

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der  
Medizinischen Fakultät der Charité  
Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Primärer versus Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes  
mit autologen Hamstringsehnen – eine prospektive Matched-Group Analyse.**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Ivonne Stöhr

aus Berlin

Gutachter:     1. Priv.-Doz. Dr. med. A. Weiler  
                  2. Prof. Dr. med. C. Perka  
                  3. Priv.-Doz. Dr. med. R. Becker

Datum der Promotion: 16.05.2010

Herrn PD Dr. med. A. Weiler möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas danken. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. M. Wagner für die mir zu jeder Zeit gewährte Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, sowie für seine große Geduld. Er stand mir stets mit wissenschaftlichem und freundschaftlichem Rat zur Seite.

Die Durchführung dieses Projektes, sowie die Organisation und Planung der klinischen Nachuntersuchungen der einzelnen Patienten/Patientinnen wurde erst gemeinsam mit Herrn PD Dr. med. A. Weiler, Herrn Dr. med. M. Wagner und der Studienassistentin Frau Jessica Schallock möglich.

Ihnen möchte ich hiermit nochmals für die jederzeit freundliche und hilfreiche Zusammenarbeit danken.

Meinen Eltern und meinen Geschwistern, für ihre stete Unterstützung und Geduld,  
in Dankbarkeit gewidmet.

Für Markus

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
1.1.	Historischer Überblick	11
1.2.	Funktionelle Anatomie des Kniegelenkes	12
1.3.	Das vordere Kreuzband	13
1.4.	Entscheidende Nachbarstrukturen	14
1.5.	Biomechanik und Propriozeption des Kniegelenkes	15
1.6.	Inzidenz und Unfallmechanismus	17
1.7.	Der spezielle Fall des Revisionskruzbandes	19
1.8.	Diagnostik der Kreuzbandverletzungen	19
1.8.1.	Anamnese und klinische Untersuchung des Kniegelenkes	20
1.8.2.	Der Lachman Test	21
1.8.3.	Der Pivot Shift Test	22
1.8.4.	Das KT-1000 Arthrometer	24
1.8.5.	Die Bewertungssysteme: Lysholm- und IKDC-Score	26
1.8.6.	Bildgebende Diagnostik	28
1.9.	Der Kreuzbandersatz	29
1.9.1	Indikation und Zeitpunkt für eine operative Intervention	29
1.9.2.	Transplantate	30
1.9.3.	Die verschiedenen Verankerungstechniken des vorderen Kreuzbandersatzes	31
<b>2.</b>	<b>BESONDERHEITEN DER THERAPIE DER VKB-RE-INSUFFIZIENZ</b>	<b>38</b>
<b>3.</b>	<b>FRAGESTELLUNG DER VORLIEGENDEN ARBEIT</b>	<b>40</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>41</b>
4.1.	Einschlußkriterien und Patientenkollektiv	41
4.2.	Operative Technik des primären vorderen Kreuzbandersatzes	45
4.3.	Operative Technik des Revisionsersatzes	48

