

**Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Dipl. Ing. Jansson**

---

**Die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in der Ligamentum  
Patellae Einbündeltechnik und Semitendinosus- gracilis  
Zweibündeltechnik**

-

**Ein klinischer Vergleich und eine radiologische Beurteilung der tibialen und  
femorale Tunnelposition.**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von  
Patrick Sadoghi

Graz / Österreich

2012

**Mit Genehmigung der medizinischen Fakultät  
der Universität München**

**Berichterstatter:** Prof. Dr. med. Peter Ernst Müller

**Mitberichterstatter:** Priv. Doz. Dr. med. Oliver Pieske  
Priv. Doz. Dr. med. Hermann  
Anetzberger

**Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:** Priv.- Doz. Dr. med. Matthias Frank  
Pietschmann

**Dekan:** Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACP,  
FRCR

**Tag der mündlichen Prüfung:** 15.03.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Widmung</b> .....	<b>6</b>
<b>II. Danksagung</b> .....	<b>7</b>
<b>III. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>III.I. Ist eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) noch zeitgemäß?</b> .....	<b>8</b>
<b>III.II. Anatomie des Kniegelenkes</b> .....	<b>8</b>
<b>III.II.I. Artikulationes und Gelenkscapsel des Kniegelenkes</b> .....	<b>8</b>
<b>III.II.II. Bandapparat und Biomechanik</b> .....	<b>10</b>
<b>III.II.III. Biomechanik des vorderen Kreuzbandes (VKB)</b> .....	<b>13</b>
<b>III.III. Pathomechanismus des Kreuzbandrisses</b> .....	<b>14</b>
<b>III.IV. Diagnostik</b> .....	<b>17</b>
<b>III.V. Klinische Untersuchung</b> .....	<b>17</b>
<b>IV.VI. Allgemeine Therapieprinzipien</b> .....	<b>20</b>
<b>III.VII. Anatomischer und biomechanischer Stand der Literatur</b> .....	<b>21</b>
<b>III.VIII. Stellenwert der Tunnelposition und Möglichkeiten deren Beurteilung</b> .....	<b>22</b>
<b>III.IX. Zielsetzung und Rechtfertigung der Durchführung der Studie hinsichtlich der Literatur</b> .....	<b>22</b>
<b>III.X. Nullhypothesen</b> .....	<b>24</b>
<b>IV. Patienten und Methodik</b> .....	<b>26</b>
<b>IV.I. Studiendesign und Rekrutierung</b> .....	<b>26</b>
<b>IV.II. Daten beider Gruppen</b> .....	<b>27</b>
<b>IV.III. Operationsverfahren</b> .....	<b>28</b>
<b>IV.III.I. Ligamentum- patellae Einbündeltechnik (LP- EB)</b> .....	<b>28</b>
<b>IV.III.II. Semitendinosus- gracilis Zweibündeltechnik (STG- ZB)</b> .....	<b>30</b>
<b>IV.IV. Klinische Untersuchung</b> .....	<b>32</b>
<b>IV.IV.I. Präoperative Untersuchung</b> .....	<b>32</b>
<b>IV.IV.II. Untersuchung zum Follow- up</b> .....	<b>33</b>
<b>IV.V. Rehabilitation</b> .....	<b>34</b>
<b>IV.VI. Radiologische Analyse der Tunnelposition entsprechend den Ergebnissen anhand von 3D CTs</b> .....	<b>34</b>
<b>IV.VII. Anatomische klinische Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
<b>IV.VII. Statistische Analyse</b> .....	<b>40</b>

<b>V. Ergebnisse</b>	<b>42</b>
<b>V.I. Bewertung von subjektiven klinischen Scores und Messungen</b>	<b>42</b>
<b>V.II. Bewertung von objektiven klinischen Scores und Messungen</b>	<b>43</b>
<b>V.III. Komplikationen</b>	<b>45</b>
<b>V.IV. Einteilung in anatomisch und nicht-anatomisch platzierte VKB Rekonstruktionen durch Vermessung der Tunnelposition</b>	<b>45</b>
<b>V.V. Ergebnisse der Gonarthrose nach Brandt</b>	<b>48</b>
<b>V.VI. Zusammenfassung der Bewertung der Nullhypothesen</b>	<b>49</b>
<b>VI. Diskussion</b>	<b>51</b>
<b>VI.I. Historischer Überblick</b>	<b>51</b>
<b>VI.II. Graftfixation in der LP- EB und STG- ZB Technik</b>	<b>51</b>
<b>VI.III. Subjektive klinische Scores und Messungen (Rotationsstabilität, vorderer Knieschmerz)</b>	<b>52</b>
<b>VI.IV. Objektive klinische Scores (objektiver IKDC Score) und Messungen (Anterior-posterior Translation)</b>	<b>53</b>
<b>VI.V. Kostenanalyse</b>	<b>54</b>
<b>VI.VI. Studienübersicht</b>	<b>55</b>
<b>VI.VII. Tibiale Tunnelposition</b>	<b>57</b>
<b>VI.VIII. Femorale Tunnelposition</b>	<b>59</b>
<b>VI.IX. Limitationen und Benefit des klinischen Vergleichs</b>	<b>60</b>
<b>VI.X. Limitationen und Benefit der Vermessung der Tunnelpositionen</b>	<b>61</b>
<b>VII. Schlussfolgerungen</b>	<b>62</b>
<b>VII.I. Klinischer Vergleich</b>	<b>62</b>
<b>VII.II. Vermessung der Tunnelposition</b>	<b>62</b>
<b>VIII. Zusammenfassung</b>	<b>64</b>
<b>IX. Verzeichnisse und Referenzen</b>	<b>67</b>
<b>IX.I. Abbildungsverzeichnis mit Quellenangaben</b>	<b>67</b>
<b>IX.II. Tabellenverzeichnis mit Quellenangaben</b>	<b>70</b>
<b>IX.III. Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>70</b>
<b>IX.II. Referenzen</b>	<b>73</b>

<b>X. Lebenslauf und Publikationsliste .....</b>	<b>85</b>
<b>XI. Anhang .....</b>	<b>88</b>
<b>XI.I. Tegner Score .....</b>	<b>88</b>
<b>XI.II. WOMAC Score .....</b>	<b>89</b>
<b>XI.III. IKDC Score .....</b>	<b>91</b>

# **I. Widmung**

Meiner Freundin, **Frau Dr. med. univ. Birgit Aigner**

## **II. Danksagung**

Besonderer Dank gebührt

**Herrn Professor Dr. med. Peter Ernst Müller**

und

**Herrn Priv.- Doz. Dr. med. Matthias Frank Pietschmann**

für die Betreuung und das Ermöglichen der Fertigstellung dieser Doktorarbeit

sowie

**Herrn Priv. Doz. Dr. Albert Kröpfl**

und

**Herrn OA Dr. Martin Franz Fischmeister**

für das Ermöglichen der Durchführung dieser Studie

sowie

**Herrn Professor Dr. med. Dipl.-Ing. Volkmar Jansson**

für die kritische wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung und

die Unterstützung bei Präsentationen des Themas auf Kongressen

## **III. Einleitung**

### **III.I. Ist eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) noch zeitgemäß?**

Der wissenschaftliche Fortschritt im Bereich der Medizin nimmt derart rasante und große Schritte vor, dass das Hauptthema dieser Dissertation – die operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) – bereits an sich in Frage gestellt wird (1). Die Rekonstruktion des VKB galt lange Zeit als wichtige Prävention einer Gonarthrose, weswegen auch bei Patienten ohne subjektives Instabilitätsgefühl ebendiese nach abgeschwollenem Kniegelenk zeitnah durchgeführt wurde (1). Zudem war lange Zeit unklar, zu welchem Zeitraum eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erfolgen möge, um das optimale klinische Outcome erzielen zu können (1). Frobell et al. konnten 2010 im New England Journal of Medicine (NEJM) zeigen, dass eine Rekonstruktion des VKB langfristig keiner Gonarthrose vorbeugt und zudem eine Rekonstruktion nur dann sinnvoll ist, sofern trotz intensiver Physiotherapie ein subjektives Instabilitätsgefühl bleibt, welches im Gegensatz zu den Anforderungen des Patienten steht (1).

Auch wenn daher die Entscheidung zum VKB Ersatz nach diesen Maßgaben seltener getroffen wird so bleibt eine operative Rekonstruktion bei entsprechender Indikation dennoch weiterhin zeitgemäß (1).

### **III.II. Anatomie des Kniegelenkes**

#### **III.II.I. Artikulationes und Gelenkscapsel des Kniegelenkes**

Das Kniegelenk (Articulatio genu) entspricht in seiner Mechanik einem Dreh-Scharniergelenk (Trochoginglymus), welches aus zwei Gelenkteilen besteht (2- 5), der

Articulatio femorotibialis, sich zusammensetzend aus Femur und Tibia, und der Articulatio femoropatellaris, sich zusammensetzend aus dem Femur und der Patella (2-5). Die Artikulation zwischen Femur und Tibia wird durch die zwei Kondylen des Femurs (Condylus medialis und Condylus lateralis femoris) und die Facies articularis superior Tibiae hergestellt, wobei die beiden Menisci die Inkongruenz der o.g. Teile ausgleichen. Die Artikulation zwischen Femur und Patella wird durch die Facies articularis patellae und die Facies patellaris femoris gewährleistet.

Die Gelenkkapsel des Knies besteht aus einem Stratum fibrosum, welches einen cm unterhalb der Knorpelränder in das Periost der Tibia übergeht. Nach anterior verbindet sich dieses Stratum fibrosum mit dem M. quadrizeps und der Patella und seitlich ist es an den Kondylen des Femurs befestigt. Die posteriore Abgrenzung reicht bis zur Linea intercondylaris (2-5). Daher liegen die beiden Femurepikondylen außerhalb der Kapsel des Kniegelenkes (2-5).

Das Stratum synoviale als zweite Schicht der Gelenkkapsel verläuft anterior, medial und lateral an der Knorpel-Knochen Grenze des Tibiakopfes. Da das Stratum synoviale die Area intercondylaris ausspart liegen die beiden Kreuzbänder extraartikulär. Durch die Befestigung der unteren Kapselschicht am Femur an den posterioren und medialen bzw. lateralen Knorpelschichtungen der Kondylen und am äußeren Rand der Facies patellaris ist die Patella in die Kapselwand integriert (2-5). Nach anterior geht das Stratum synoviale in die Bursa suprapatellaris über und zieht unter der Patella über den Hoffa'schen Fettkörper (Corpus adiposum infrapatellare) und inseriert an der Area intercondylaris (2-5).

### III.II.II. Bandapparat und Biomechanik

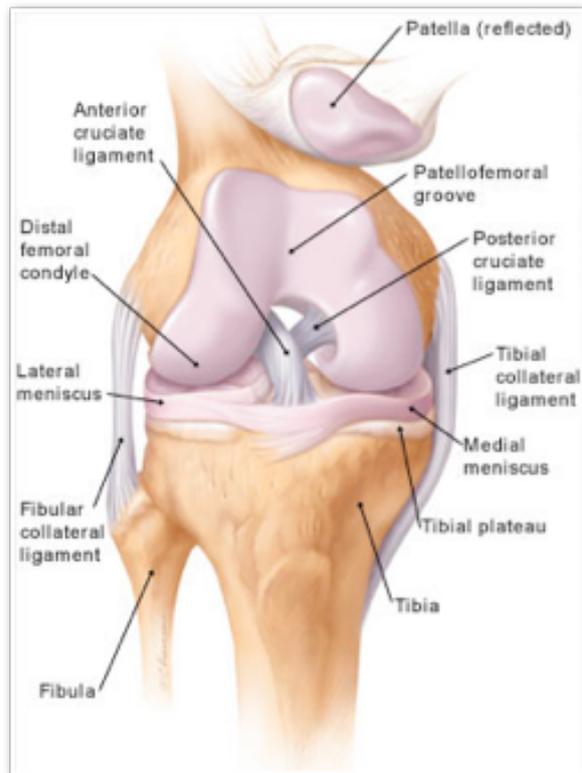


Abbildung 1 – Bänder im Kniegelenk

Quelle: <http://www.cjrorthopaedics.co.uk/Anterior%20Cruciate%20Ligament.html>

Das **Ligamentum patellae** hat seinen Ursprung im M. quadrizeps und inseriert an der Tuberositas tibiae (2- 5). Eine Möglichkeit zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes ergibt sich durch ein Autograft, bestehend aus dem mittleren Teil dieses Bandes. Diese Ligamentum- patellae Einbündeltechnik wird im Kapitel: Operationsmethoden aus dem Kapitel „Patienten und Methodik“ beschrieben.

Die **Seitenbänder (Ligamentum collaterale mediale (tibiale) et laterale (fibulare))** verhindern ein Aufklappen des Kniegelenkes bei Varus- und Valgusstress. In Streckung des Kniegelenkes sind sie angespannt und verhindern daher eine Rotation der Tibia zum Femur. In Flexion des Kniegelenkes sind sie entspannt, um eine physiologische Rotationsbewegung zu ermöglichen (2- 5).

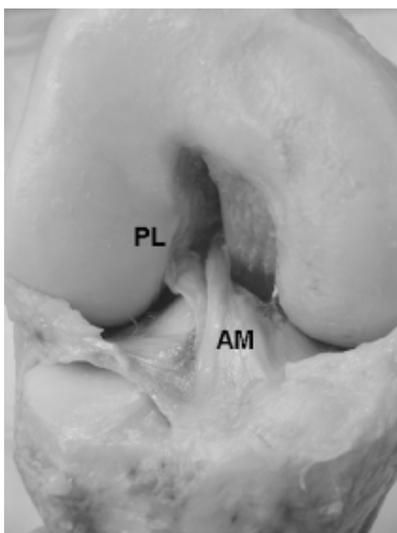
Das **Ligamentum collaterale mediale** hat seinen Ursprung am Epicondylus medialis femoris und inseriert unterhalb des Tibiakopfplateaus an der Facies medialis tibiae (2-4). Es besteht aus drei unterschiedlichen Schichten welche von Warren und Marshall anhand von 145 Kadavern erstbeschrieben wurden. Eine oberflächliche Schicht umfasst den M. quadrizeps und M. sartorius, bestehend aus der tiefen Fascia cruris (6). Eine mittlere Schicht (intermediate Layer) entspricht dem oberflächlichen Seitenband (s-MCL; superficial- Medial collateral Ligament) und dem Ligamentum patellofemorale medialis und eine tiefe Schicht, die aus der Kapsel und dem d-MCL (deep-medial collateral ligament) besteht (6).

Das **Ligamentum collaterale laterale** hat seinen Ursprung am Epicondylus lateralis femoris und inseriert am Caput fibulae. Es überkreuzt die Sehne des Musculus popliteus auf seinem Weg. Nach Hughston wird das laterale Seitenband in ein vorderes, mittleres und hinteres Drittel unterteilt (2, 7). Das anteriore Drittel verläuft von der lateralen Seite der Patella zur vorderen Grenze des Tractus iliotibialis. Es wird durch die Faserzüge des lateralen Retinakulums verstärkt und hat einen zusätzlichen Insertionspunkt am Femur (2, 3, 7). Das mediane Drittel des lateralen Bandapparates besteht aus dem Tractus iliotibialis und dem Kapselband. Es verläuft nach posterior bis zum lateralen Collateralband, hat seinen Ursprung am lateralen Epicondylus femoris und inseriert an der tibialen Gelenksgrenze (2, 3, 7). Das posteriore Drittel enthält sowohl Kapselbänder als auch nicht Kapselbänder und wird in der angloamerikanischen Literatur als sog. „arcuate complex“ entsprechend den folgenden Bändern bezeichnet (7):

Ligamentum fabellofibulare, Ligamentum popliteofibulare und Ligamentum arcuatum genu.

Die **Kreuzbänder** selbst liegen außerhalb des Kniegelenks wie bereits durch die Kapsellokalisation beschrieben. Sie schützen die Relativbeweglichkeit der Tibia zum

Femur in der Sagittal- Frontal- und auch Horizontalebene (2- 4). Bei Rupturen sind dementsprechend unphysiologische Bewegungen in all diesen drei Ebenen möglich. Abbott et al. beschrieben bereits 1944 eine Zweiteilung des **vorderen Kreuzbandes** (VKB), welches an der Area intercondylaris anterior tibiae entspringt und an der hinteren Innenfläche des Condylus lateralis femoris in der Notch inseriert, in ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel (8). Nach Anderhuber gibt es noch ein zusätzliches drittes Bündel, das intermediäre Bündel, welches allerdings auf die Überlegungen zur Rekonstruktion des VKB ob der geringen biomechanischen Bedeutung keinen Einfluss nimmt (2). Das anteromediale Bündel umfasst durchschnittlich einen Durchmesser von 7 mm und das posterolaterale von 6 mm. Die fächerförmigen femoralen Ansatzstellen können allerdings einen bis zu 5 mal größeren Durchmesser umfassen (9, 10). In einer Kadaverstudie inspizierten Ito et al. (11) 47 Kniegelenke ob der Anordnung derer VKB Bündel. Sie beschrieben in 55% ein makroskopisches Doppelbündel. Aus den 45% makroskopischen Einfachbündel VKBs hatten 19% ein mikroskopisches Doppelbündel. Daher ergibt sich ein Prozentsatz von 36% mit einem auch mikroskopischen Einfachbündel.



