik Festivals (WMF)“ mit dem Lions Club Geislingen
2009 – 2011	Club-Präsident
2011 – 2012	Schatzmeister des LEO-Distrikts Süd-Mitte

Hobbies

Leichtathletik

10/2014	Bayerischer Seniorenmeister im Fünfkampf M30
Seit 2010	Moderation von einigen Stabhochsprungmeetings in Bayern
09/2010	3. Platz Oberbayerische Zehnkampfmeisterschaften
01/2008	2. Platz OlympischeStaffel Deutsche Hochschulmeisterschaft

Gitarre	Rhythm-Guitar und Gesang in der Abi-Band 2004

Lebenslauf
Christian Holwein

Referenzen

Prof. Dr. Andreas Imhoff
Abteilung für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München
Ismaningerstraße 22
D-81675 München

Tel.: +49 89 4140 7821
E-mail A.Imhoff@lrz.tu-muenchen.de

Dipl. Ing. Prof. Dr. Jochen Buck
Institut für forensisches Sachverständigenwesen (IfoSA)
Dall' Armistraße 16
D-80638 München

Mobil +49 172 896 811 6
E-mail dr.buck@gmx.de

Elisabeth Hacklberger
Leitung Aufwachraum OCM-Klinik
Steinerstraße 6
D-81369 München

Mobil +49 177 362 412 4
E-Mail lisa@lisahacklberger.de

München, 16.10.2014

Ort, Datum, Unterschrift