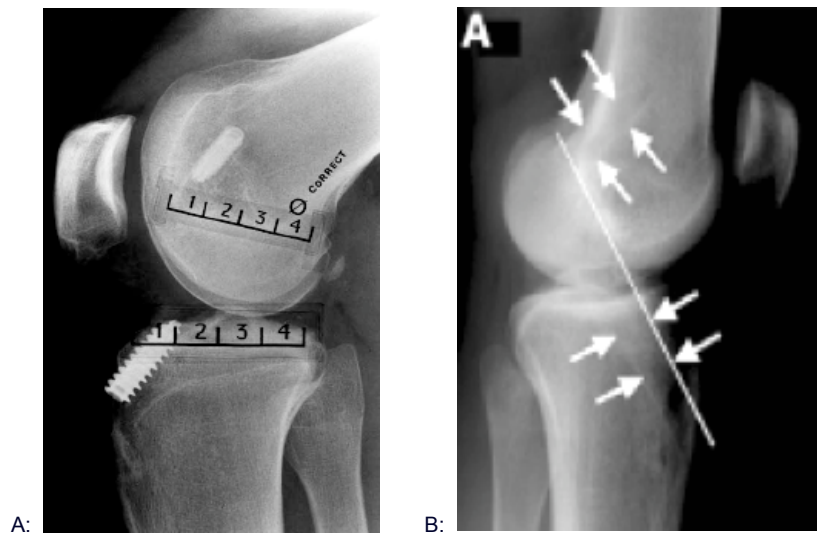
4.4.	Präoperative und intraoperative Komorbiditäten des Patientenkollektivs	50
4.5.	Radiologische Analyse der primären Bohrkanäle in der Revisionsgruppe	51
4.6.	Notwendige Zusatzoperationen im Patientenkollektiv	53
4.7.	Klinische Datenerhebung	53
4.8.	Postoperative Rehabilitation	54
4.9.	Statistische Auswertung	55
<b>5.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>56</b>
5.1.	IKDC-Score und KT-1000-Arthrometer	56
5.1.1.	Die präoperativen Ergebnisse	56
5.1.2.	Die postoperativen Ergebnisse	57
5.1.3.	Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen	59
5.2.	Lysholm-Score	60
5.2.1.	Die präoperativen Ergebnisse	60
5.2.2.	Die postoperativen Ergebnisse	61
5.2.3.	Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen	61
5.3.	Die subjektiv und funktionell evaluierten Daten	62
5.3.1.	Die präoperativen Ergebnisse	62
5.3.2.	Die postoperativen Ergebnisse	62
5.3.3.	Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen	63
<b>6.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>84</b>

<b>9.</b>	<b>ANHANG</b>	89
9.1.	IKDC-Formblatt (präoperativ).	89
9.2.	IKDC-Formblatt (2-3 Monate postoperativ)	92
9.3.	IKDC-Formblatt (5-24 Monate postoperativ)	95
9.4.	SF-36; Fragebogen zur Beurteilung ihres gegenwärtigen Gesundheitszustandes	98
<b>10.</b>	<b>EIDESTÄTTLICHE ERKLÄRUNG</b>	102



## 1. Einleitung

Die zunehmende Bedeutung des Leistungs- und Freizeitsportes spiegelt sich in der steigenden Inzidenz von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes wieder <sup>1</sup>. Aus der steigenden Anzahl primärer Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes (VKB) resultiert eine zunehmende Häufigkeit notwendiger operativer Revisionen <sup>2;3</sup>. Gründe hierfür können postoperative Bewegungseinschränkungen, Transplantatrupturen oder diverse andere Komplikationen darstellen. In Abhängigkeit von der Transplantatwahl und dem Operationsverfahren werden in der Literatur Revisionsraten von 8 bis 25% angegeben <sup>4-7</sup>. Es ist davon auszugehen, dass heute ca. 3-15% aller primären vorderen Kreuzbandrekonstruktionen eine Transplantatruptur erleiden und im Verlauf einer Revisionsrekonstruktion bedürfen <sup>8-10</sup>. Neben dem adäquaten Re-Trauma existieren spezifische chirurgische Fehler, die für ein Transplantatversagen verantwortlich sein können. Dies sind hauptsächlich die nichtanatomische Tunnelpositionierung (Abbildung 1 A und B) und die nicht oder falsch adressierten ligamentären Begleitpathologien beim primärem Ersatz des vorderen Kreuzbandes. Falsch platzierte Bohrkanäle führen zu einem nicht isometrischen Verhalten des Transplantates während des Bewegungsablaufes und damit zu Spannungsspitzen im Transplantat, wodurch es zu einem Transplantatversagen kommen kann.



**Abbildung 1 A-B:** A: Tunnellage (Zone 1) <sup>11</sup> (Schrauben grob fehlpositioniert), B: korrekte Tunnelpositionierung <sup>12</sup>.

Im Falle einer Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes (VKB) nach bereits erfolgtem Ersatz ist eine detaillierte präoperative Fehleranalyse mittels ausführlicher Anamneseerhebung und einer sorgfältigen klinischen sowie radiologischen Untersuchung zwingend erforderlich. Das operative Management der Tunnelplatzierungen und die bestehenden primären Implantate entscheiden, ob der Revisionsersatz einzeitig durchgeführt werden kann, oder ob erst eine Auffüllung der alten Bohrkanäle erfolgen muss<sup>8;9;13;14</sup>. Der Behandlungsplan umfasst Überlegungen zur Entfernung vorheriger Verankerungssysteme oder anderer Implantate, die Behandlung von Begleitverletzungen, Transplantatwahl, Positionierung der Bohrkanäle und Verankerung des Transplantats.