**Abbildung 2 – Makroskopische Darstellung des anteromedialen und posterolateralen Bündels**

**Quelle: Wolf Petersen, Thore Zantop (2008) Clinical Orthopaedics and Related Research**

### III.II.III. Biomechanik des vorderen Kreuzbandes (VKB)

Die biomechanische Analyse des VKB zeigt, dass das anteromediale Bündel in Flexion, das posterolaterale Bündel im Gegensatz dazu in Extension angespannt ist. Während beide Bündel in der Extension annähernd parallel zueinander liegen verdrehen sie sich bei der Flexion ineinander (12). Die Notwendigkeit des posterolateralen Bündels für die Rotation bei fast voller Extension wird von mehreren Autoren betont (13- 15) und auf die Notwendigkeit des posterolateralen Bündels während kombinierten Kräften in voller Streckung wurde ausführlich von Gabriel et al. hingewiesen (13). Die Arbeitsgruppe um Mae et al. (16) untersuchte an 11 Patienten die in der Zweibündeltechnik operiert worden waren die auf die beiden Bündel wirkenden Kräfte abhängig von dem Grad der Flexion im Kniegelenk, wobei in voller Streckung im Mittel 43% der Kraft auf das anteromediale Bündel und 57% der gesamten Kraft auf das posterolaterale Bündel wirkten. In einer Flexion von 90 Grad beträgt die wirkende Kraft auf das anteromediale Bündel im Mittel 64% und auf das posterolaterale Bündel die korrespondierenden 36%. Diese unterschiedliche Kräfteverteilung gilt es daher in der VKB Rekonstruktion zu berücksichtigen.

Auch das **hintere Kreuzband** (HKB) besteht aus einem anteromedialen und posterolateralen Bündel (2, 3). Es hat seinen Ursprung an der Area intercondylaris posterior und der Tibiahinterkante und inseriert an der Innenseite des medialen Femurkondyles.

Um die Inkongruenz zwischen Tibia und Femur auszugleichen sind die beiden aus Faserknorpel bestehenden **Menisci** angelegt. Der mediale Meniscus ist sichel- oder halbmondförmig angelegt und der laterale kreisförmig. Der Querschnitt der beiden

Menisci ist keilförmig, deren Außenseite ist mit der Gelenkscapsel verwachsen und deren Innenseite mit der Area intercondylaris (2, 3). Vom Hinterhorn des lateralen Meniskus ziehen zwei Bänder zur lateralen Seite des Femurkondylus. Es handelt sich hierbei um die menisocofemorale Bänder, das **Ligamentum menisocofemorale anterius**, auch a-MFL Wrisberg genannt, welches vom HKB zum Kondylus zieht, und das **Ligamentum menisocofemorale posterius**, auch p-MFL nach Humphrey, welches zum medialen Kondylus zieht (17). Man vermutet, dass diese beiden Bänder den lateralen Meniskus während der Bewegung stabilisieren oder den Schutz des Hinterhorns bewirken (2, 17). Während die peripheren Zonen der Mensici von der Arteria media genus versorgt werden ist deren mittlerer Anteil frei von Gefäßen und daher lediglich durch die Synovia genährt (2- 4). Nervenendigungen finden sich vor allem in den bindegewebigen Anteilen der Menisci, während die inneren Anteile frei von Nerven sind.

### **III.III. Pathomechanismus des Kreuzbandrisses**

Eine Ruptur des VKB stellt die häufigste ligamentäre Verletzung des Kniegelenkes dar (18). Mehr als 80% der Rupturen resultieren aus einer relativen Innenrotation der Tibia gegenüber dem Femur. Nächst häufigster Verletzungsmechanismus ist ein Trauma bei dem eine Außenrotation des Femurs in Kombination mit einem Valgusstress der Tibia auftreten. Seltener werden in der Literatur Hyperextensionstraumen oder auch Hyperflexionstraumen mit einer Translation der Tibia nach ventral als Ursachen von VKB Rupturen angegeben (18, 19). Diese Formen der Verletzungen sind vor allem bei Kontaktsportarten wie etwa Fußball, Basketball aber auch Rugby und Kampfsportarten gehäuft. Die häufigsten Nicht-Kontaktsportarten, die zu Rupturen des vorderen Kreuzbandes führen sind Schifahren, Tennis oder Motorsportarten. Zur Illustration der häufigsten Orte an denen Verletzungen vorkommen sowie auch der verschiedenen

Häufigkeiten in den unterschiedlichen Sportarten geben die beiden Tabellen eins und zwei aus dem Journal of Science and Medicine in Sport/ Sports medicine Australia Aufschluss (20). Diesbezüglich wurden 5884 operierte VKBs retrospektiv unterteilt.

*Tabelle 1 Verteilung der Verletzungsorte bei 5884 operierten VKBs (20)*

Verletzungsort	Absolute Anzahl der VKB Rupturen	Relative Anzahl in %
Sport	3833	65,1
Im häuslichen Bereich	655	11,1
An einem öffentlichen Ort	264	4,5
Am Firmengelände	228	3,9
Auf der Straße	213	3,6
Am Bauernhof	108	1,8
In der Schule	94	1,6
Andere Orte	489	8,3

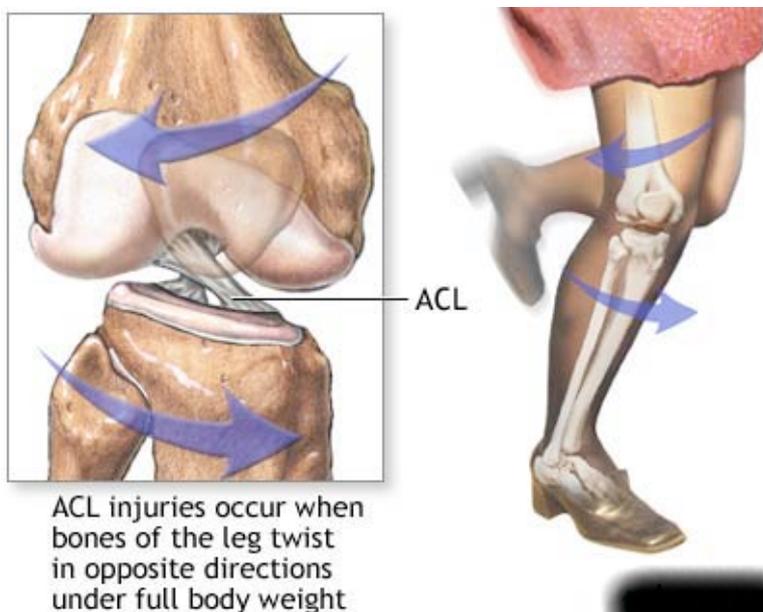
*Tabelle 2 Verteilung der unterschiedlichen Sportarten bei 3997 operierten VKBs (20)*

Sportart	Absolute Anzahl der VKB Rupturen
Rugby	952
Basketball	918
Fußball	612
Touch Rugby	353
Schifahren	223
Rugby Ligaspiele	152
Eishockey	85
Motorsport	79
Squash	57
Kampfsportarten	54
Snowboarding	54
andere Sportarten	458

Nach einer Metaanalyse von Shimokochi et al (21) wurden in 211 Fällen der Verletzungshergang retrospektiv erfragt. Anbei die Auflistung der Häufung in Tabelle 3.

*Tabelle 3 Häufung des Verletzungsmechanismus in einer Metaanalyse aus 211 Fällen.*

Verletzungsmechanismus	Anzahl der Verletzungen aus 211
Innenrotation + Valgus	28
Außenrotation + Valgus	27
Innenrotation	18
Valgusstress	11
Außenrotation	6
Hyperextension	5
Varusstress	2
Innenrotation + Hyperextension	1
Außenrotation + Hyperextension	1



**Abbildung 3 – Typischer Verletzungsmechanismus**

Quelle: <http://www.youcanbenefit.com/images/ACL%20tear%20cause.bmp>

### **III.IV. Diagnostik**

Bei der **Anamnese** sind die folgenden Fragen maßgeblich und für die Diagnostik entscheidend:

1. Der Unfallmechanismus
2. Der Charakter des angegebenen Schmerzes
3. Ein Fühlen oder Hören der Ruptur im Gelenk
4. Eine subjektive Instabilität („giving way“ Attacken)
5. Ein Gelenkserguss
6. Ein Beuge oder Streckdefizit

### **III.V. Klinische Untersuchung**

Bei der **Inspektion und Klinik** sollte eine gesamte Beurteilung des Kniegelenkes von jedem Untersucher nach seinem individuellen Algorithmus erfolgen, unwesentlich von der Anamnese. Dieser Algorithmus sollte beibehalten werden, um keinen einzelnen Punkt zu übersehen. Die folgenden Punkte könnten darin enthalten sein:

Inspektion: Rötung, Schwellung oder Erguss im Gelenk. Äußerliche

Verletzungszeichen. Muskelatrophie der Extensoren und Flexoren des Femurs als Zeichen einer chronischen ligamentären Instabilität.

Klinische Untersuchung: Auffälliger Gelenkserguss als Zeichen einer Verletzung im Gelenk. Der Bewegungsumfang in Grad mit Rücksicht auf ein mögliches Beuge oder

Streckdefizit. Schmerzhafter Varus- und Valgusstress oder Aufklappbarkeit als Zeichen einer ligamentären Läsion der Seitenbänder. Luxationen und/oder Risse der Patella und des medialen Retinakulums bei geführter Bewegung um die Sagittalachse. Beurteilung der Menisci durch spezifische Tests. Schubladentest zur Beurteilung des vorderen aber auch hinteren Kreuzbandes. Lachman Test in 25 Grad Beugung zu Beurteilung der Translation von Tibia zu Femur.

Bei der klinischen Untersuchung ist es notwendig, den Patienten in eine entspannte Lage zu bringen. Nur so ist es möglich, tatsächlich ligamentäre Strukturen zu beurteilen, ohne verfälschte Ergebnisse durch die Muskelvorspannung zu erhalten. Diese Grundvoraussetzung lässt den wenig erfahrenen Kollegen rasch scheitern.

Nach Marshall et al. (22) wurde der 90 Grad Schubladentest als Goldstandard der klinischen Tests zur Beurteilung einer Ruptur des VKB abgelöst, als sie eine falsch negative Rate von 50% belegten. Diese war durch die Schmerzen, Muskelvorspannung, einen Hämarthros oder eine Unfähigkeit des Kniegelenk 90Grad zu Beugen entstanden. Daher gilt heute der Lachman Test als Mittel der Wahl, weil dadurch der Muskeltonus verringert ist und die Vorspannung in 25 Grad am geringsten ist (18).



**Abbildung 4 – Lachman Test (in 25 Grad Kniebeugung)**

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Falsch negative oder positive Resultate ergeben sich in diesem Test durch eine tibiale Innenrotation.

Bei **der radiologischen Diagnostik** wird zum Ausschluss knöcherner Läsionen ein Röntgen des Kniegelenkes in zwei Ebenen (anterior-posterior und seitlich) angefertigt werden. Ein knöcherner Ausriss der Eminentia Intercondylaris würde einen Einfluss auf den weiteren Therapiealgorithmus haben (18).

Eine MRT Untersuchung des Kniegelenkes wird in nahezu allen Fällen das Mittel der Wahl zur definitiven Diagnosefindung darstellen. Dennoch ist es wichtig, nicht unmittelbar bei Beschwerden ein MRT anzuordnen ohne eine ausführliche klinische Untersuchung durchgeführt zu haben. So gibt es auch im MRT falsch negative Befunde, die durch eine gezielte klinische Diagnostik relativiert werden könnten. Nach Lee et al. gibt es in der MRT Untersuchung eine Sensitivität von 94%. Die klinischen Methoden eines Schubladentests oder des Lachman Tests erreichen hingegen lediglich Werte bei 78% bzw. 89% (23).



Abbildung 5 – MRT (T2- Sequenz) eines Kniegelenkes mit intaktem VKB

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)



**Abbildung 6 – MRT (T1- Sequenz) eines Kniegelenkes mit rupturiertem VKB**

Quelle: [www.kneejointssurgery.com/pics](http://www.kneejointssurgery.com/pics)

### **III.VI. Allgemeine Therapieprinzipien**

Bei einer Nachuntersuchung von Barrack et al. an 72 jungen Patienten wurde der Vorteil einer konservativen versus operativen Therapie nach Ruptur des VKB evaluiert (24). Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass eine operative Therapie bei jungen Patienten mit Wunsch nach weiterer sportlicher Aktivität unbedingt notwendig sei (24). Die Indikation für eine Rekonstruktion des VKB ist demnach wie folgt zu stellen:

1. sportlich aktiver Patient mit Wunsch den Sport weiterhin zu betreiben
2. Zusätzliche Verletzungen zur VKB Ruptur der stabilisierenden Strukturen im Kniegelenk wie Rupturen der Kollateralbänder oder eine Ruptur des HKB
3. Gleichzeitige Meniskusläsionen zur VKB Ruptur

Die operative Versorgung des rupturierten VKB wird heute durch Autografts durchgeführt. Diesbezüglich sind ein Drittel der Patellarsehne oder die Sehnen des Muskulus Semitendinosus und des Muskulus Gracilis mittel der Wahl. Aus diesen Autografts ergibt sich die Möglichkeit zu Ein- oder auch Zweibündelrekonstruktionen.

Die Rekonstruktion des VKB durch ein künstliches Larsband (ein Kunststoffband welches auch weiterhin bei Rekonstruktionen in der Tumorchirurgie eingesetzt werden kann) stellt keine adäquate Methode dar und sollte nicht mehr durchgeführt werden. Bezüglich der o.g. Rekonstruktionsmöglichkeiten durch Autografts gibt es in allen Techniken gute Ergebnisse. Die Ligamentum- patellae Einbündeltechnik und die Semitendinosus- gracilis Zweibündeltechnik werden im Kapitel Material und Methoden näher behandelt und die Ergebnisse der Literatur in der Diskussion angeführt. Konservative Therapiemaßnahmen sind Kräftigungsübungen der Oberschenkelmuskulatur zur Stärkung der Stabilität durch Training der Agonisten zum vorderen Kreuzband. Außerdem werden in den USA auch Allografts, also Sehnenmaterial von anderen Menschen zur Rekonstruktion verwendet.

### **III.VII. Anatomischer und biomechanischer Stand der Literatur**

Das vordere Kreuzband (VKB) besteht aus zwei unterschiedlichen funktionellen Bündeln (25): einem anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündel. Obwohl diese beiden Bündel zwei unterschiedliche funktionelle Aufgaben übernehmen, ist der Goldstandard in der Rekonstruktion des VKB eine Einbündeltechnik mit autologen Sehnentransplantaten des M. semitendinosus und M. gracilis oder mit einem Knochen-Sehnen Block, bestehend aus einem Drittel des Ligamentum patellae (26). Biomechanische Studien haben bereits die Notwendigkeit des posterolateralen Bündels in annähernd voller Streckung und in Translations- sowie Rotationsbewegungen belegt, indem sie die überlegene Wiederherstellung der ursprünglichen Kinematik des Kniegelenkes in der Zweibündeltechnik beschrieben haben (25, 27). Dennoch stellt sich die Frage, ob die guten Ergebnisse in vitro auch in vivo umgesetzt werden können, da durch den Einzug des zweiten Bündels die Komplexität des operativen Verfahrens zunimmt (28). Außerdem kann es bei notwendigen Revisionseingriffen nach

Rekonstruktion des VKB in einer Zweibündeltechnik zu Problemen hinsichtlich der Tunnelposition und konsekutivem Knochenverlust kommen, sodass eventuell ein zweizeitiges Vorgehen mit Knochenaufbau in einer ersten Sitzung notwendig wird (40).

### **III.VIII Stellenwert der Tunnelposition und Möglichkeit deren Beurteilung**

Für ein optimales klinisches Ergebnis hinsichtlich der Translations- und Rotationsstabilität ist nicht nur die Operationstechnik, sondern auch die korrekte Tunnelposition ausschlaggebend (29- 33). Bisher konnte bereits belegt werden, dass der optimale tibiale und femorale Insertionspunkt im ursprünglichen anatomischen Ansatz des vorderen Kreuzbandes liegt (29- 33). Fehlplatzierungen führen zu Bewegungsverlust des Gelenkes oder Elongation des Transplantates durch abnormal hohe Kräfte (30, 31, 34- 37). Eine zu anteriore Platzierung des tibialen Bohrkanals führt zu Impingement und Versagen des Transplantates während eine zu posteriore Platzierung vermehrte Translationsbewegungen zulässt (34, 37).

Eine zu „steile“ Platzierung des femoralen Bohrkanals führt zu mangelnder Rotationsstabilität.

Bisherige radiologische Methoden zur Erfassung der Tunnelposition nach VKB Rekonstruktionen basieren lediglich auf der Auswertung von herkömmlichen Röntgenaufnahmen (ap und seitlich), obwohl Studien belegt haben, dass die Identifikation auf ebendiesen oft unzureichend ist (29, 35, 38- 40).

### **III.IX. Zielsetzung und Rechtfertigung der Durchführung der Studie hinsichtlich der Literatur**

Verschiede Studien haben versucht, das klinische und radiologische Ergebnis zwischen semitendinosus- gracilis Einbündel (STG- EB) und semitendinosus- gracilis

Zweibündel (STG- ZB) oder Ligamentum- patellae Einbündel (LP- EB)

Rekonstruktionen nach einem kurzen Follow- up zu vergleichen (41-44).Doch bis heute haben nur wenige Arbeitsgruppen die LP- EB Technik mit der STG- ZB Technik verglichen, wobei alle Patienten von nur einem Operateur versorgt worden sind (27). Dabei ist bekannt, dass die LP- EB Technik durch die Verwendung von Knochenblöcken eine höhere Primärstabilität aufweisen kann, während die Rekonstruktion unter zu Hilfenahme der Hamstringsehnen erst nach etwa 6 Monaten vollständig eingehilt ist (40). Unsere Arbeit versucht,eine Korrelation zwischen einer anatomischen Tunnelposition und dem klinischen Outcome herzustellen. Dabei bedienen wir uns dreidimensionaler CT Aufnahmen von VKB Rekonstruktionen zur Beurteilung der tibialen und femoralen Artikulationsflächen und Vermessung der platzierten Bohrkanäle der Grafts. Durch die dreidimensionalen Rekonstruktionen ergab sich ein weniger verzerrtes Bild der Insertionsflächen, was eine adäquatere Beurteilung der Tunnelposition ermöglicht, als in bisherigen Methoden (45).