Ein erfolgreicher Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes erfordert eine hohe Compliance des Patienten und einen Chirurgen, der Erfahrungen mit verschiedenen chirurgischen Techniken, unterschiedlichen Transplantaten und Verankerungstechniken hat. Letztendlich sind die Ziele des VKB-Revisionsersatzes identisch mit denen des primären VKB-Ersatzes. Im Vordergrund steht eine Stabilisierung und Normalisierung der Kniegelenkskinematik zur Prävention späterer Sekundärschäden von Knorpel und Menisken (sekundäre Arthrose).

In der aktuellen Literatur ist die Anzahl klinischer Studien, die sich mit dem Thema des Revisionsersatzes des vorderen Kreuzbandes beschäftigen gering. Hauptprobleme dieser Untersuchungen sind ihr oft retrospektiver Ansatz, zu geringe Fallzahlen, und fehlende Kontrollgruppen<sup>15-23</sup>. Hervorzuheben ist, dass diese Arbeiten im Allgemeinen über schlechtere klinische Ergebnisse der Revisionen berichten als nach primärem Ersatz des vorderen Kreuzbandes<sup>8-10;16;18-21;24-27</sup>. In der aktuellen Literatur existieren neben der hier vorgestellten Arbeit lediglich 4 prospektive Studien, in denen ein direkter klinischer Vergleich zwischen primären und Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes dargestellt wird<sup>11;27-29</sup>. Allerdings bestehen die Patientenkollektive sämtlicher Studien aus einem relativ heterogenen Gemisch unterschiedlicher Transplantattypen und Verankerungssystemen, so dass die klinische Evidenz auf diesem Feld bisher als deutlich zu gering zu betrachten ist.

Diese Kritikpunkte haben zu der Fragestellung und Durchführung der vorliegenden klinisch prospektiven Studie geführt. Anhand unseres eigenen Patientenkollektivs haben wir das klinische Outcome nach primärem versus Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes unter alleiniger Verwendung autologer Hamstringsehnentransplantate und einer in allen Fällen direkten und anatomischen Verankerungstechnik in einer prospektiven „Matched-Group Analyse“ untersucht (Level II, Kohortenstudie). Nur die direkte Vergleichbarkeit medizinischer kompatibler Daten führt zu einer hohen Signifikanz und damit zu einer aussagekräftigen Studie im Sinne der „evidenced based medicine“.

## 1.1. Historischer Überblick

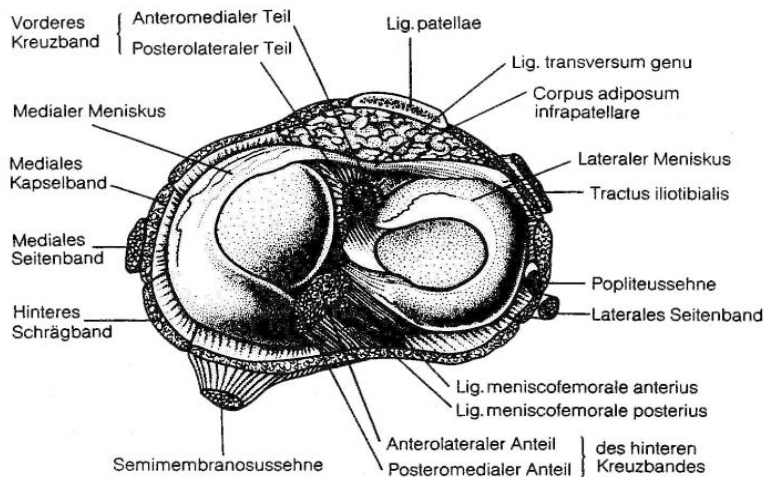
Rupturen des vorderen Kreuzbandes zählen zu den häufigsten Bandverletzungen des menschlichen Bewegungsapparates. Schon etwa 100 Jahre vor der arthroskopischen Ära wurden Verletzungen des vorderen Kreuzbandes in verschiedenen offenen Techniken operativ versorgt. Bereits 1885 hatte Robson mittels Catgut beide Kreuzbänder primär genäht<sup>30</sup>. Weitere Überlegungen zur Rekonstruktion des gerissenen vorderen Kreuzbandes folgten. 1914 berichtet Hesse über die Verwendung eines freien Fascia-Lata-Streifens<sup>31</sup>. 3 Jahre später verwendet Hey-Groves erstmalig einen gestielten Streifen des Tractus iliotibialis als Kreuzbandersatz<sup>32</sup>. Jones stellte 1963 erstmals eine Technik zum VKB-Ersatz unter Verwendung des mittleren Drittels des Ligamentum patellae vor<sup>33</sup>. Brückner modifizierte diese Technik 1966, in dem er das Transplantat durch einen tibialen Bohrkanaal in den Gelenkraum einzog<sup>34</sup>. Die femorale Fixierung erfolgte in einem blind endenden Tunnel, wobei die Transplantat fassenden Drahtenden mit Hilfe eines Metallknopfes über der äußeren Kortikalis fixiert wurden<sup>34</sup>. Von vielen Chirurgen wurde über viele Jahre diese Technik als „Golden Standard“ in der Kreuzbandchirurgie favorisiert. Unter dem Begriff „donor site morbidity“ führte die nicht unerhebliche Problematik der Folgen der Transplantatentnahme aus der Patellarsehne zu einem Umdenken zahlreicher Operateure<sup>35,36</sup>. Ab den 70-iger Jahren wurden die verschiedensten Transplantate, entweder als alleiniger Ersatz oder als Augmentation eingesetzt. Kennedy führte 1976 das Kennedy-LAD aus Polypropylen ein<sup>37</sup>, es folgten Kreuzbänder aus Goretex, Dacron, Trevira, Kohlefaser u. a. Bereits die Frühergebnisse waren relativ schlecht und gingen mit einer hohen Komplikationsrate einher<sup>38</sup>. Heutzutage gilt die Verwendung künstlicher Bänder als obsolet.

Als reaktive Folge wiederholte Cho 1975 die Rekonstruktion des VKB's mit einer Semitendinosusehne<sup>39</sup>. Knapp 50 Jahre vorher wurde diese Methode bereits von Edwards durchgeführt<sup>40</sup>. Von Lindemann und Cho wieder aufgegriffen, wurde diese Operationsmethode in den nachfolgenden Jahren nur sehr verhalten eingesetzt<sup>41,39</sup>. Ein Hauptgrund dafür lieferte die Untersuchung von Noyes, der eine deutlich geringere Reißfestigkeit der Semitendinosusehne im Vergleich zum Ligamentum patellae nachwies<sup>42</sup>. In den letzten Jahren zeigten andere Untersuchungen, dass zahlreiche Vorteile der Hamstringsehnen für die Transplantatwahl als VKB-Ersatz sprechen<sup>43</sup>.

Abhängig von Länge und Stärke der Semitendinosusehne, unter Berücksichtigung der gewählten Fixationstechnik erfolgte die gemeinsame Verwendung von Semitendinosusehne und Gracilissehne<sup>44-47</sup>. Heute gelten sowohl die Patellarsehne als auch die Semitendinosus- und Gracilissehne als häufig verwendete Transplantate<sup>38,48-52</sup>.