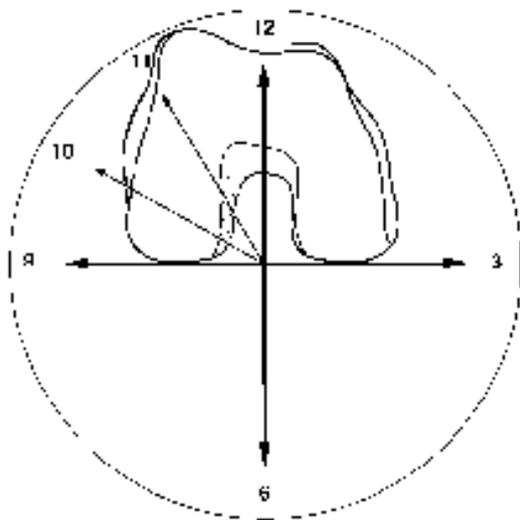


Abbildung 7 – Orientierung zur Tunnelposition anhand des Systems nach der Uhr

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Wir führten eine prospektive, vergleichende Kohortenstudie in diesen beiden Gruppen (LP- EB und STG- ZB) mit einem Schwerpunkt auf deren klinischen Outcome nach

einem minimum Follow- up von zwei Jahren durch und beurteilten außerdem die Korrelation von anatomisch und nicht-anatomisch gesetzten Transplantaten, ein Jahr postoperativ, mit dem klinischen Outcome.

### **III.X. Nullhypothesen**

Die folgenden sechs Nullhypothesen wurden vor der Durchführung der Versuche aufgestellt:

*H<sub>01</sub>:*

Klinische Hypothese: Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Tegner, IKDC und WOMAC Scores zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP-EB versus der STG- ZB Technik

*H<sub>02</sub>:*

Biomechanische Hypothese: Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der erhobenen KT 1000 Relativwerte im Vergleich zur Gegenseite zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

*H<sub>03</sub>:*

Biomechanische Hypothese: Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Pivot- Shift Tests zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

*H<sub>04</sub>:*

Hypothese mit technischem Aspekt: Die zweimalige radiologische Konstruktion und Beurteilung der Tunnelposition in beiden Techniken (LP- EB; STG- ZB) durch zwei

unterschiedliche Untersucher ist nicht reproduzierbar und zuverlässig, was sich durch nicht adequate inter- und intraobserver Koeffizienten zeigt

*H<sub>05</sub>:*

Klinische Hypothese: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der LP- EB Technik.

*H<sub>06</sub>:*

Klinische Hypothese: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der STG- ZB Technik.

## **IV. Patienten und Methodik**

### **IV.I. Studiendesign und Rekrutierung**

Es wurde eine prospektive Kohortstudie durchgeführt, indem die Rekonstruktion des VKB in der Ligamentum Patellae Einbündeltechnik, mit der Semitendinosus gracilis Zeibündeltechnik verglichen wurde. Alle Patienten in beiden Gruppen wurden vom selben Operateur von 2005 bis 2007 versorgt. Wir schlossen jene Patienten in die Studie ein, die unilaterale Rupturen des VKB erlitten hatten und die Kriterien für eine arthroskopische VKB Rekonstruktion erfüllten. Von der Untersuchung ausgeschlossen wurden all jene Patienten, die zusätzliche Verletzungen des Bandapparates erlitten hatten, wie Verletzungen des hinteren Kreuzbandes, des posterolateralen Komplexes oder des lateralen Seitenbandes. Außerdem schlossen wir Patienten aus, die bereits am Knie operiert worden waren, Frakturen an Tibia oder Femur erlitten hatten oder in o.g. Zeitraum durch die STG- Einbündeltechnik versorgt worden waren. Zusätzliche Verletzungen des medialen Seitenbandes (Grad I bis III) wurden konservativ mit einer Orthese für sechs Wochen behandelt und nicht ausgeschlossen.

Die zuständige Ethikkommission stimmte der Durchführung der Studie bei. Alle Patienten wurden über den Ablauf der Studie, mögliche Risiken und den Zweck der Studie informiert und alle gaben ein schriftliches Einverständnis zur Publikation der erhobenen Daten.

## IV.II. Daten der beiden Gruppen

Um eine verlässliche vergleichende Analyse zu gewährleisten führten wir eine matched-pair Analyse durch. Dadurch konnte die Gruppenvergleichbarkeit hinsichtlich der folgenden Parameter gewährleistet werden: Demographische Daten, Stationärer Aufenthalt, ambulante Betreuung, Meniskusverletzungen und Reparaturen, zusätzliche Verletzungen des Innenbandes, Intervall von Verletzungszeitpunkt bis zur Operation, präoperatives Aktivitätslevel (Tegner Score (46)), klinische Scores (WOMAC (47), IKDC (48) und das Pivot- Shift. Die genauen Daten sind in Tabelle 1 angeführt. Wir veranlassten bei allen Patienten dieselbe Nachbehandlung entsprechend dem Protokoll von Shelbourne und Nitz (49). Es gab keinerlei andere Variation hinsichtlich der Indikationsstellungen und postoperativen Versorgung der Patienten. Dadurch konnte ein systemischer Bias im Vergleich dieser beiden Gruppen (LP- EB und STG- ZB) vermieden werden.

*Tabelle 4 - Demographische Daten und klinische Scores der Patienten der LP- EB Gruppe Und STG- ZB Gruppe. Die präoperativen Daten zeigen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen, da wir eine matched- pair Analyse durchgeführt hatten.*

	LP-EB; n=41	STG-ZB; n=51
Alter in Jahren <sup>a</sup>	36; 17-57	34; 16-62
Größe in m <sup>a</sup>	173; 156- 190	172; 160- 187
Gewicht in kg <sup>a</sup>	73; 48- 99	76; 55- 100
Stationärer Aufenthalt in Tagen <sup>a</sup>	3,29; 1-10	3,75; 1-7
Ambulante Betreuung in Tagen <sup>a</sup>	56,6; 1-119	56,1; 5-159
Meniskusverletzungen	26	34
Meniskusreparaturen	17	20
Zusätzliche Verletzungen des Innenbandes	2	4

Intervall vom Unfall zur Operation in Monaten <sup>a</sup>	3; 0,5-19	4; 0,5-22
Tegner <sup>a</sup>	1,54; 0-4	1,53; 0-3
WOMAC <sup>a</sup>	35; 22-64	38; 23-65
Subjektiver IKDC Score <sup>a</sup>	55; 40-65	58; 35-60
Objektiver IKDC Score		
C (abnormal)	9%	8%
D (schwer abnormal)	91%	92%
Pivot- Shift Test		
2+	9%	10%
3+	91%	90%
Follow- up in Monaten <sup>a</sup>	25; 24-31	26; 24-32

<sup>a</sup> Daten werden in Mittelwert und der Spannweite angegeben

### IV.III. Operationsverfahren

#### IV.III.I. Ligamentum- patellae Einbündeltechnik (LP- EB)

Ein Operateur versorgte einundvierzig Patienten der ersten Gruppe in der LP- EB Technik nach Mariani (50). Das Autograft wurde über einen circa acht cm langen anterioren Hautschnitt über der Mitte der Patella in 90 Grad Flexion des Kniegelenkes gewonnen. Das Subkutangewebe wurde gespreizt und das Paratenon durchtrennt ohne es zu entfernen um nach dem Eingriff den Sehnenrest adäquat verschließen zu können. Das zentrale Drittel der Patellasehne wurde mit einem Skalpell von distal nach proximal entfernt, wobei eine Durchschnittsbreite von zehn mm beibehalten wurde. Das Graft wurde vom restlichen Fettgewebe befreit und der distale wie auch proximale Knochenblock wurde mit einem Meißel so entfernt, dass ein spezifischer Durchmesser von neun bis 11 mm, entsprechend den späteren tibialen und femoralen Bohrkanälen erreicht werden konnte. Das Bohren des tibialen Bohrkanales wurde durch einen kanülierten Bohrer gewährleistet, wobei entsprechend der korrespondierenden Größe

des Durchmessers von neun bis 11 mm ausgegangen wurde. Der femorale Bohrdraht wurde durch größenspezifische Zielgeräte platziert, wobei dies in einem transtibialen Zugang mit 80 Grad Flexion im Kniegelenk durchgeführt wurde. Die Bohrung erfolgte auf 11 Uhr entsprechend einem rechten und ein Uhr entsprechend einem linken Kniegelenk. Die spezifische Tunnelposition ist in Abbildung acht dargestellt. Die Fixation des femoralen Teils wurde durch RIGIDFIX® ACL cross pin system (Johnson & Johnson, New Brunswick, NJ) gewährleistet und die Fixation des tibialen Anteils durch Interferenzschrauben aus Titan.

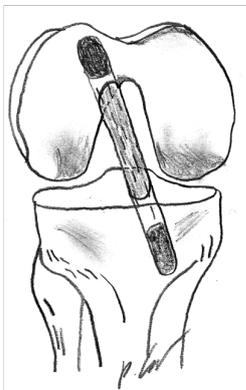


Abbildung 8 – Spezifischen Tunnelplatzierung und Graftposition in der LP- EB Technik (rechtes Knie, femoraler Kanal bei 11 Uhr)

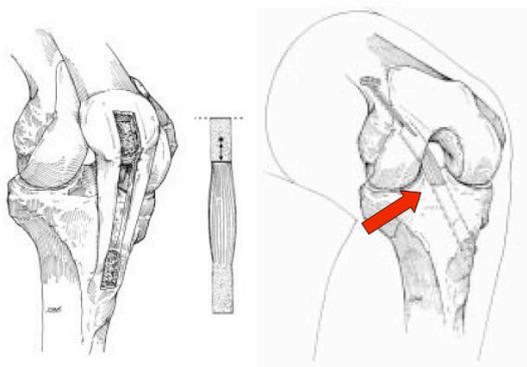


Abbildung 9 – Gewinnung des Grafts aus dem Drittel der Sehne des Ligamentum patellae

Quelle: [http://www.orthop.washington.edu/\\_Rainbow/Album/10357mec0e8985-59d6-4778-ba61-33ae68f7db86.jpg](http://www.orthop.washington.edu/_Rainbow/Album/10357mec0e8985-59d6-4778-ba61-33ae68f7db86.jpg)

#### **IV.III.II. Semitendinosus- gracilis Zweibündeltechnik (STG- ZB)**

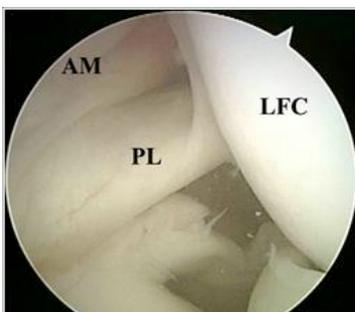
Ein Operateur versorgte einundfünfzig Patienten in der STG- ZB Technik nach Christel et al. (51). Für den Gewinn des STG Grafts mit dem Sehnenstripper war ein anteromedialer Zugang notwendig. Dieser wurde über dem Pes anserinus vier cm distal des anteromedialen Portales inzidiert. Das Graft wurde vom restlichen Fett und Muskelgewebe befreit und die Semitendinosussehne (für die Rekonstruktion des anteromedialen Bündels) sowie die Gracilissehne (für die Rekonstruktion des posterolateralen Bündels) wurde über einen 20 mm EndoButton CL (Smith & Nephew Endoscopy, Mansfield, MA) geschlungen und die distalen freien Enden wurden durch selbstsperrende Nähte versorgt. Anschließend wurden die Durchmesser der Grafts in ein mm Schritten gemessen, bevor die tibialen und femoralen Tunnel korrespondierend zu den Messungen mit einem konventionellen Bohrer tibial wie auch femoral gebohrt wurden. Um eine genaue arthroskopische Sicht auf den Ansatz des VKB zu erlangen wurde der tibiale und femorale Ursprung vom restlichen Weichteilgewebe gesäubert. Die tibialen Tunnel des AM und PL Bündels wurden in einem Winkel von 50° und 45° zum Tibiaplateau gebohrt und beide wurden in die Area intercondylaris anterior in enger Beziehung zum ursprünglichen Zentrum des VKBs gesetzt. Das Bohren des femoralen AM Knochentunnels wurde in einer transartikulären Technik durchgeführt wobei eine Reichweite von vier bis fünf mm unter der „over the top“ Position am ursprünglichen AM Bündel in 120 Grad Flexion des Kniegelenkes angezielt wurde. Die Tunnelplatzierung erfolgte anhand der Arbeiten von Petersen und Zantop (52, 53). Der Knochentunnel des PL Bündels wurde durch das Instrumentarium (Smith & Nephew, London, UK) gebohrt, welches von Pascal Christel (51) beschrieben wurde wobei eine Spannweite fünf bis sieben mm hinter der vorderen Knorpelgrenze des lateralen Femurkondyls angezielt wurde. Die spezifischen Tunnelplatzierung und Graftposition in der STG- ZB Technik ist in Abbildung 12 abgebildet. Bevor eine Kraft nach distal

ausgeübt werden konnte musste der EndoButton geflippt werden. Die Fixierung der femoralen Anteile wurde durch ebendiesen EndoButton CL (Smith & Nephew Endoscopy, Mansfield, MA) gewährleistet und die Fixierung des tibialen Anteiles durch bioresorbierbare Interferenzschrauben (Milago; DePuy Mitek Inc, Norwood, MA), wobei mit einer Federwaage 30N Spannung vor der Fixation aufgebaut wurde. Während das AM Bündel in 30 bis 40 Grad Flexion des Kniegelenkes fixiert wurde, waren im PL Bündel zehn Grad Flexion eingestellt. Nach Fixation beider tibialer und femoraler Anteile wurde arthroskopisch unter Sicht der Bewegungsumfang (ROM) getestet um mögliches Impingement oder Notching auszuschließen. Wir berichten keinerlei davon in den 92 Fällen beider Gruppen und daher war es nicht nötig eine Notchplastik durchzuführen.



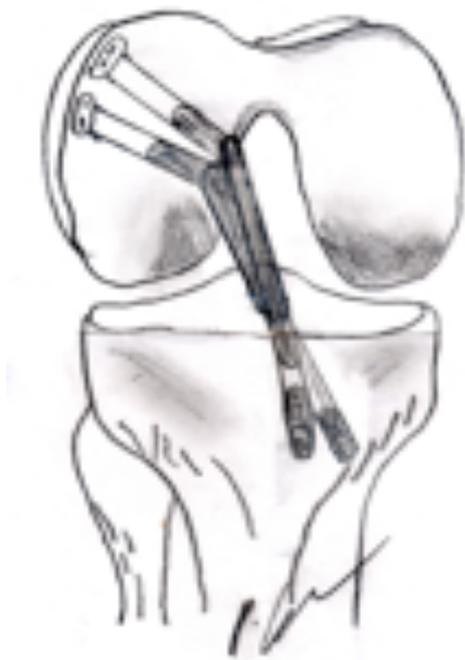
**Abbildung 10 – „Empty wall sign“ in der Arthroskopie nach Ruptur des VKB**

**Quelle: Zur Verfügung gestellt aus dem Unfallkrankenhaus Linz**



**Abbildung 11 – Makroskopische Darstellung des AM und PL Bündels**

**Quelle: [http://www.orthonet.pitt.edu/content/DoubleBundle\\_files/image051.jpg](http://www.orthonet.pitt.edu/content/DoubleBundle_files/image051.jpg)**



**Abbildung 12 – Spezifische Tunnelplatzierung und Graftposition in der STG- ZB Technik**

#### **IV.IV. Klinische Untersuchung**

##### **IV.IV.I. Präoperative Untersuchung**

Bei der präoperativen Untersuchung litten alle Patienten an klinischen instabilen Kniegelenken mit Attacken von “giving way” und positiven Lachman und Pivot-shift Tests (54) im Kniegelenk. MRT Untersuchungen bestätigten die definitive Diagnose der VKB Rupturen. Alle Eingriffe wurde mindestens zwei Wochen nach dem initialen Trauma durchgeführt (Median 23; Spannweite von 2 bis 28), wobei die Patienten einen Bewegungsumfang von mindestens 90 Grad hatten und ihre Kniegelenke voll strecken konnten. Zusätzlich mussten die Patienten vor dem Eingriff fähig sein ohne Krücken schmerzfrei zu gehen. Die präoperativen Scores (Tegner (46), WOMAC (47), IKDC (48)) zeigten keinerlei statistisch signifikanten Unterscheid zwischen beiden Gruppen.

#### IV.IV.II. Untersuchung zum Follow- up

Bei postoperativem minimum Follow- up von zwei Jahren wurden die Patienten erneut evaluiert, wobei der Untersucher komplett unabhängig war (ohne finanzielles Interesse oder Beziehung zu einer Firma) und in der Beurteilung von Kniegelenken geschult war. Zum Untersuchungszeitpunkt wurden beide Kniegelenke durch einen Strumpf verhüllt um die Hautinzision zu verbergen. Alle Patienten wurden anhand des Tegner (46), WOMAC (47), IKDC Scores (48), und KT 1000 knee arthrometer® (55) (MEDmetric Corporation, San Diego, CA, USA) untersucht, um deren subjektives und objektives klinisches Outcome zu beurteilen. Zusätzlich wurden die aufgetretenen Komplikationen beider Gruppen entsprechend der Arbeit von Goslings und Gouma (56) klassifiziert. Demnach wurden die aufgetretenen Komplikationen in insgesamt 5 Grade eingeteilt. “Grad 0” entspricht keinerlei Schaden, “Grad 1” entspricht einem temporären Schaden ohne notwendiger Reoperation, “Grad 2” entspricht einer Resitutio ad Integrum nach erfolgter Reoperation, “Grad 3” entspricht einem permanenten Schaden, “Grad 4” dem Tod des Patienten durch den Eingriff und “Grad 5” entspricht einem Tod aufgrund einer anderen Ursache als der erfolgten Therapie.