## 1.2. Funktionelle Anatomie des Kniegelenkes

Das Kniegelenk ist nicht nur anatomisch das größte Gelenk, sondern auch das komplizierteste und anfälligste Gelenk des menschlichen Körpers (Abbildung 2) <sup>53</sup>. Die knöchernen Strukturen des Gelenkkörpers werden von den Femurkondylen, den Tibiakondylen und der Patella, dem größten Sesambein des menschlichen Körpers gebildet. Nach den überknorpelten Gelenkflächen wird das Kniegelenk in drei Teilgelenke gliedert: Articulatio tibiofemoralis medialis, Articulatio tibiofemoralis lateralis, Articulatio patellofemoralis. In der klinisch-arthroskopischen Praxis hat sich eine Einteilung des Kniegelenkes in 4 Kompartimente bewährt. Unterschieden werden hierbei 3 tibiofemorale (medial, zentral und lateral) und ein femoropatellares Kompartiment. Das mediale und laterale tibiofemorale Kompartiment wird zusätzlich noch in ein vorderes, mittleres und hinteres Drittel unterteilt. Alle Anteile werden von einer gemeinsamen Kapsel mit Ausbuchtungen, den Recessi, umschlossen und durch kräftige Bänder gesichert.



**Abbildung 2:** Horizontalschnitt proximal der Meniskusebene <sup>54</sup>.

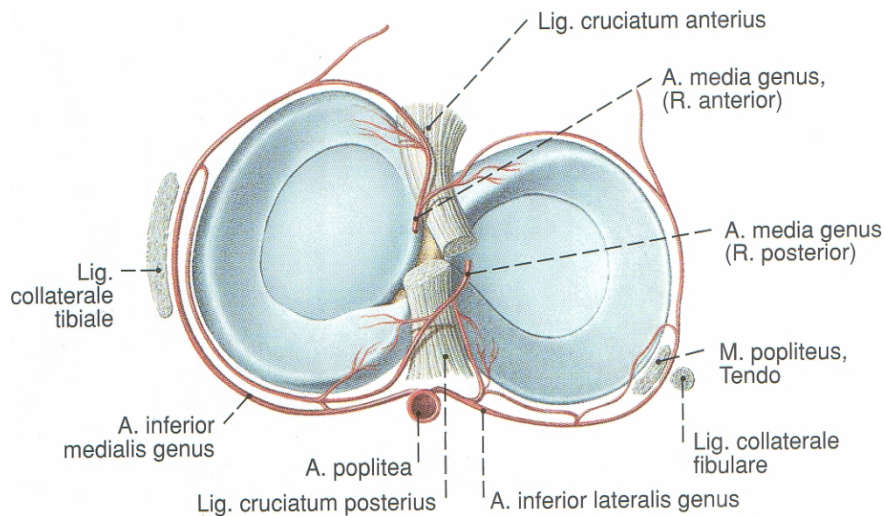
Als größtes Gelenk des Bewegungsapparates handelt es sich bei dem Kniegelenk um ein so genanntes Bikondylengelenk. Bei stark vereinfachter Betrachtungsweise kann man es auch als ein Drehscharniergelenk mit 2 Freiheitsgraden (Flexion und Extension, Innen- und Außenrotation) bezeichnen <sup>53</sup>.

Zusammen mit dem relativ dicken Knorpelüberzug von Femur und Tibia dienen die Menisken als „transportable Gelenkflächen“ zum Ausgleich der knöchernen Inkongruenz zwischen Femur und Tibia. Sie vergrößern die kontakt- und damit die druckübertragende Fläche, sind im Querschnitt keilförmig und aus Faserknorpel aufgebaut<sup>53;55</sup>. Alle Bewegungen sind mit einem Gleiten der Femurkondylen auf dem Tibiakopf bei gleichzeitiger Verschiebung der Menisken verbunden und als sogenannter Roll-Gleit-Mechanismus bekannt. Auf Grund der Inkongruenz der artikulierenden Gelenkflächen, und der damit verbundenen geringen knöchernen Führung, ist die Stabilisierung des Kniegelenkes nur durch den Kapsel-Band-Apparat und die kräftige an- und umgreifende Muskulatur der unteren Extremität möglich. Somit ermöglicht das Wechselspiel zwischen ligamentären (statischer) und muskulären (dynamischer) Strukturen die Stabilität im Gelenk<sup>54</sup>.

### 1.3. Das vordere Kreuzband

Als ein wesentlicher Stabilisator des Kniegelenkes gegen die anteriore Translation und Innenrotation der Tibia gegen das Femur bildet das vordere Kreuzband zusammen mit dem hinteren Kreuzband den zentralen Pfeiler des Kniegelenkes und steuert die Roll-Gleit-Bewegung des Kniegelenkes<sup>56</sup>. Mit seinen hinteren Anteilen entspringt das vordere Kreuzband an der Innenseite des lateralen Femurkondylus; verläuft schräg durch die Fossa intercondylaris und inseriert mit seinem vorderen Faserbündel im Bereich der Eminentia intercondylaris in direkter Nachbarschaft des Außenmeniskusvorderhorns. Das vordere Kreuzband besteht aus einer Vielzahl kleiner Faserbündel. Funktionell differenziert man ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel<sup>1</sup>. Neben Weber<sup>57</sup> beschrieben schon zahlreiche andere Autoren ein anteromediales Bündel, das in Beugung gespannt ist, und ein posterolaterales Bündel, das sich in Streckung anspannt<sup>1;58-61</sup>. Im Vergleich zu dem posterolateralen Bündel sind die anteromedialen Fasern über einen größeren Bewegungsbereich angespannt und werden deshalb auch als Führungsbündel bezeichnet<sup>59</sup>. Die Länge des vorderen Kreuzbandes beträgt 31-38 mm<sup>62</sup>. Zusammen mit dem hinteren Kreuzband wird das vordere Kreuzband von einem gut durchbluteten Synovialschlauch umgeben und ist somit prinzipiell vom Gelenkbinnenraum getrennt<sup>63</sup>.

Die Blutversorgung des vorderen Kreuzbandes wird primär über die A. genicularis medialis und sekundär über den tibialen Ansatz einiger Äste der A. genicularis medialis inferior gewährleistet. Beide Gefäße entspringen aus der A. poplitea (Abbildung 3)<sup>63;64</sup>.



**Abbildung 3:** Blutversorgung des Kniegelenkes <sup>65</sup>.

Die Blutgefäße gelangen über den infrapatellären Fettkörper und über eine dorsale Umschlagfalte in das Gelenk und verzweigen sich periligamentär in einem synovialen Netzwerk von Gefäßen <sup>64</sup>.

Die Innervation des vorderen Kreuzbandes erfolgt über feine Äste des N. articularis posterior, der aus dem N. tibialis entspringt. Diese gelangen über die dorsale Umschlagfalte der Synovialis ins Gelenk und ziehen somit zusammen mit den Gefäßen zum vorderen Kreuzband.

Das VKB spielt nicht nur eine Rolle bei der passiven Stabilisierung des Kniegelenkes. Im Verankerungsbereich zwischen Femur und Tibia, sowie im subsynovialen Bindegewebe enthält es zahlreiche Mechanorezeptoren <sup>66-68</sup>. Diese dienen der propriozeptiven Funktion, die im nachfolgenden Kapitel eingehend erörtert wird.

#### 1.4. Entscheidende Nachbarstrukturen

Bei Betrachtung der Funktionsweise und Verletzung des vorderen Kreuzbandes ist es unumgänglich auf weitere Strukturen im Kniegelenk näher einzugehen. Je nach Art und Schwere der einwirkenden Kraft kann es zu unterschiedlichen Verletzungskombinationen des vorderen Kreuzbandes, des medialen und lateralen Kapselbandapparates und der Menisken kommen. Der Grad der Instabilität im Kniegelenk steigt dabei von den geraden zu den rotatorischen Instabilitäten <sup>69</sup>. Es entstehen zusätzliche Kniegelenkpathologien, deren Erfassung und Mitbehandlung von entscheidener Bedeutung für den Ausgang eines Ersatzes/Revisionsersatzes des vorderen Kreuzbandes sein kann <sup>70;71</sup>.

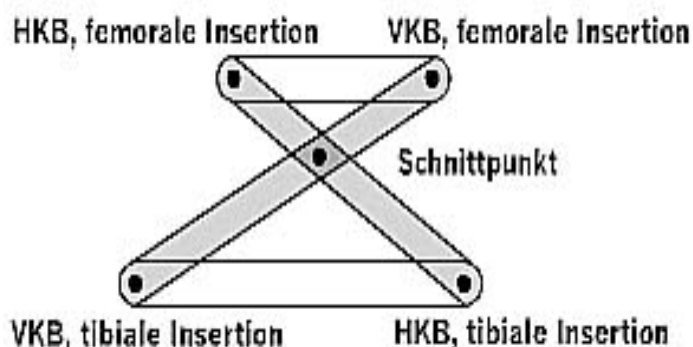
Es ist bekannt, dass sekundäre Menishektomien zwischen dem 5. und 10. Jahr nach Verlust des vorderen Kreuzbandes in 20-80% der Fälle erforderlich werden, wenn kein Ersatz des VKB erfolgt <sup>72</sup>.