Abbildung 13 – KT 1000 Messungen in vivo

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)



**Abbildung 14 – KT 1000 Messungen am relaxierten Patienten**

Quelle: [www.kneejointssurgery.com/pics](http://www.kneejointssurgery.com/pics)

#### **IV.V. Rehabilitation**

Derselbe klinische Nachbehandlungspfad wurde in allen Patienten beider Gruppen angewendet. Keinerlei Drains oder Bandagen wurden verwendet. Am ersten postoperativen Tag wurde mit der Physiotherapie entsprechend des ansteigenden Protokolls von Shelbourne and Nitz (49) begonnen. Gehen mit Teilbelastung war unmittelbar nach dem Eingriff erlaubt. Radfahren oder Schwimmen erst vier bis fünf Monate nach dem Eingriff und Sportarten mit hohen Beanspruchungen für das Kniegelenk wie beispielsweise Schifahren, Tennisspielen oder Volleyball erst nach einem Jahr.

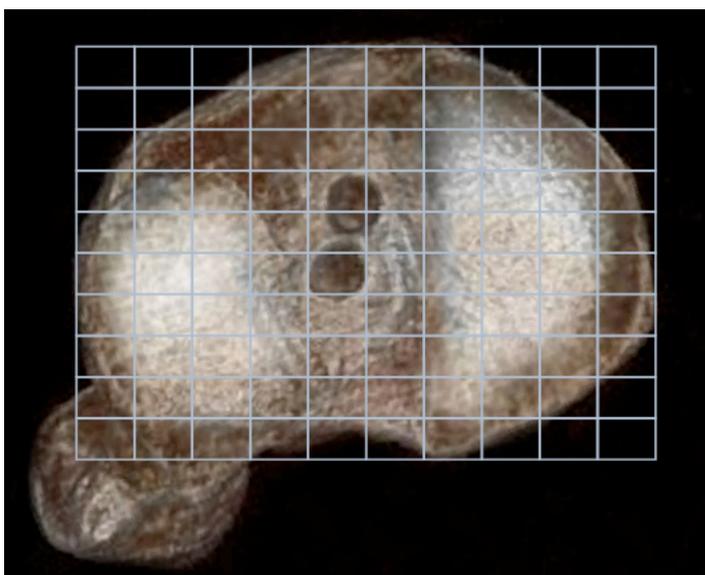
#### **IV.VI. Radiologische Analyse der Tunnelposition entsprechend der Ergebnisse anhand von 3D CTs**

Dreiundfünfzig dreidimensionale CT Aufnahmen (Siemens Somatom Sensation 16 Sliding Gantry, Berlin, GERMANY) aus siebenundzwanzig VKB Rekonstruktionen in der LP-EB Technik und 25 in der STG-ZB Technik wurden hinsichtlich der tibialen und

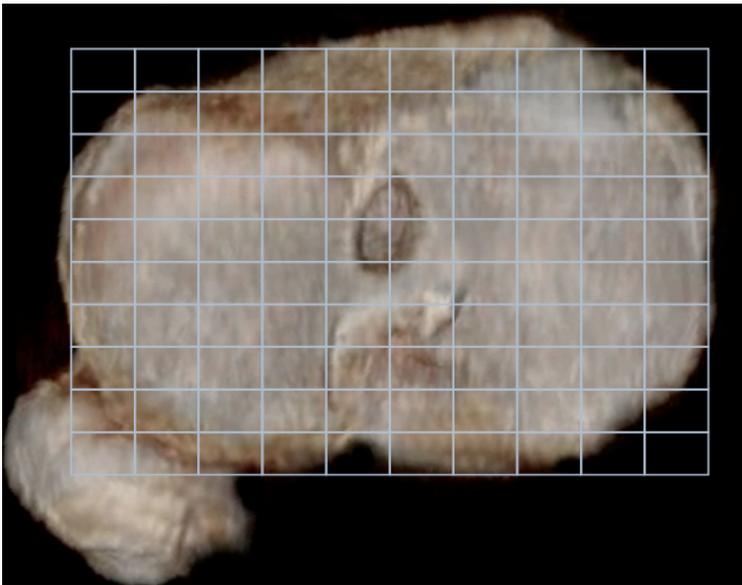
femorale Tunnelposition ein Jahr postoperativ evaluiert. Wir schlossen all jene Patienten in die ein, die einer weiteren radiologischen Untersuchung durch CT schriftlich zustimmten. Es galten dieselben Ein- und Ausschlusskriterien wie zur klinischen Nachuntersuchung. Die Patienten wurden in anatomisch und nicht-anatomisch platzierte VKB Rekonstruktionen anhand der Arbeiten von Petersen und Zantop eingeteilt (52, 53).

#### **IV.VI.I. Anatomische klinische Ergebnisse**

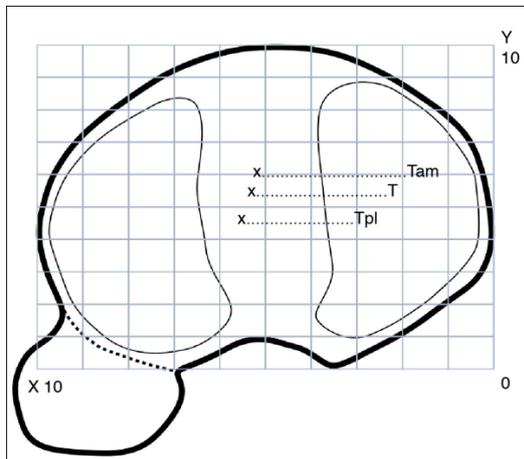
Um die Rekonstruktionen in anatomische und nicht-anatomische zu unterteilen, wurden die dreidimensionale CT Untersuchungen wie folgt beurteilt und eingeteilt: Die tibialen Tunnelplatzierungen wurden händisch auf einer exakt kranio- kaudalen Ebene anhand eines Koordinatensystems vermessen. Das Koordinatensystem wurde entsprechend den Abbildungen 15, 16 und 17 angelegt, wobei die Werte 0 auf der X und Y- Achse im posteromedialen Eck auf dem dem Tibiaplateau überschriebenen Rechteck angesetzt wurden. Sowohl die Länge als auch die Weite dieses Rechteckes wurden bis 10 skaliert.



**Abbildung 15 – Tibiale Sicht einer STG- ZB Rekonstruktion**



**Abbildung 16 – Tibiale Sicht einer LP- EB Rekonstruktion**



**Abbildung 17 – Tibiale Sicht mit dem überschriebenen Koordinatensystem. Tibiales antero- mediales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Tam), tibiales postero- laterales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Tpl) und tibiales Tunnelloch in der Einbündeltechnik (T)**

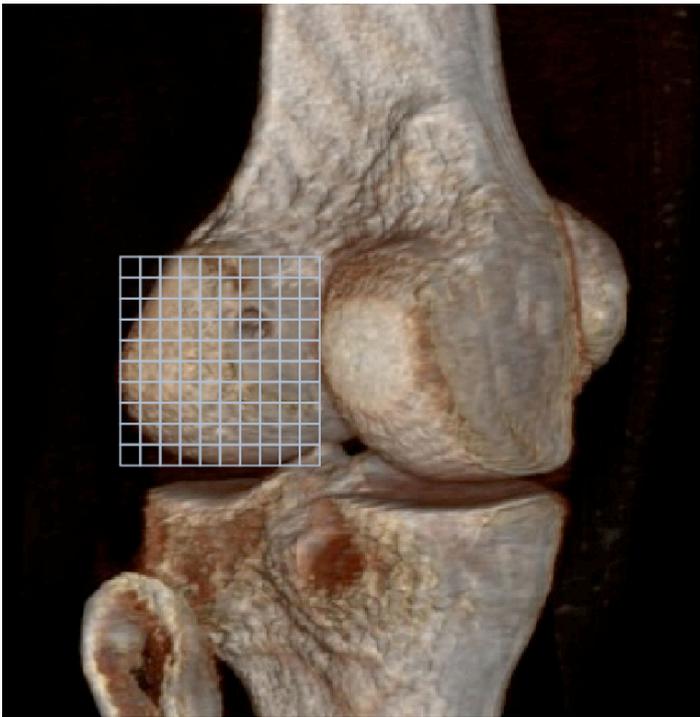
Um die Tunnelposition in der interkondylären Notch besser beurteilen zu können, wurde erst eine exakt posterior- anteriore Sicht konstruiert. Anschließend wurde das Bild exakt 45 Grad nach innen rotiert, um eine optimale Sicht auf die Insertionsstelle zu gewährleisten. Dies wurde anhand des Programms “Osseous Shaded” Volume Rendering Technique (VRT) (Fovia Medical, Inc., Palo Alto, US-CA) (Abbildung 18 - 21) durchgeführt.



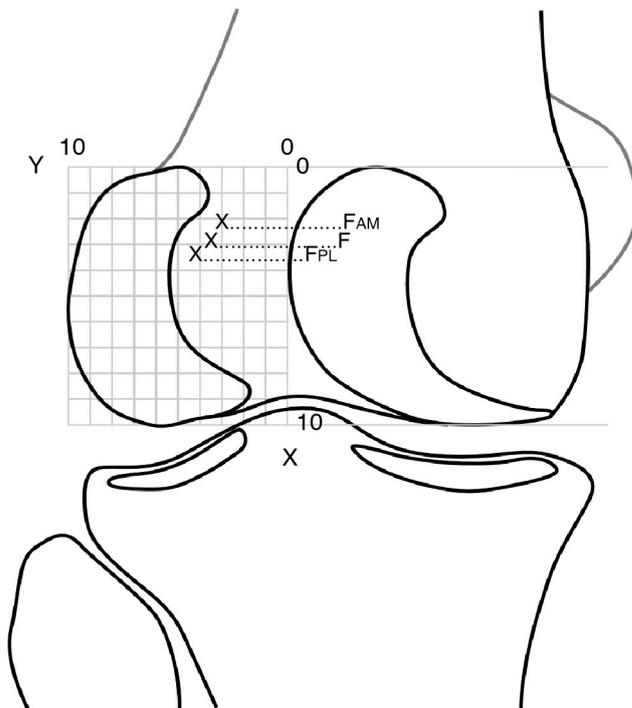
**Abbildung 18 – 45° Innenrotation der posterior- anterioren femoralen Sicht mit Koordinatensystem**



**Abbildung 19 – Femorale Sicht einer STG- ZB Rekonstruktion**



**Abbildung 20 – Femorale Sicht einer LP- EB Rekonstruktion**



**Abbildung 21 – Femorale Sicht mit dem überschriebenen Koordinatensystem. Femorales antero-mediales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Fam), femorales postero- laterales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Fpl) und femorales Tunnelloch in der Einbündeltechnik (T)**

Die X-Koordinate (kranio- kaudal) wurde am kranialen Anfang des Kondylus angesetzt und lief bis zu dessen kaudalen Ende entsprechend den Werten von null bis zehn. Die Y- Koordinate wurde am rotierten Bild am lateralen Ende der medialen artikulierenden Fläche des Femurs festgesetzt und lief bis zum lateralen Ende des lateralen artikulierenden Kondylus entsprechend den Werten von null bis zehn wie in Abbildung 21. Zwei Untersucher die hinsichtlich der klinischen Ergebnisse der Patienten verblindet waren führten die o.g. Evaluation in allen Fällen zweimal durch mit einer Pause von zwei Wochen dazwischen. Wir definierten anatomisch und nicht- anatomisch platzierte tibiale und femorale Tunnelpositionen anhand der Arbeiten von Zantop und Petersen (52, 53). Demnach wurden anhand dieser Arbeiten von fünf Untersuchern die anatomischen Punkte auf dem Koordinatensystem zweimal platziert. Dabei konnten die folgenden Punkte mit einer exzellenten inter- und intraobserver Übereinstimmung von  $P > 0,91$  als anatomisch identifiziert werden (Tabelle fünf):

*Tabelle 5 – Anatomisch versus nicht- anatomisch platzierte VKBs, evaluiert durch dreidimensionale CTs. Die Werte entsprechen den Koordinaten im Koordinatensystem in Abbildung 17 und 21.*

	Anzahl
LP-EB (n= 27)	27
Anatomisch	
T (5,3/ 5,5)	18
F (2,9/ 3,5)	17
Nicht-anatomisch	
T (<4,8, >5,8/ <5,0, >6,0)	9
F (<2,4,>3,4/ <3,0, 4,0)	10
Anatomische LP-EB	17

Nicht-anatomische LP-EB	10
STG-ZB (n= 26)	
Anatomisch	
Tam (5,2/ 6,0)	16
Tpl (25,5/ 4,5)	19
Fam (2,1/3,0)	20
Fpl (3,4/4,4)	16
Nicht-anatomisch STG-ZB	
Tam (<4,7/5,7; <5,5/>6,5)	10
Tpl (<5,0/ 6,0; <4,0/ <5,0)	7
Fam (<1,6; >2,6; <2,5/ >3,5)	6
Fpl (<2,9/ >3,9; <3,9/ >4,9)	10
Anatomische STG-ZB	16
Nicht-anatomische STG-ZB	10

Als anatomisch platzierte VKB Rekonstruktion wurde eine VKB- Plastik nur dann gewertet, wenn alle Punkte anatomisch gesetzt werden konnten. Dabei galten die in Tabelle fünf angegebenen Werte als Toleranzniveau.

#### **IV.VII. Statistische Analyse**

Die Gruppenvergleichbarkeit wurde durch eine matched- pair Analyse entsprechend der Tabelle eins gewährleistet. Gruppenunterschiede wurden für Ordinalvariablen berechnet, und zwar durch einen Student's t test für kontinuierliche Variablen und einen Fisher exact test für kategoriale Variablen. Um die Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit der radiologischen Methode zu evaluieren wurde ein intraclass Koeffizient für die interobserver Reliabilität und ein Cohen's cappa Koeffizient für die intraobserver Reliabilität berechnet. Der Cohen's cappa Koeffizient ist ein Maß für die

Übereinstimmung mehrerer Messungen, wobei ein Wert von -1 bis 1 möglich ist und -1 überhaupt keine Übereinstimmung und 1 eine absolute Übereinstimmung bedeutet.

Zur statistischen Analyse wurde das Programm SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) verwendet, wobei ein p-Wert von  $< 0,05$  als signifikant angenommen wurde.

## V. Ergebnisse

### V.I. Bewertung von subjektiven klinischen Scores und Messungen

Die Bewertung des Tegner (46), WOMAC (47), und subjektiven IKDC Scores (48) zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Alle Patienten aus beiden Gruppen konnten postoperativ ohne Krücken gehen. Das Pivot-Shift Zeichen als Teil des objektiven IKDC Scores war in der Zweibündeltechnik signifikant mit einem p-Wert von  $< 0,0008$  überlegen. Außerdem gab es signifikant weniger Patienten mit vorderem Knieschmerz in der Zweibündeltechnik mit einem p-Wert von 0,001 im Gegensatz zur LP- EB Technik. Weitere Daten werden in Tabelle sechs dargelegt.

*Tabelle 6 Postoperative klinische Bewertung der LP- EB Technik und STG- ZB Technik bei Follow- up hinsichtlich der subjektiven klinischen Scores (Tegner, WOMAC, subjektiver IKDC) und Meßmethoden (Pivot- Shift Test, vorderer Knieschmerz) zwei Jahre postoperativ.*

	LP- EB; n= 41	STG- ZB; n= 51	p -Wert
Tegner (postoperativ) <sup>a</sup>	5,32; 2 - 10	5,53; 3 - 10	p =0,57
Tegner (Differenz) <sup>a, b</sup>	3,78; 0 - 8	3,8; 1 - 8	p =0,69
IKDC subjektiv <sup>a</sup>	69; 0 - 100	79; 25 - 100	p =0,09
WOMAC <sup>a</sup>	96,2; 75 - 100	97,7; 83,3 - 100	p =0,076
Pivot- Shift Test <sup>c</sup>			p =0,0008
0	49%	84%	
1+	51%	14%	
2+	0	2%	
3+	0	0	
Vorderer Knieschmerz <sup>c</sup>			p =0,001
0 (keiner)	48%	75%	
1 (kaum)	52%	25%	

2 (moderat)	0	0
3 (schwer)	0	0

- <sup>a</sup> Die Zahlen werden durch den Median und die Spannweite angegeben.
- <sup>b</sup> Differenz zwischen dem prä- und postoperativen Tegner Score als Hinweis der Verbesserung der Gelenksfunktion Tegner
- <sup>c</sup> Dies stellt einen Teil des objektiven IKDC Scores dar.

Folgende Nullhypothese konnten daher nicht verworfen werden:

$H_{01}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Tegner, IKDC und WOMAC Scores zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

Die folgende Nullhypothese konnte verworfen werden:

$H_{03}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Pivot-Shift Tests zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

## V.II. Bewertung von objektiven klinischen Scores und Messungen

Die Operationszeit war in der Zweibündeltechnik signifikant länger. Die seit-zu-seit anterior-posterior Translation (KT 1000) zeigte keinerlei statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen auf mit einem  $p = 0,57$ . Der Vergleich des objektiven IKDC Scores zeigte ebenso keinerlei statistisch signifikanten Unterscheid zwischen beiden Gruppen (LP- EB versus STG- ZB) mit  $p = 0,055$ . Die Beurteilung des „one leg hop tests“ sowie des Beuge und Streckdefizits zeigte keinerlei statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen.

*Tabelle 7 Klinische Beurteilung der LP- EB und STG- ZB Technik bei Follow- up*

durch objektive klinische Scores und Messmethoden.

	LP-EB; n= 41	STG-ZB; n= 51	p -Wert
Operationszeit in Minuten <sup>a</sup>	61,3; 40-93	84,3; 56-117	p <0,05
KT 1000 seit-zu-seit	+1,38; -3,0 - +7,0	+1,16; -4,0 - +7,0	p =0,57
Unterschied in mm <sup>b</sup>			
IKDC objektiv			p =0,055
A (normal)	16%	36%	
B (annähernd normal)	79%	55%	
C (abnormal)	3%	9%	
D (sehr abnormal)	3%	0	
one leg hop test <sup>c</sup>			p =0,5
>90%	69%	61%	
89-75%	28%	37%	
74-50%	3%	2%	
<50%	0	0	
Passives Streckdefizit <sup>c</sup>			p =0,84
<3°	90%	91%	
3-5°	10%	9%	
6-10°	0	0	
>10°	0	0	
Passives Beugedefizit <sup>c</sup>			p =0,85
0-5°	92%	91%	
6-15°	8%	9%	
16-25°	0	0	
>25°	0	0	

<sup>a</sup> Die Zahlen werden durch den Median und die Spannweite angegeben.

<sup>b</sup> Der seit-zu-seit Unterschied wird durch das KT1000® Arthrometer bei 143 N in 20° Flexion des Kniegelenkes gemessen. Positive Werte repräsentieren weniger straffe Gelenke im Vergleich zur kontralateralen gesunden Seite und negative Werte straffere im Vergleich zur kontralateralen Seite.

<sup>c</sup> Dies ist ein Teil des objektiven IKDC Scores.

Folgende Nullhypothese konnten daher nicht verworfen werden:

$H_{02}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der erhobenen KT 1000 Relativwerte im Vergleich zur Gegenseite zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

### **V.III. Komplikationen**

Die Komplikationen wurden anhand der Arbeit von Goslings and Gouma (56) klassifiziert, die eine „severity scale“ von „Grad 1“ bis „Grad 5“ beschreiben. Fünf Komplikationen werden im gesamten Patientenkollektiv beschrieben. Zweimal kam es zu einem Versagen des Autografts nach einem neuerlichen Trauma beim Sport, jeweils in der LP-EB Technik entsprechend „Grad 3“. Ein männlicher Patient in der LP-EB Gruppe war während der Untersuchung nicht zu weiteren Tests bereit, weil er mit seinem Ergebnis sehr unzufrieden war, entsprechend „Grad 2“. Zwei Komplikationen traten in der STG- ZB Gruppe auf, und zwar postoperative Hämatombildungen an der Entnahmestelle der Autografts. Ein Fall musste Revidiert werden, entsprechend „Grad 2“. Kein Patient in beiden Gruppen erlitt Komplikationen in der Wundheilung oder postoperative Infekte.

### **V.IV. Einteilung in anatomisch und nicht- anatomisch platzierte VKB**

#### **Rekonstruktionen durch Vermessung der Tunnelpositionen**

Die dreidimensionalen CT Aufnahmen der tibialen und femoralen Schicht konnten in 52 Patienten an 53 Kniegelenken wie beschrieben Rekonstruiert werden. Entsprechend der Toleranzniveaus für anatomisch platzierte Tunnelpositionen und der Annahme, dass alle Punkte anatomisch gesetzt werden mussten, wurden insgesamt 17 Patienten als anatomisch und zehn Patienten als nicht-anatomisch in der LP- EB Technik und 16 Patienten als anatomisch und zehn Patienten als nicht- anatomisch in der STG- ZB

Technik beurteilt. Anatomisch und nicht- anatomisch platzierte VKB Rekonstruktionen wurden mit dem klinischen Outcome korreliert. Ergebnisse der Unterschiede hinsichtlich klinischer Scores, KT 1000 Werten und dem Pivot- Shift Test zwischen anatomisch und nicht anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen werden in Tabelle acht aufgezeigt. Dabei werden die klinischen Ergebnisse der anatomischen und nicht-anatomischen VKB Rekonstruktionen in der Einbündeltechnik und Zweibündeltechnik mit den klinischen Scores korreliert. Die Signifikanzwerte geben dabei an, ob hinsichtlich des klinischen Scores beim Follow- up von einem Jahr ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen anatomischen und nicht- anatomischen VKB Rekonstruktionen besteht.

*Tabelle 8 – Unterschiedliches Outcome von anatomisch versus nicht- anatomisch platzierten VKBs hinsichtlich klinischer Scores.*

	anatomisch		nicht- anatomisch		Signifikanter Unterschied*	Signifikanter Unterschied **
	LP- EB n = 17	STG- ZB n= 16	LP- EB n = 10	STG- ZB n = 10	LP- EB	STG- ZB
<b>Tegner diff***</b>	3,82; 0-8	3,86; 1-8	3,38; 1-6	3,46; 1-7	p< 0,05	p< 0,05
<b>WOMAC</b>	96,2; 75 - 100	97,7; 83,3 – 100	88,2; 75 - 100	91,3; 83.7 – 100	keiner	keiner
<b>Subjektiver IKDC</b>	71; 0 - 100	80; 25 – 100	61; 0 - 100	68; 25 – 100	p< 0,05	p< 0,05
<b>Objektiver IKDC</b>						
A	82,4%	86,7%	20%	10%	p< 0,05	p< 0,05
B	17,6%	12,3%	60%	60%	p< 0,05	p< 0,05
C			20%	30%	p< 0,05	p< 0,05

\*\*\* Tegner diff: ist die Differenz zwischen präoperativen und postoperativen Tegner

Score

*Tabelle 9 – Unterschiedliches Outcome von anatomisch versus nicht-anatomisch platzierten VKBs hinsichtlich objektiver Messmethoden.*

	anatomisch		nicht-anatomisch		Signifikanter Unterschied*	Signifikanter Unterschied**
	LP- EB n = 17	STG- ZB n= 16	LP- EB n =10	STG- ZB n = 10	LP- EB	STG- ZB
KT 1000	+1,26; -3,0 - +7,0	+1,06; -4,0 - +7,0	+2,58; -2,0 - +7,0	+2,36; -2,0 - +7,0	p< 0,05	p< 0,05
Pivot- Shift Test						
O (equal)	82,4%	86,7%	20%	30%	p< 0,05	p< 0,05
1+ (glide)	17,6%	12,3%	50%	50%	p< 0,05	p<0,05
2+ (clunk)			30%	20%	p<0,05	p<0,05
3+ (gross)						

Die folgenden Nullhypothesen konnten daher verworfen werden:

$H_{04}$ : Die zweimalige radiologische Konstruktion und Beurteilung der Tunnelposition in beiden Techniken (LP- EB; STG- ZB) durch zwei unterschiedliche Untersucher ist nicht reproduzierbar und zuverlässig, was sich durch nicht adequate inter- und intraobserver Koeffizienten zeigt

$H_{05}$ : Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der LP- EB Technik.

$H_{06}$ : Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der STG- ZB Technik.

## V.V. Ergebnisse der Gonarthrose nach Brandt

Die radiologische Bewertung hinsichtlich der Gonarthrose durch die Klassifikation nach Brandt ist in Tabelle acht abgebildet. Die interobserver Reliabilität nach vier Messungen wurde durch den Cappa Koeffizient evaluiert, wobei eine „fast perfekte“ Übereinstimmung mit einem p- Wert von  $> 0,81$  berechnet wurde. Die Aussagekraft der Daten nach zwei Jahren ist nicht derart aussagekräftig wie bei Frobell et al. (1). Die Daten weisen keinerlei statistisch signifikanten Unterschied auf und werden der Vollständigkeit angegeben. Diese Ergebnisse sind nicht in den Nullhypothesen erfragt worden und werden im Sinne einer full disclosure angeführt, da sie ebenfalls erhoben wurden.

*Tabelle 10 Radiologische Beurteilung der LP- EB und STG- ZB Technik anhand der Klassifikation nach Brandt (57).*

	LP- EB; n= 27	STG- ZB; n= 25	p >0,1
Grad 0 *	20	23	
Grad 1 **	7	2	
Grad 2 ***	0	0	
Grad 3 ****	0	0	
Grad 4 *****	0	0	

\* kein verringerter Gelenkspalt oder Zeichen von Osteoarthrose

\*\* Gelenkspaltverschmälerung um weniger als 25% mit sekundären Zeichen der Osteoarthrose

- \*\*\* Gelenksspaltverschmälerung zwischen 25% und 50% ohne sekundären Zeichen der Osteoarthrose
- \*\*\*\* Gelenksspaltverschmälerung zwischen 50% und 75% mit sekundären Zeichen der Osteoarthrose
- \*\*\*\*\* Gelenksspaltverschmälerung über 75%

## **V.VI. Zusammenfassung der Bewertung der Nullhypothesen**

Folgende Nullhypothesen konnten durch diese Arbeit nicht verworfen werden:

$H_{01}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Tegner, IKDC und WOMAC Scores zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

$H_{02}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der erhobenen KT 1000 Relativwerte im Vergleich zur Gegenseite zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

Die folgenden Nullhypothesen konnten durch diese Arbeit verworfen werden:

$H_{03}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Pivot- Shift Tests zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

$H_{04}$ : Die zweimalige radiologische Konstruktion und Beurteilung der Tunnelposition in beiden Techniken (LP- EB; STG- ZB) durch zwei unterschiedliche Untersucher ist nicht reproduzierbar und zuverlässig, was sich durch nicht adequate inter- und intraobserver Koeffizienten zeigt

*H<sub>05</sub>*: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB

Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der LP- EB Technik.

*H<sub>06</sub>*: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB

Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der STG- ZB Technik.

## **VI. Diskussion**

### **VI.I. Historischer Überblick**

Die aktuelle Studienlage beschreibt einen Trend der VKB Rekonstruktion in Richtung STG- ZB Technik (27, 41, 42, 58). Während die ersten Ergebnisse im Vergleich zur LP- EB Technik unterlegen waren (44), wiesen weitere Analysen auf die Notwendigkeit einer genaueren Beurteilung der Fixation des Grafts hin, um die beiden Techniken angemessener zu vergleichen (59). Nach der Einführung neuer Fixationsmethoden in den STG Techniken kam es zu besseren subjektiven und objektiven Resultaten (27, 41, 42). Verschiedene Zentren bevorzugten die STG- ZB Technik aufgrund geringerer Raten an vorderen Knieschmerz, einer höheren Rotationsstabilität (41, 43, 60) und des Umstandes, dass die mechanische Belastbarkeit der STG- Grafts im Alter erhalten bleibt, während jene des LP- EB Grafts mit Fortdauer der Zeit abnimmt (61). Unsere Studie wurde durchgeführt um dieses vergleichende Setting erneut zu evaluieren und um den Trend der VKB Rekonstruktionen hinsichtlich der STG- ZB Technik zu diskutieren.

### **VI.II. Graftfixation in der LP- EB und STG- ZB Technik**

Zur Fixation in der LP-EB Technik wurden Rigidfix transcondyläre Pins (Johnson & Johnson, New Brunswick, NJ) verwendet um der Technik der STG- ZB besser zu entsprechen. Um eine zu vertikale “high noon” Position auf 12 Uhr zu vermeiden wurde der unterst mögliche Punkt in der femoralen Notch angezielt und der femorale Bohrdraht wurde fünf mm anterior des posterioren Kortex platziert, um eine ein bis zwei mm starke kortikale Brücke zu erhalten, bevor im Fall von rechten Kniegelenken auf 11 Uhr und im Fall von linken Kniegelenken auf ein Uhr gebohrt wurde. Um die Patienten der STG- ZB Gruppe mit angemessenen Fixationsmethoden zu versorgen,

verwendeten wir jene Materialien, welche bereits als biomechanischen adäquat beurteilt worden waren (41-44). Alle vier Teile des STG- Grafts wurden parallel eingezogen um sie gleichmäßig zu belasten und das AM und PL Bündel wurde in unterschiedlicher Flexion des Kniegelenkes fixiert wie in der Methodik beschrieben. Zusätzlich wurden die Grafts mit 30 N durch eine Federwaage vorgeladen (51).

### **VI.III. Subjektive klinische Scores und Messungen (Rotationsstabilität, vorderer Knieschmerz)**

Wir beschreiben keinerlei signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der konventionellen subjektiven Scores (Tegner, subjektiver IKDC und WOMAC Score). Dies entspricht den Ergebnissen der Literatur im Vergleich der STG-EB mit der STG- ZB oder LP- EB Technik (27, 41- 44). Aufgrund dieser Datenlage gibt es daher keinerlei Rechtfertigung für diesen Trend in Richtung STG- ZB Rekonstruktion des VKB.

Obwohl der Pivot- Shift Test ein Teil des objektiven IKDC Scores darstellt (48), ist es eine subjektive Methode zur nicht- invasiven Beurteilung der Rotationsstabilität in vivo, welche vom subjektiven Eindruck des Untersuchers abhängt (54).

In vitro Studien haben gezeigt, dass ebendiese Rotationsstabilität durch die Zweibündeltechnik besser gewährleistet werden kann (25, 27). Zusätzlich konnten Kocher et al. Zeigen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Patientenzufriedenheit und dem Grad des Pivot- Shift Phänomens gibt, während die anterior- posterior Translation weniger zur Patientenzufriedenheit und dem subjektiven Ergebnis beiträgt (60). Daher wird offensichtlich, dass eines der Hauptziele der VKB Rekonstruktion eine exakte Wiederherstellung der Rotationsstabilität darstellen sollte. Bisher gab es verschiedene Versuche diese Rotationsstabilität in vitro zu evaluieren (25, 27).

Obwohl die Beurteilung des vorderen Knieschmerzes einen Teil des objektiven IKDC Scores darstellt, handelt es sich hierbei um eine vom Patienten subjektiv beantwortete Frage, welche durch uns nicht objektiv quantifiziert werden kann. Bezüglich des vorderen Knieschmerzes bleibt festzuhalten, dass wenn immer der Streckapparat im Kniegelenk massiv beansprucht wird (wie etwa beim forcierten Springen) oder Patienten lange knien oder tiefe Kniebeugen ausführen müssen in der STG- EB oder STG- ZB Technik weniger vorderer Knieschmerz angegeben wird als in der LP- EB Technik (1). Da durch den Seniorautor eine acht cm lange Inzision im Fall der LP- EB Technik über der Patella durchgeführt wurde ergibt sich daraus die potentielle Gefahr einer Verletzung eines Astes des Nervus Saphenus, was zu Dysaesthesien führen kann. Der vordere Knieschmerz ist ein wichtiger Punkt in bestimmten Berufen oder ethnischen Gruppen und sollte daher mit den Patienten vor dem Eingriff besprochen werden.

#### **VI.IV. Objektive klinische Scores (objektiver IKDC Score) und Messungen (Anterior- posterior Translation)**

Wie berichtet gibt es im objektiven IKDC Score subjektive Teile, wie die Beurteilung der Rotationsstabilität durch den Pivot- Shift Test, der vom subjektiven Gefühl des Untersuchers abhängt, oder den vorderen Knieschmerz, der von den Patienten subjektiv bewertet wird und von uns nicht in seiner Intensität objektiv evaluiert werden kann.

Messungen mit dem KT 1000 Arthrometer, der Range of Motion (ROM) und auch der „one leg hop test“ sind zuverlässige objektive Methoden um die beiden Gruppen (LP- EB und STG- ZB) miteinander zu vergleichen. Nichtsdestotrotz können wir keinerlei signifikanten Unterschied im gesamten objektiven IKDC Score beschreiben. Eine genaue Beobachtung der Literatur zeigt, dass es in der STG- ZB Technik bessere Ergebnisse hinsichtlich des Pivot- Shift Tests und ein geringeres Ausmaß am vorderen

Knieschmerzes im Vergleich zur LP- EB Technik gibt, jedoch wird kein statistisch signifikant überlegener objektiver IKDC Score per se beschrieben. Dies entspricht auch unserer Datenlage mit einer „boarderline“ Signifikanz von  $p= 0,055$ . Der Grad der Translation zwischen Tibia und Femur nach Rekonstruktion des VKB ist von verschiedenen Variablen abhängig, wie der Rotation des Grafts, der Flexion im Kniegelenk, der Vorspannung des Grafts bei der definitiven Fixation, dem Einheilen des Knochenblocks in der LP- EB Technik und der postoperativen Rehabilitation (1, 3, 6). Der optimale Grad an tibialer Translation nach anterior nach VKB Rekonstruktionen ist noch nicht bekannt, wobei das gesunde kontralaterale VKB als Orientierungshilfe dient (41). Weiters gibt es Hinweise auf zu straffe Rekonstruktionen in der STG- ZB Technik nach KT 1000 Messungen von einem Median von 1,0 mm bei einer Spannweite von null mm bis vier mm in der STG- ZB Gruppe versus einem Median von 1,6 mm mit einer Spannweite von null mm bis fünf mm in der STG- EB Gruppe (41). Unsere Ergebnisse zeigen diesbezüglich lediglich einen kleinen mittleren Unterschied von 0,22mm zwischen den beiden Gruppen. Diesen kleineren Unterschied liegen womöglich vor, weil die Patienten dieser Studie mit einer (relativen straffen) Federwaage mit einer Spannung von 30 N fixiert worden waren. Diese strafferen Ergebnisse in der Zweibündeltechnik können durch das zusätzliche postero- laterale Bündel erklärt werden, welches zwischen null und 30 Grad zusätzlich zur anterior- posterioren Translationsstabilität beiträgt (41, 51).

#### **VI.V. Kostenanalyse**

Nach Brophy et al. (62) wurden die Kosten der VKB Rekonstruktionen hinsichtlich der unterschiedlichen Techniken aufgeschlüsselt. Die Arbeitsgruppe berechnete, mit welchem finanziellen Aufwand eine Umstellung von STG- Einbündel auf STG- Zweibündeltechnik verbunden wäre. Ihr Berechnungsmodell bezieht sich auf die VKB

Rekonstruktionen die jährlich in den USA durchgeführt werden. Es wird von 200 000 Rekonstruktionen ausgegangen (63).

Die Arbeitsgruppe gibt folgende drei Finanzbeispiele und Ausgangssituationen an:

1.: Lediglich 50% aller VKB Rekonstruktionen würden von EB auf ZB umgestellt werden und lediglich die zusätzlichen Materialkosten würden addiert werden.

Schlussfolgerung: Um Kosteneffektiv von EB auf ZB umzustellen müsste eine hypothetische Revisionsrate von 4% auf 1,5% fallen.

2.: Wie 1. mit einer zusätzlichen finanziellen Belastung von 30 weiteren Minuten Operationszeit.

Schlussfolgerung: Um Kosteneffektiv von EB auf ZB umzustellen müsste eine hypothetische Revisionsrate von 5,9% auf 0% fallen.

3.: Wie 1. und 2. mit den zusätzlichen Kosten eines zweiten Allografts und der Umstellung der Operation in allen Fällen (100%).

Schlussfolgerung: Um Kosteneffektiv von EB auf ZB umzustellen müsste eine hypothetische Revisionsrate von 24,1% auf 0% fallen.

Durch diese Ergebnisse zeigt sich ein Wechsel von LP- EB auf STG- ZB

Rekonstruktionen als weniger sinnvoll.

Nach Fu et al. (64) liegt die Revisionsrate nach STG- ZB Rekonstruktionen bei einem minimum Follow-up von zwei Jahren bei 8%. Dementsprechend ist eine Kostendeckung nicht einmal theoretisch möglich.

## **VI.VI. Studienübersicht**

Nach Meredick et al. (65) wurde in einer Metaanalyse die Präferenz verschiedener Studien hinsichtlich der Differenz der erhobenen KT 1000 Relativwerte durchgeführt.

Werte im positiven Bereich über Null bedeuten eine Bevorzugung der Studie

hinsichtlich der Einbündelmethode; Werte unter Null hinsichtlich der Zweibündelmethode. Durch diese Metaanalyse konnte die Hypothese, dass durch die Zweibündeltechnik die anterior- posteriore Translation der Tibia zum Femur im Vergleich zur Einbündeltechnik vermindert werden würde nicht verworfen werden.

In unseren Daten zeigt sich ein diskreter Vorteil in der STG- ZB Technik gegenüber der LP- EB Technik, der allerdings nicht statistisch signifikant ist. Dies entspricht der Metaanalyse von Meredith et al. (65).

Die verringerte Translation in der Zweibündeltechnik soll durch das zweite, postero-laterale Bündel zustande kommen, da beide Bündel in unterschiedlichen Winkeln implantiert werden.

Hinsichtlich eines Gesamtergebnisses in der Ein- oder Zweibündeltechnik zeigen die folgenden Studien keinen Unterschied, oder einen signifikanten Vorteil in der Zweibündelgruppe.

*Tabelle 11 – Studien welche die EB versus ZB Technik bevorzugen.*

Autoren	Vergleich	Vorteil	
Sasaki (66) 1991	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	
Seon (58) 2009	STG- EB vs STG- ZB	STG- ZB	
Siebold (41) 2008	STG- EB vs STG- ZB	STG- ZB	
Kondo (67) 2008	STG- EB vs STG- ZB	STG- ZB	
Kim (68) 2009	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	
Aglietti (27) 2006	STG- EB vs STG- ZB	STG- ZB	
Giron (69) 2006	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	

Hamada (70) 2001	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	
Toritsuka (71) 2004	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	
Yasuda (72) 2004	STG- EB vs STG- ZB	STG- ZB	
Streich (73) 2008	STG- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	
Sadoghi (74) 2010	LP- EB vs STG- ZB	Kein Vorteil	

## **VI.VII. Tibiale Tunnelposition**

Good et al. (35) beschrieben, dass die optimale tibiale Fixation in Einbündelrekonstruktionen am Übergang vom anterioren zum mittleren Drittel des Tibiaplateaus liegt. Dies entspricht den Untersuchungen von Tobliss und Webb (75) welche eine tibiale Insertion vorschlagen, die auf 47% der Weite des Tibiaplateaus von medial her liegt. Zusätzlich beschrieben dieselben Autoren, dass eine weiter mediale Platzierung Impingement auslösen würde (75). Jackson et al. Beschrieben die optimale tibiale Insertion im postero- medialen Anteil des ursprünglichen Ursprungs des VKB (76) und Moisala et al. (77) beschrieben eine Lokalisation zwischen 32 und 37% der Länge des Tibiaplateaus von anterior her. Zantop et al (32) beschrieben das anatomische Zentrum des AM Bündels 2,7 mm posterior und 5,2 mm medial vom vorderen Ursprung des Außenmeniskus. Das Zentrum des PL Bündels wurde 11,2 mm posterior und 4,1mm medial davon beschrieben. Unsere anatomischen Tunnelpositionen wurden anhand dieser Punkte gesetzt, wobei wir auf unserem Koordinatensystem für das tibiale antero- medial Bündel 5,2 und 6,0 annahmen und für das postero- laterale Bündel 5,5 und 4,5. In der LP- EB Technik nahmen wir 5,3 und 5,5 als anatomischen Punkt auf unserem Koordinatensystem an. Dies entspricht den Untersuchungen von Moisala et al., die das beste Outcome im Fall einer ausreichend anterioren Graftplatzierung tibial und

ausreichenden posterioren Platzierung femoral erhielten (77). Posteriore Platzierungen entsprechen der Nomenklatur „deep“ nach Zantop et al. (32).



**Abbildung 22 – Die Ausrichtung des Transplantates nach VKB Rekonstruktion ist zu vertikal („12 Uhr Position“)**

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)



**Abbildung 23 – Die Fixation des Transplantates nach VKB Rekonstruktion liegt tibial zu weit anterior**

Quelle: [www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

## **VI.VIII. Femorale Tunnelposition**

Entsprechend den Untersuchungen von Good et al. (35) liegt die optimale femorale Tunnelposition circa auf 66% der Länge der Blumensaat' schen Linie (interkondylar root line) von anterior her ausgehend. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Khalfayan et al. (39) überein, welche die optimale femorale Tunnelposition im posterioren Anteil des nativen femoralen Ursprungs beschreiben. Nach Moisala et al. (77) wurden die besten klinischen Ergebnisse erzielt, sofern die femorale Insertion posterior genug lag. Die optimale Graftposition war dementsprechend zwischen 25 und 29% der Blumensaat' schen Linie von posterior nach anterior was den Untersuchungen von Gougoulias et al. entspricht (45) die einen Wert von 21 bis 33 % angeben. All jene Methoden berücksichtigen allerdings die femorale Rotation in der Notch nicht und ergeben daher einen systemischen Bias in ihren Werten. Um eine bessere Sicht auf den Ursprung der VKB Insertion zu erhalten rotierten wir eine streng posterior- anteriore Sicht 45 Grad nach innen um so die runde Insertionsfläche des VKB in der femoralen Notch als größeres Gebiet darstellen zu können (Abbildung 19- 21). Entsprechend dieser Methode beschreiben wir die anatomische femorale Tunnelposition in der EB- Technik bei 2,9 und 3,5. In der ZB- Technik setzten wir die anatomischen Positionen bei 2,1 und 3,0 für das antero- mediale Bündel und bei 3,4 und 4,4 für das postero- laterale Bündel nach den Arbeiten von Petersen und Zantop fest (16, 17). Auch wir beschreiben überlegenere klinische Ergebnisse, sofern das Graft femoral posterior genug platziert wird. Dies ist sowohl im Fall des Einbündels der LP- EB als auch des anteromedialen Bündels der STG- ZB Technik auffällig. Da die Variation der Graftinsertion femoral größeren Unterschieden unterliegt als tibial, ist eine sensitivere femorale Beurteilung wichtiger als eine tibiale (52, 53), sodass unsere Methode eine

genauere Beschreibung des femoralen Insertionspunktes in der Notch in beiden Techniken ermöglicht. Diesbezüglich ist die von uns angewendete „volume rendering method“ ein nützliches Werkzeug zur Beurteilung der femoralen Anatomie.

#### **VI.IX. Limitationen und Benefit des klinischen Vergleichs**

Da diese prospektiv Kohorststudie mit einem kurzen Follow- up von zwei Jahren geplant worden war ist es nicht möglich die Langzeitfolgen der VKB Rekonstruktion in einer der beiden Techniken zu beurteilen. Der IKDC Score, welcher als einer der wichtigsten Tests in der Beurteilung des Outcomes des rekonstruierten VKBs angesehen wird ist in einen subjektiven und einen objektiven Part unterteilt.

Nichtsdestotrotz enthält auch der objektive Teil Elemente wie die Rotationsstabilität und die Beurteilung des vorderen Knieschmerzes, welche keineswegs objektiv beurteilt werden können, sondern vielmehr der subjektiven Beurteilung des Untersuchers unterliegen bzw. den subjektiven Empfindungen des Patienten. Eine weitere Limitation unseres Studiendesigns besteht in der Tatsache, dass wir nicht lediglich zwei unterschiedliche Techniken vergleichen, sondern in diesen beiden Techniken auch unterschiedliche Fixationsmethoden und Graftpositionen verwendet wurden. Daher darf unsere Vergleichsstudie nur als ein Gesamtvergleich der Technik LP- EB versus STG-ZB angesehen werden und nicht als spezieller Vergleich des Grafts, der Fixation oder der exakten Tunnelposition. Außerdem wurden keine Patienten in der Semitendinosus-gracilis Einbündeltechnik beurteilt, wobei diese Technik sehr häufig angewandt wird und bei vielen Chirurgen die Technik der Wahl darstellt.

Wir wollen die Tatsache unterstreichen, dass in dieser Studie alle Patienten von demselben Operateur versorgt worden waren. Daher kann die Frage nach der eventuell höheren Komplexität der Zweibündeltechnik beantwortet werden, da dieselben Grundfähigkeiten in der Arthroskopie bestehen. Weiter können wir Daten unserer

kompletten Grundgesamtheit mit einem ausreichenden minimum Follow- up von zwei Jahren präsentieren.

#### **VI.X. Limitationen und Benefit der Vermessung der Tunnelpositionen**

Die radiologische Beurteilung der Tunnelposition und Korrelation mit klinischem Outcome hat verschiedene Schwächen und Limitationen. Obwohl die Messungen durch den Cohen's kappa Koeffizient hinsichtlich ihrer Genauigkeit beurteilt worden sind fehlt zum Vergleich eine zweite bereits etablierte Methode, wie etwa jene von Basdekis et al. (78). Außerdem beurteilten wir die Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit dem klinischen Outcome nach lediglich einem Jahr und können nicht voraussagen, inwieweit sich diese Korrelation im Verlauf verändern könnte.

Zudem ergab sich eine negative Selektion bei der Studie, da Patienten mit exzellenten klinischen Ergebnissen keine weitere bildgebende Abklärung wünschten, da sie mit dem Ergebnis ohnehin zufrieden gewesen waren. Außerdem hatten wir zur Beurteilung der Rotationsstabilität keine objektive Messmethode, wie wir sie zur Beurteilung der anterior- posterior Stabilität durch das KT 1000 Arthrometer hatten.

Wir können folgenden Benefit dieser Studie hervorheben: Die beurteilten Tunnelpositionen aus zwei verschiedenen Techniken wurden alle von einem Operateur gesetzt. Wir beurteilten alle Messungen durch inter- und intraobserver Koeffizienten. Der erhobene Unterschied in den Werten zwischen anatomischen und nicht-anatomischen Rekonstruktionen war groß genug, sodass die post- hoc Power Analyse eine Power von über 80% ergab.

## **VII. Schlussfolgerungen**

### **VII.I. Klinischer Vergleich**

Die Daten konnten keinerlei signifikanten Unterschied im Tegner, IKDC, WOMAC Score, den KT1000 seit-zu-seit Werten, ROM, und „one leg hop test“ zwischen beiden Gruppen zeigen. Jedoch konnten sie eine signifikant längere Operationszeit in der Zweibündeltechnik aufweisen. Andererseits gibt es statistisch signifikante Vorteile der Zweibündeltechnik hinsichtlich der subjektiv beurteilten Rotationsstabilität, die durch das zweite postero- laterale Bündel unterstützt wird und hinsichtlich einer geringeren Rate am vorderen Knieschmerz, was in bestimmten Berufen und ethnischen Gruppen die häufig knien ein wichtiger Punkt ist, der vor dem Eingriff besprochen werden muss. Auch bei der Semitendiosus- gracilis Einbündeltechnik wird weniger vorderer Knieschmerz beschrieben. Wir schlussfolgern, dass beide Techniken (LP- EB und STG- ZB) adäquate Möglichkeiten darstellen, um eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes suffizient zu versorgen.

### **VII.II. Vermessung der Tunnelposition**

Aufgrund der überlegeneren Ergebnisse der anatomischen LP- EB und STG- ZB im Vergleich zu den nicht- anatomischen LP- EB und STG- ZB Rekonstruktionen schlussfolgern wir, dass klinisch überlegene Resultate durch anatomisch platzierte Grafts zu erzielen sind. Frühe Serien von STG- ZB Rekonstruktionen hatten bereits eine anatomische Graftposition berücksichtigt, während die frühen Serien von LP- EB Rekonstruktionen noch gelegentlich als „high-noon“ implantiert wurden und vor allem daher eine unzureichende Rotationsstabilität aufwiesen. Mittlerweile ist die anatomische Setzung auch bei Einbündelrekonstruktionen ein Schwerpunkt, weswegen viele Operateure die LP- EB Rekonstruktion als Methode wählen. Unabhängig von der Wahl

des Grafts und der Methode, sollte das oberste Ziel des Operateurs eine anatomische Platzierung des Transplantates sein.

## VIII. Zusammenfassung

### Zielsetzung

Erstes Studienziel war ein Vergleich der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) durch die Ligamentum- patellae Einbündeltechnik (LP- EB) und Semitendinosus- gracilis Zweibündeltechnik (STG- ZB) anhand von subjektiven und/oder objektiven klinischen Ergebnissen sowie der Rotations- und Translationsstabilität ein bzw. zwei Jahre postoperativ. Als zweites Studienziel galt die Beurteilung einer möglichen Korrelation von anatomische und nicht- anatomische platzierten VKB Rekonstruktionen mit dem klinischen Outcome in beiden Techniken.

### Nullhypothesen

Die oben genannte Zielsetzung wurde durch folgende Nullhypothesen aufgestellt:

$H_{01}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Tegner, IKDC und WOMAC Scores zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

$H_{02}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der erhobenen KT 1000 Relativwerte im Vergleich zur Gegenseite zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

$H_{03}$ : Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Pivot- Shift Tests zwischen VKB Rekonstruktionen in der LP- EB versus der STG- ZB Technik

$H_{04}$ : Die zweimalige radiologische Konstruktion und Beurteilung der Tunnelposition in beiden Techniken (LP- EB; STG- ZB) durch zwei unterschiedliche Untersucher ist nicht reproduzierbar und zuverlässig, was sich durch nicht adäquate inter- und intraobserver Koeffizienten zeigt

*H<sub>05</sub>*: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB

Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der LP- EB Technik.

*H<sub>06</sub>*: Es ergibt sich keine Korrelation von anatomisch platzierten VKB

Rekonstruktionen mit einem überlegeneren klinischen Outcome als nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen in der STG- ZB Technik.

### **Patienten und Methodik**

Einundvierzig Patienten der LP- EB Gruppe und 51 der STG- ZB Gruppe wurden in eine prospektive Kohortenstudie aufgenommen. Die Patienten wurden präoperativ sowie ein bzw. zwei Jahre postoperativ hinsichtlich des Tegner, IKDC und WOMAC Scores evaluiert. Die präoperative Vergleichbarkeit der Gruppen bestand hinsichtlich gleicher demographischen Daten, den o.g. klinischen Scores, dem Unfallhergang, dem Zeitintervall vom Zeitpunkt des Unfalles bis zur Therapie, dem Grad der anterior-posterioren Instabilität und den Meniskusverletzungen. Beim ein Jahres Follow- up wurden die Kniegelenke anhand 53 dreidimensionaler CT Aufnahmen in anatomische und nicht- anatomische VKB Rekonstruktionen unterteilt. Anatomische und nicht- anatomische Rekonstruktionen wurden mit den klinischen Outcome beim ein Jahres Follow- up in beiden Techniken korreliert. Außerdem wurden die klinischen Parameter beider Techniken beim zwei Jahres Follow- up miteinander verglichen.

### **Ergebnisse**

Beim zwei Jahres Follow- up zeigte sich zwischen den LP- EB und STG- ZB VKB Rekonstruktionen kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der erhobenen klinischen Scores und der KT 1000 Relativwerte. Hinsichtlich des Pivot- Shift Tests und des vorderen Knieschmerzes gab es statistisch signifikante Vorteile, jeweils in der

STG- ZB Technik. Durch unsere radiologische Analyse konnten wir die VKB Rekonstruktionen in anatomische und nicht- anatomische unterteilen und eine positive Korrelation von anatomisch platzierten VKB Rekonstruktionen mit dem klinischen Outcome nach einem Jahr in beiden Techniken nachweisen. Die von zwei Untersuchern durchgeführten Messungen wurden anhand des Cohen' s kappa Koeffizienten als „fast perfekt“ hinsichtlich des inter- und intraobserver Koeffizienten beurteilt.

### **Schlussfolgen**

Wir schlussfolgern, dass mittellangfristig beide Techniken adäquate Versorgungsmöglichkeiten bei Rupturen des vorderen Kreuzbandes darstellen. Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich anatomischer und nicht- anatomischer VKB Rekonstruktionen folgern wir, dass in beiden Techniken zufrieden stellende Ergebnisse zu erzielen sind, sofern der Chirurg das gewählte Transplantat anatomisch korrekt positioniert.

## **IX. Verzeichnisse und Referenzen**

### **IX.I. Abbildungsverzeichnis mit Quellenangabe**

Abb. 1 – Bänder im Kniegelenk

<http://www.cjrorthopaedics.co.uk/Anterior%20Cruciate%20Ligament.html>

Abb. 2 – Makroskopische Darstellung des antero- medialen und postero -lateralen Bündels

Wolf Petersen, Thore Zantop (2008) Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament with Regard to Ist Two Bundles. Clinical Orthopaedics and Related Research

Abb. 3 – Typischer Verletzungsmechanismus

<http://www.youcanbenefit.com/images/ACL%20tear%20cause.bmp>

Abb. 4 – Lachman Test (in 25 Grad Kniebeugung)

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Abb. 5 – MRT eines Kniegelenkes mit intaktem VKB

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Abb. 6 – MRT eines Kniegelenkes mit rupturiertem VKB

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Abb. 7 – Orientierung zur Tunnelposition anhand des Systems nach der Uhr

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Abb. 8 – Spezifischen Tunnelplatzierung und Graftposition in der LP- EB Technik

Abb. 9 – Gewinnung des Grafts aus dem Drittel der Sehne des Ligamentum patellae

[http://www.orthop.washington.edu/\\_Rainbow/Album/10357mec0e8985-59d6-4778-ba61-33ae68f7db86.jpg](http://www.orthop.washington.edu/_Rainbow/Album/10357mec0e8985-59d6-4778-ba61-33ae68f7db86.jpg)

Abb. 10 – „Empty wall sign“ in der Arthroskopie nach Ruptur des VKB

Zur Verfügung gestellt aus dem Unfallkrankenhaus Linz

Abb. 11 – Makroskopische Darstellung des AM und PL Bündels

[http://www.orthonet.pitt.edu/content/DoubleBundle\\_files/image051.jpg](http://www.orthonet.pitt.edu/content/DoubleBundle_files/image051.jpg)

Abb. 12 – Spezifische Tunnelplatzierung und Graftposition in der STG- ZB Technik

Abb. 13 – KT 1000 Messungen in vivo

[www.kneejointssurgery.com/pics](http://www.kneejointssurgery.com/pics)

Abb. 14 – KT 1000 Messungen am relaxierten Patienten

[www.kneejointssurgery.com/pics](http://www.kneejointssurgery.com/pics)

Abb. 15 – Tibiale Sicht einer STG- ZB Rekonstruktion

Abb. 16 – Tibiale Sicht einer LP- EB Rekonstruktion

Abb. 17 – Tibiale Sicht mit dem überschriebenen Koordinatensystem. Tibiales antero- mediales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Tam), tibiales postero- laterales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Tpl) und tibiales Tunnelloch in der Einbündeltechnik (T)

Abb. 18 – Fünfundvierzig Grad Innenrotation der postero- anterioren femoralen Sicht mit Koordinatensystem

Abb. 19 – Femorale Sicht einer STG- ZB Rekonstruktion

Abb. 20 – Femorale Sicht einer LP- EB Rekonstruktion

Abb. 21 – Femorale Sicht mit dem überschriebenen Koordinatensystem. Femorales antero- mediales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Fam), femorales postero-

laterales Tunnelloch in der Zweibündeltechnik (Fpl) und femorales Tunnelloch in der Einbündeltechnik (T)

Abb. 22 – Die Ausrichtung des Transplantates nach VKB Rekonstruktion ist zu vertikal („12 Uhr Position“)

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

Abb. 23 – Die Fixation des Transplantates nach VKB Rekonstruktion liegt tibial zu weit anterior

[www.kneejointurgery.com/pics](http://www.kneejointurgery.com/pics)

## IX.II. Tabellenverzeichnis mit Quellenangabe

Tabelle 1 – Verteilung der Verletzungsorte bei 5884 operierten VKBs

Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: A national population-based study. J Sci Med Sport. 2008

Tabelle 2 – Verteilung der unterschiedlichen Sportarten bei 3997 operierten VKBs

Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: A national population-based study. J Sci Med Sport. 2008

Tabelle 3 - Häufung des Verletzungsmechanismus in einer Metaanalyse aus 211 Fällen

Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. J Athl Train 2008;43(3):396-408

Tabelle 4 - Demographische Daten und klinische Scores der Patienten der LP- EB

Gruppe und STG- ZB Gruppe. Die präoperativen Daten zeigen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen, da wir eine matched- pair Analyse durchgeführt hatten.

Tabelle 5 – Anatomisch versus nicht- anatomisch platzierte VKBs, evaluiert durch dreidimensionale CTs. Die Werte entsprechen den Koordinaten im Koordinatensystem in Abbildung 17 und 21.

Tabelle 6 - Postoperative klinische Bewertung der LP- EB Technik und STG- ZB Technik bei Follow- up hinsichtlich der subjektiven klinischen Scores (Tegner, WOMAC, subjektiver IKDC) und Mesmethoden (Pivot- Shift Test, vorderer Knieschmerz).

Tabelle 7 - Klinische Beurteilung der LP- EB und STG- ZB Technik bei Follow- up durch objektive klinische Scores und Messmethoden.

Tabelle 8 – Unterschiedliches Outcome von anatomisch versus nicht- anatomisch platzierten VKBs hinsichtlich klinischer Scores.

Tabelle 9 – Unterschiedliches Outcome von anatomisch versus nicht- anatomisch platzierten VKBs hinsichtlich klinischer objektiver Messmethoden.

Tabelle 10 - Radiologische Beurteilung der LP- EB und STG- ZB Technik anhand der Klassifikation nach Brandt. (Die Werte werden in absoluten Zahlen angegeben)

### IX.III. Abkürzungsverzeichnis

VKB	vorderes Kreuzband
NEJM	New England Journal of Medicine
LP- EB	Ligamentum patellae Einbündel
STG- ZB	Semitendinosus- gracilis Zweibündel
AM Bündel	antero- mediales Bündel
PL Bündel	postero- laterales Bündel
HKB	hinteres Kreuzband IKDC
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index score
IKDC	International Knee Documentation Committee score
MFL	menisconfemorale
Ap	antero- posterior
ROM	Range of Motion
o.g.	oben genannt

## IX.IV. Referenzen

1. Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander S. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *N Engl J Med* 2010;363:331-42.
2. Anderhuber F, Bade H, Bechmann I, Beck T, Brehmer A, Fanghänel J et al. *Waldeyer Anatomie des Menschen*. Berlin: J. Fanghänel 2003
3. Kahle W, Leonhard H, Platzer W. *Taschenatlas der Anatomie Bewegungsapparat*. Stuttgart: Georg Thieme; 1975
4. Putz RV, Pabst R. Sobotta. *Atlas der Anatomie des Menschen*. Band 2. München: Urban&Fischer 2000
5. Kittl Ch. Vergleich der Ergebnisse nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mittels Semitendinosus/ Gracilis Sehnen in der Einfach-Bündel-Technik versus Doppel-Bündel-Technik. Diplomarbeit. Medizinische Universität Graz, 2009; pp 79.
6. Warren LF, Marshall JL. The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis, *J Bone Joint Surg Am* 1979;61(1):56-62
7. Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, et al. Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment. *J Bone Joint Surg Am* 1976;58:173-179

8. Abbott LC, Saunders JB, Dec M, Bost FC, Anderson CE. Injuries to the Ligaments of the Knee Joint. *J. Bone Joint Surg* 1944;26:503-521
9. Takahashi M, Doi M, Abe M, Suzuki D, Nagano A. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of human anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 2006;34(5):787-792
10. Baek GH, Carlin GJ, Vogrin TM, Woo SL, Harner CD. Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and meniscofemoral ligaments. *Clin Orthop Relat Res* 1998;357:205-211
11. Ito M, Murase K, Tanaka S, Takahei T, Nakamura N. Clinical and anatomical study about double bundles in the anterior cruciate ligament. *Proceedings of the 5th Biennial ISAKOS Congress; Eposter Nr. 156*
12. Steckel H, Starman JS, Baums MH, Klinger HM, Schultz W, Fu FH. Anatomy of the anterior cruciate ligament double bundle structure: a macroscopic evaluation. *Scand J Med Sci Sports* 2008;17(4):387-392
13. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J. Orthop Res.* 2004;22(1):85-89.
14. Kurosawa H, Yamakoshi K, Yasuda K, Sasaki T. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion. *Clin Orthop Relat. Res* 1991;265:233-240

15. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res* 1997;15(2):285-193
16. Mae T, Shino K, Matsumoto N, Nakata K, Nakamura N, Iwahashi T. Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14(6):505-509
17. Brantigan OC, Voshell AT. Ligaments of the knee joint: The relationship of the ligament of Humphry to the ligament of Wrisberg. *J Bone Joint Surg* 1945;25:66-67
18. Kaplan L, Honkamp N, Kehoe R, Tueting J, McMahon PJ. Knee Injuries, in: McMahon PJ. *Current Diagnosis & Treatment. Sports Medicine*. Lange Medical Books/McGraw-Hill. North America. Pp. 53- 99
19. Warren RF, Marshall JL. Injuries of the anterior cruciate and medial collateral ligaments of the knee. A retrospective analysis of clinical records – part I. *Clin Orthop Relat Res* 1978;136:191-197
20. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: A national population-based study. *J Sci Med Sport*. 2008; 41(1):123-29
21. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train* 2008;43(3):396-408

22. Marshall JL, Wang JB, Furman W, Girgis FG, Warren R. The anterior drawer sign: what is it? *J Sports Med* 1975 3(4):152-8
23. Lee JK, Yao L, Phelps CT, Wirth CR, Czajka J, Lozman J. Anterior cruciate ligament tears: MR imaging compared with arthroscopy and clinical tests. *Radiology* 1988;166(3):861-864
24. Barrack RL, Bruckner JD, Kneisl J, Inman WS, Alexander AH. The outcome of nonoperatively treated complete tears of the anterior cruciate ligament in active young adults. *Clin Orthop Relat Res* 1990;259:192-9
25. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Research* 2004;22:85-89
26. Carr AJ. Evidence- based orthopaedic surgery: what type of research will best improve clinical practice? *J Bone Joint Surg [Br]* 2005;87:1593-1594
27. Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg [Am]* 2004;86-A(10):2143-2155
28. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries part 2 *Am J Sports Med* 2005;33:1751-1767

29. Amis AA, Beynnon B, Blankevoort L, et al. Proceedings of the ESSKA scientific workshop on reconstruction of the anterior and posterior cruciate ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994;2:124-132.
30. Loh JC, Fukuda Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH, Woo SL. Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award paper. *Arthroscopy* 2003;19:297-304.
31. Musahl V, Burkart A, Debski RE, Van Scyoc A, Fu FH, Woo SL. Anterior cruciate ligament tunnel placement: Comparison of insertion site anatomy with the guidelines of a computer-assisted surgical system. *Arthroscopy* 2003;19:154-160.
32. Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W. Anatomic and nonanatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: Importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med* 2008; 36:678-685.
33. Zavras TD, Race A, Bull AM, Amis AA. A comparative study of 'isometric' points for anterior cruciate ligament graft attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9:28-33.
34. Amis AA, Zavras T. Isometricity and graft placement during anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* 1995;2:5-17.

35. Good L, Odensten M, Gillqvist J. Sagittal knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction with a patellar tendon strip. A two-year follow-up study. *Am J Sports Med* 1994;22:518-523.
36. Howell SM, Tayler MA. Failure of reconstruction of the anterior cruciate ligament due to impingement by the intercondylar roof. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75:1044-1055.
37. Sommer C, Friedrich NF, Muller W. Improperly placed anterior cruciate ligament grafts: Correlation between radiological parameters and clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8:207-213.
38. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 1997; 10:14-21
39. Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB. The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1996; 24:335-341
40. Klos TV, Harman MK, Habets RJ, Devilee RJ, Banks SA. Locating femoral graft from lateral radiographs in anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of 3 methods measuring radiographic images. *Arthroscopy* 2000; 16:499-504

41. Siebold R, Dehler C, Ellert T. Prospective Randomized Comparison of Double-Bundle Versus Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy* 2008;24(2):137-145
42. Markolf KL, Park S, Jackson SR, McAllister DR. Anterior-posterior and rotatory stability of single and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *J Bone Joint Surg [Am]* 2009 Jan;91(1):107-18.
43. Eriksson K, Anderberg P, Hamberg P, Lofgren AC, Bredenber M, Westman I, Wredmark T. A comparison of quadruple semitendinosus and patellar tendon grafts in reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg [Br]* 2001;83:348-54
44. Otero AL, Hutcheson L. A comparison of doubled semitendinosus/gracilis and central thirds patellar tendon autografts in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1993;9:143-8.
45. Gougoulias N, Khanna A, Griffiths D, Maffulli N. ACL reconstruction: Can the transtibial technique achieve optimal tunnel positioning? A radiographic study. *The Knee* 2008; 15:486-490
46. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;198:43-9
47. Bellany N, Buchanon NW, Goldsmith CH, Champbell J, Statt LW. Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important

- patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol* 1988;15:1833-1840
48. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, Richmond JC, Shelbourne KD. Development and validation of the international knee documentation form. *Am J Sports Med* 2001;29:600-613
49. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1990;18(3):292-299
50. Mariani PP, Camillieri G, Margheritini F. Transcondylar screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2001;17:717-23.
51. Christel P, Sahasrabudhe A, Basdekis G. Anatomic double bundle anterior cruciate ligament reconstruction with anatomic aimers. *Arthroscopy* 2008;24(10):1146-51
52. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 454:35-47
53. Zantop T, Wellmann M, Fu FH, Petersen W. Tunnel positioning of anteromedial and posterolateral bundles in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: anatomic and radiographic findings. *Am J Sports Med* 2008; 36(1):65–72
54. Lane CG, Warren R, Pearle AD. The pivot shift. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(12):679-88

55. Rashid K, Konyves A, Boddu Siva Rama KR, Rhidian T, Amis AA. RSA Can Measure ACL Graft Stretching and Migration. Development of a New Method. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;448:139-145
56. Goslings JC, Gouma DJ. What is a surgical complication? *World J Surg.* 2008;32(6):952
57. Brandt KD, Fife RS, Braunstein EM, Katz B. Radiographic grading of the severity of knee osteoarthritis: relation of the Kellgren and Lawrence grade to a grade based on joint space narrowing and correlation with arthroscopic evidence of articular cartilage degeneration. *Arthritis Rheum.* 1991; 34(11):1381-6.
58. Seon JK, Park SJ, Lee KB, Yoon TR, Seo HY, Song EK. Stability comparison of anterior cruciate ligament between double- and single-bundle reconstruction. *Int Orthop* 2009; 33:425-429
59. Steiner ME, Hecker AT, Brown Ch Jr, Hayes WC. Anterior cruciate ligament graft fixation. Comparison of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med* 1994; 22:240-247
60. Zantop T, Kubo S, Petersen W, Musahl V, Fu FH. Current techniques in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1999; 23:938-947
61. Hefti F, Muller W, Jakob RP, Staubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the KT 1000 form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993; 1(3-4):226-234

62. Brophy RH, Wright RW, Matava MJ. Cost analysis of converting from single-bundle to double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2009; 37(4):683-687
63. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum* 2004; 50(10):3145-3152.
64. Fu FH, Shen W, Starman JS, Okeke N, Irrgang JJ. Primary anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary 2-year prospective study. *Am J Sports Med* 2008; 36(7):1263:1274
65. Meredith RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Am J Sports Med* 2008; 36(7):1414-1421
66. Kurosawa H, Yamakoshi K, Yasuda K, Sasaki T. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion. *Clin Orthop Relat Res* 1991; 265:233-240.
67. Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T. Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med* 2008; 36(9):1675-1687.

68. Kim S, Jo S, Kumar P, Oh K. Comparison of single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon-bone autografts. *Arthroscopy* 2009; 25(1):70-77.
69. Giron F, Aglietti P, Mondalli N, Cuomo P. Single versus double bundle techniques in ACL reconstruction using a DSTG graft. Preliminary results. Proceedings of the 5th Biennial ISAKOS Congress; 2005 Apr; Hollywood, Florida: Oral presentation # 56
70. Hamada M, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Myama T, Shiozaki Y et al. Single-versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endobutton femoral fixation: A prospective study. *Arthroscopy* 2001; 17(8): 801-807.
71. Toritsuka Y, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Hamada M, Nakata K et al. Second-look arthroscopy of anterior cruciate ligament grafts with multistranded hamstring tendons. *Arthroscopy* 2004; 20(3):287-293.
72. Yasuda K, Kondo E, Ichyama H, Kitaamura N, Tanabe Y, Tohyama H, et al. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 2004; 20(10):1015-1025.
73. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, Schmitt H. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded

- comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2008; 16(3):232-238
74. Sadoghi P, Müller PE, Jansson V, van Griensven M, Kröpfl A, Fischmeister MF.  
Reconstruction of the anterior cruciate ligament: a clinical comparison of bone-  
patellar tendon-bone single bundle versus semitendinosus and gracilis double  
bundle technique. Int Orthop 2010; DOI 10.1007/s00264-010-1037-1
75. Topliss C, Webb J. An audit of tunnel position in anterior cruciate ligament  
reconstruction. Knee 2001; 8:59-63.
76. Jackson DW, Gasser ST. Tibial tunnel placement in ACL reconstruction.  
Arthroscopy 1994; 10:124-131
77. Moisala AS, Jarvela T, Harilainen A, Sandelin J, Kannus P, Jarvinen M. The  
effect of graft placement on the clinical outcome of the anterior cruciate  
ligament reconstruction: a prospective study. Knee Surg Sports Traumatol  
Arthrosc 2007; 15:879-887.
78. Basekdis G, Christel P, Anne F. Validation of the position of the femoral tunnels  
in anatomic double bundle ACL reconstruction with 3-D scan. Knee Surg Sports  
Traumatol Aththrosc 2009;17:1089-1094.

## X. Lebenslauf und Publikationsliste

Dr. med. univ. Patrick Sadoghi

Geburtsdatum/ -ort : 26. Jänner 1984/ Graz  
Hauptwohnsitz: Nöbauerstraße 35; 4040 Linz  
E- mail: patricksadoghi@gmx.at

### **Berufliche Ausbildung:**

---

- Seit VIII. 2010: Assistenzarzt für Orthopädie  
an der Medizinischen Universität Graz  
Vorstand: ao. univ. Prof. Dr. Andreas Leithner
- VIII. 2009 – VII 2010: 12 Monate Assistenzarzt für Orthopädie  
an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: o. univ. Prof. Dr. Dipl. Ing. Volkmar Jansson
- I. - VI. 2009: 6 Monate Turnusarzt im AUVA Unfallkrankenhaus Linz  
Vorstand: univ. Doz. Prim. Dr. Albert Kröpfl

### **Universitäre Ausbildung, Hospitationen, Forschungsaufenthalte:**

- VII. 2009: Hospitation an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: o. univ. Prof. Dr. Dipl. Ing. Volkmar Jansson
- X. 2003 - XII. 2008: Studium der Humanmedizin an der Medizinischen Universität Graz  
und der George Washington Medical University in 10,5 Semestern  
unter Zuerkennung des Leistungsstipendiums.
- IX 2007: Hospitation an der Universitätsklinik von Kairo  
(Kasr Alaini Hospital)
- X. 2006- VIII. 2009: Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universitätsklinik für  
Orthopädie der Medizinischen Universität Graz  
Vorstand: o. Univ.-  
Prof. Dr. Reinhard Windhager
- 2002: Matura im Gymnasium Petrinum in Linz mit ausgezeichnetem Erfolg

### **Stipendien, Preise:**

Leistungsstipendium der MeduniGraz nach 1. Abschnitt als Jahrgangsfünfter

Auslandsstipendium der MeduniGraz für die Universitätsklinik Kasr Alaini Hospital in Kairo

Auslandsstipendium der MeduniGraz für die George Washington University in Washington DC

Leonardo DaVinci Stipendium der ÖÄK

Incoming Scientist Programm der MUG: Dr. Patrick Vavken, Harvard Medical School, Boston, USA

GOTS Young Investigator Award 2011

AFOR Reisestipendium 2011

Forschungsförderungspreis der ÖGO 2011

### **ÖÄK- Diplome/ Fortbildungen:**

ÖÄK - Diplom: Psychosoziale Medizin

ÖÄK – Diplom: Manuelle Medizin und Chirotherapie der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Manuelle Medizin

Grundkurs zur Sonographie der Säuglingshüfte bei Professor Graf, Stolzalpe

### **Mitgliedschaften:**

AGA - Deutschsprachige Arbeitsgemeinschaft für Arthroskopie

ÖAMM - Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Manuelle Medizin

GMC - General Medical Council- Medical Chamber of the UK

DGU/DGOOC – Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie, Sektion Grundlagenforschung

ÖGO – Österreichische Gesellschaft für Orthopädie

GOTS – Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin

### **Fremdsprachen:**

Englisch: Medizinisches Fachenglisch, schriftlich und mündlich  
Französisch: Alltagstauglich, kein medizinisches Französisch

Spanisch: Grundkenntnisse

### **Publikationen:**

**Stand 01.09.2011**

**2011**

#### **Beiträge in Fachzeitschriften**

\*\* Fottner, A; Steinbrück, A; Sadoghi, P; Mazoochian, F; Jansson, V  
Digital comparison of planned and implanted stem position in total hip replacement using a program for migration analysis. Arch Orthop Trauma Surg. 2011; 131(7):1013-1019 PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Friesenbichler, J; Maurer-Ertl, W; Sadoghi, P; Lovse, T; Windhager, R; Leithner, A  
Serum metal ion levels after rotating-hinge knee arthroplasty: comparison between a standard device and a megaprosthesis. Int Orthop. 2011; PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Kröpfl, A; Jansson, V; Müller, PE; Pietschmann, MF; Fischmeister, MF  
Impact of tibial and femoral tunnel position on clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 2011; 27(3):355-364 PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Leithner, A; Vavken, P; Holzer, A; Hochreiter, J; Weber, G; Pietschmann, MF; Müller, PE  
Infraglenoidal scapular notching in reverse total shoulder replacement: a prospective series of 60 cases

and systematic review of the literature BMC MUSCULOSKELET DISORD. 2011; 12: 101-101. [OPEN ACCESS] PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Leithner, A; Weber, P; Friesenbichler, J; Gruber, G; Kastner, N; Pohlmann, K; Jansson, V; Wegener, B

Radiolucent lines in low-contact-stress mobile-bearing total knee arthroplasty: a blinded and matched case control study BMC MUSCULOSKELET DISORD. 2011; 12: PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Müller, PE; Jansson, V; van Griensven, M; Kröpfl, A; Fischmeister, MF

Reconstruction of the anterior cruciate ligament: a clinical comparison of bone-patellar tendon-bone single bundle versus semitendinosus and gracilis double bundle technique. Int Orthop. 2011; 35(1):127-133 [OPEN ACCESS] PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Vavken, P; Leithner, A; Hochreiter, J; Weber, G; Pietschmann, MF; Müller, PE

Impact of previous rotator cuff repair on the outcome of reverse shoulder arthroplasty. J Shoulder Elbow Surg. 2011; PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Vavken, P; Sadoghi, P; Murray, MM

The Effect of Platelet Concentrates on Graft Maturation and Graft-Bone Interface Healing in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Human Patients: A Systematic Review of Controlled Trials. Arthroscopy. 2011; PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Weber, P; Utzschneider, S; Sadoghi, P; Andress, HJ; Jansson, V; Müller, PE

Management of the infected shoulder prosthesis: a retrospective analysis and review of the literature. Int Orthop. 2011; 35(3):365-373 [OPEN ACCESS] PubMed FullText FullText\_MUG

## 2010

\*\* Sadoghi, P; Kröpfl, A; Jansson, V; Müller, PE; Pietschmann, MF; Fischmeister, MF Impact of Tibial and Femoral Tunnel Position on Clinical Results After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Arthroscopy. 2010; PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Sadoghi, P; Leithner, A; Clar, H; Glehr, M; Wibmer, C; Bodo, K; Quehenberger, F; Windhager, R The threat of misdiagnosis of primary osteosarcoma over the age of 60: a series of seven cases and review of the literature. Arch Orthop Trauma Surg. 2010; 130(10):1251-1256 PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Utzschneider, S; Harrasser, N; Sadoghi, P; Weber, P; Schröder, C; Pietschmann, MF; Jansson, V Crosslinked polyethylene in knee arthroplasty: a simulator study evaluating the positive influence on the tribocontact area in the fixed-bearing knee. Arch Orthop Trauma Surg. 2010; 130(11):1419-1424 PubMed FullText FullText\_MUG

\*\* Weber, P; Utzschneider, S; Sadoghi, P; Andress, HJ; Jansson, V; Müller, PE Management of the infected shoulder prosthesis: a retrospective analysis and review of the literature. Int Orthop. 2010; PubMed FullText FullText\_MUG

## **XI. Anhang**

### **XI.I. Tegner Score**

**Level 10** - Competitive sports- soccer, football, rugby (national elite)

**Level 9** - Competitive sports- soccer, football, rugby (lower divisions), ice hockey, wrestling, gymnastics, basketball

**Level 8** - Competitive sports- racquetball or bandy, squash or badminton, track and field athletics (jumping, etc.), down-hill skiing

**Level 7** - Competitive sports- tennis, running, motorcars speedway, handball   Recreational sports- soccer, football, rugby, bandy, ice hockey, basketball, squash, racquetball, running

**Level 6** - Recreational sports- tennis and badminton, handball, racquetball, down-hill skiing, jogging at least 5 times per week

**Level 5** - Work- heavy labor (construction, etc.) Competitive sports- cycling, cross-country skiing,   Recreational sports- jogging on uneven ground at least twice weekly

**Level 4** - Work - moderately heavy labor (e.g. truck driving, etc.)

**Level 3** - Work - light labor (nursing, etc.)

**Level 2** - Work - light labor   Walking on uneven ground possible, but impossible to back pack or hike

**Level 1** - Work - sedentary (secretarial, etc.)

**Level 0** - Sick leave or disability pension because of knee problems

**Aus: Tegner Y, Lysholm J: Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. Clin Orthop 198:43-49, 1985.**

## **XI.II. WOMAC Score**

### **The WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities) Index of Osteoarthritis**

#### Overview:

The WOMAC (Westren Ontario and McMaster Universities) index is used to assess patients with osteoarthritis of the hip or knee using 24 parameters. It can be used to monitor the course of the disease or to determine the effectiveness of anti-rheumatic medications.

#### Pain:

- (1) walking
- (2) stair climbing
- (3) nocturnal
- (4) rest
- (5) weight bearing

#### Stiffness:

- (1) morning stiffness
- (2) stiffness occurring later in the day

#### Physical function:

- (1) descending stairs
- (2) ascending stairs
- (3) rising from sitting
- (4) standing
- (5) bending to floor
- (6) walking on flat
- (7) getting in or out of car
- (8) going shopping
- (9) putting on socks
- (10) rising from bed
- (11) taking off socks
- (12) lying in bed
- (13) sitting
- (14) sitting
- (15) getting on or off toilet
- (16) heavy domestic duties
- (17) light domestic duties

While the index was being developed performance of social functions and the status of emotional function were also included. These were not included in the final instrument.

#### Social function:

- (1) leisure activities
- (2) community events
- (3) church attendance
- (4) with spouse
- (5) with family
- (6) with friends
- (7) with others

#### Emotional function:

- (1) anxiety
- (2) irritability
- (3) frustration
- (4) depression
- (5) relaxation
- (6) insomnia
- (7) boredom

- (8) loneliness
- (9) stress
- (10) well-being

#### Scoring and Interpretation

##### **Response Points**

- none 0
- slight 1
- moderate 2
- severe 3
- extreme 4

Alternatively a visual analogue scale (VAS) may be used ranging from 0 to 10.

score =  
= SUM(points for relevant items)  
average score =  
= (total score) / (number of items)

Interpretation:

- minimum total score: 0
- maximum total score: 96
- minimum pain subscore: 0
- maximum pain subscore: 20
- minimum stiffness subscore: 0
- maximum stiffness subscore: 8
- minimum physical function subscore: 0
- maximum physical function subscore: 68

#### References:

- Bellamy N Buchanan WW et al. Validation study of WOMAC: A health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol.* 1988; 15: 1833-1840.
- Bellamy N. Pain assessment in osteoarthritis: Experience with the WOMAC osteoarthritis index. *Semin Arthritis Rheumatism.* 1989; 18 (supplement 2): 14-17.
- Bellamy N Kean WF et al. Double blind randomized controlled trial of sodium meclufenamate (Meclomen) and diclofenac sodium (Voltaren): Post validation reapplication of the WOMAC osteoarthritis index. *J Rheumatol.* 1992; 19: 153-159.
- Hawker G Melfi C et al. Comparison of a generic (SF-36) and a disease specific (WOMAC) instrument in the measurement of outcomes after knee replacement surgery. *J Rheumatol.* 1995; 22: 1193-1196.
- Lequesne M. Indices of severity and disease activity for osteoarthritis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism.* 1991; 20 (supplement 2): 48-54.

aus: [www.orthopaedicscores.com](http://www.orthopaedicscores.com)

## XI.III. IKDC Score

### Scoring Instructions for the 2000 IKDC Subjective Knee Evaluation Form

Several methods of scoring the IKDC Subjective Knee Evaluation Form were investigated. The results indicated that summing the scores for each item performed as well as more sophisticated scoring methods.

The responses to each item are scored using an ordinal method such that a score of 0 is given to responses that represent the lowest level of function or highest level of symptoms. For example, item 1, which is related to the highest level of activity without significant pain is scored by assigning a score of 0 to the response "Unable to perform any of the above activities due to knee pain" and a score of 4 to the response "Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer". For item 2, which is related to the frequency of pain over the past 4 weeks, the response "Constant" is assigned a score of 0 and "Never" is assigned a score of 10. **Note:** previous versions of the form had a minimum item score of 1 (for example, ranging from 1 to 11). In the most recent version, all items now have a minimum score of 0 (for example, 0 to 10). To score these prior versions, you would need to transform each item to the scaling for the current version.

The IKDC Subjective Knee Evaluation Form is scored by summing the scores for the individual items and then transforming the score to a scale that ranges from 0 to 100. **Note:** The response to item 10a "Function Prior to Knee Injury" is not included in the overall score. To score the current form of the IKDC, simply add the score for each item (the small number by each item checked) and divide by the maximum possible score which is 87:

$$\text{IKDC Score} = \left[ \frac{\text{Sum of Items}}{\text{Maximum Possible Score}} \right] \times 100$$

Thus, for the current version, if the sum of scores for the 18 items is 45 and the patient responded to all the items, the IKDC Score would be calculated as follows:

$$\text{IKDC Score} = \left[ \frac{45}{87} \right] \times 100$$

$$\text{IKDC Score} = 51.7$$

The transformed score is interpreted as a measure of function such that higher scores represent higher levels of function and lower levels of symptoms. A score of 100 is interpreted to mean no limitation with activities of daily living or sports activities and the absence of symptoms.

The IKDC Subjective Knee Form score can be calculated when there are responses to at least 90% of the items (i.e. when responses have been provided for at least 16 items). In the original scoring instructions for the IKDC Subjective Knee Form, missing values are replaced by the average score of the items that have been answered. However, this method could slightly over- or under-estimate the score depending on the maximum value of the missing item(s) (2, 5 or 11 points). Therefore, in the revised scoring procedure for the current version of a form with up to two missing values, the IKDC Subjective Knee Form Score is calculated as (sum of the completed items) / (maximum possible sum of the completed items) \* 100. This method of scoring the IKDC Subjective Knee Form is more accurate than the original scoring method.

A scoring spreadsheet is also available at: [www.sportsmed.org/research/index.asp](http://www.sportsmed.org/research/index.asp) This spreadsheet uses the current form scores and the revised scoring method for calculating scores with missing values.

2000 IKDC KNEE EXAMINATION FORM								
Patient Name: _____		Date of Birth: ____/____/____ Day Month Year						
Gender: F M	Age: _____	Date of Examination: ____/____/____ Day Month Year						
Generalized Laxity:	tight	normal	lax					
Alignment:	obvious varus	normal	obvious valgus					
Patella Position:	obvious baja	normal	obvious alta					
Patella Subluxation/Dislocation:	centered	subluxable	subluxed	dislocated				
Range of Motion (Ext/Flex):	Index Side:	passive ____/____/____	active ____/____/____					
	Opposite Side:	passive ____/____/____	active ____/____/____					
SEVEN GROUPS	FOUR GRADES				*Group Grade			
	A Normal	B Nearly Normal	C Abnormal	D Severely Abnormal	A	B	C	D
1. Effusion	None	Mild	Moderate	Severe				
2. Passive Motion Deficit								
ΔLack of extension	<3°	3 to 5°	6 to 10°	>10°				
ΔLack of flexion	0 to 5°	6 to 15°	16 to 25°	>25°				
3. Ligament Examination (manual, instrumented, x-ray)								
ΔLachman (25° flex) (134N)	-1 to 2mm	3 to 5mm(1*) -1 to -3	6 to 10mm(2*) <-3 stiff	>10mm(3*)				
ΔLachman (25° flex) manual max Anterior endpoint:	-1 to 2mm firm	3 to 5mm	6 to 10mm soft	>10mm				
ΔTotal AP Translation (25° flex)	0 to 2mm	3 to 5mm	6 to 10mm	>10mm				
ΔTotal AP Translation (70° flex)	0 to 2mm	3 to 5mm	6 to 10mm	>10mm				
ΔPosterior Drawer Test (70° flex)	0 to 2mm	3 to 5mm	6 to 10mm	>10mm				
ΔMed Joint Opening (20° flex/valgus rot)	0 to 2mm	3 to 5mm	6 to 10mm	>10mm				
ΔLat Joint Opening (20° flex/varus rot)	0 to 2mm	3 to 5mm	6 to 10mm	>10mm				
ΔExternal Rotation Test (30° flex prone)	<5°	6 to 10°	11 to 19°	>20°				
ΔExternal Rotation Test (90° flex prone)	<5°	6 to 10°	11 to 19°	>20°				
ΔPivot Shift	equal	+glide	++(clunk)	+++ (gross)				
ΔReverse Pivot Shift	equal	glide	gross	marked				
4. Compartment Findings			creptation with					
ΔCrepitus Ant. Compartment	none	moderate	mild pain	>mild pain				
ΔCrepitus Med. Compartment	none	moderate	mild pain	>mild pain				
ΔCrepitus Lat. Compartment	none	moderate	mild pain	>mild pain				
5. Harvest Site Pathology	none	mild	moderate	severe				
6. X-ray Findings								
Med. Joint Space	none	mild	moderate	severe				
Lat. Joint Space	none	mild	moderate	severe				
Patellofemoral	none	mild	moderate	severe				
Ant. Joint Space (sagittal)	none	mild	moderate	severe				
Post. Joint Space (sagittal)	none	mild	moderate	severe				
7. Functional Test								
One Leg Hop (% of opposite side)	≥90%	89 to 76%	75 to 50%	<50%				
<b>**Final Evaluation</b>								

\* Group grade: The lowest grade within a group determines the group grade

\*\* Final evaluation: the worst group grade determines the final evaluation for acute and subacute patients. For chronic patients compare preoperative and postoperative evaluations. In a final evaluation only the first 3 groups are evaluated but all groups must be documented. Δ Difference in involved knee compared to normal or what is assumed to be normal.

IKDC COMMITTEE AOSSM: Anderson, A., Bergfeld, J., Boland, A. Dye, S., Feagin, J., Harner, C. Mohtadi, N. Richmond, J. Shelbourne, D., Terry, G. ESSKA: Staubli, H., Hefti, F., Hoher, J., Jacob, R., Mueller, W., Neyret, P. APOSSM: Chan, K., Kurosaka, M.

aus: [www.orthopaedicscores.com](http://www.orthopaedicscores.com)