Als Folge kommt es durch die fehlenden Menisken zu einer Verstärkung der Instabilität und somit der arthrosefördernden Faktoren<sup>73-75</sup>. Ein suffizientes vorderes Kreuzband stellt einen wichtigen primären Schutz für den Innenmeniskus dar. Daraus folgt, dass das wesentliche Ziel des VKB-Ersatzes den Schutz vor sekundären Folgeschäden darstellt.

### 1.5. Biomechanik und Propriozeption des Kniegelenkes

Das Kniegelenk ermöglicht Bewegungen in insgesamt 6 Freiheitsgraden. Die Translationen lassen sich in anteroposteriorer und mediolateraler Richtung, sowie in Kompression und Distraction differenzieren. Die Kniegelenksrotationen sind Flexion/Extension, Innen-/Außenrotation sowie Abduktion/Adduktion. Das physiologische Gelenkspiel wird begrenzt durch die Geometrie der artikulierenden Gelenkflächen und durch aktive und passive Rückhaltekräfte der muskulären und ligamentären Gelenkstrukturen. Es ist weiterhin gekennzeichnet durch ein komplexes Zusammenspiel der Translations- und Rotationsbewegungen. Während in kompletter Extension ein Höchstmaß an Stabilität erreicht wird (Schlussrotation), nimmt das Ausmaß der Freiheitsgrade bei zunehmender Flexion zu. In der Neutral-Null-Methode beträgt die physiologische Kniegelenksbeweglichkeit Extension zu Flexion  $5^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $145^{\circ}$ . Die Innen- und Außenrotation ist flexionsabhängig und beträgt bei  $20^{\circ}$  Flexion  $15^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $35^{\circ}$ . Eine mediale und laterale Aufklappbarkeit ist physiologischerweise in Extension nicht gegeben. Bei einer Flexion von  $20^{\circ}$  lässt diese sich jedoch auch klinisch nachweisen. Das Kernstück der Kniegelenkskinematik bilden die beiden Kreuzbänder. Sie fungieren als primäre Stabilisatoren gegen die anteroposteriore Translation und weiterhin gegen Rotationskräfte der Tibia gegen das Femur. In der Vergangenheit wurden im Rahmen intensiver anatomischer Studien zahlreiche wissenschaftliche Modelle entwickelt, um einen Einblick in die Funktion der Kreuzbänder zu erlangen. Ein wesentlicher Schritt war hierbei die Entwicklung des zweidimensionalen Modells der "übergeschlagenen Viergelenkkette"<sup>76</sup>.

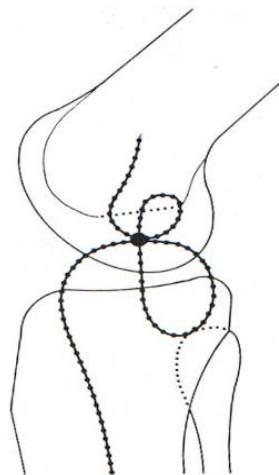
Dabei werden die beiden Kreuzbänder als „Gelenkstangen“ angesehen, die an ihren Enden beweglich aufgehängt sind (Abbildung 4). Durch die Position ihrer Verankerung und ihrer vorgegebenen Länge steuern sie die Bewegung des Tibiakopfes mit.



**Abbildung 4:** Die "übergeschlagene Viergelenkkette" in Extension, in Anlehnung an Strobel<sup>54</sup>.

Bei schrittweiser Bewegung des Systems von der Streckung in die Beugung ergibt sich aus der Verbindung der einzelnen Kontaktpunkte des Tibiakopfes eine Kurve, die exakt der Form der Femurkondylen entspricht <sup>62</sup>. Durch diese Überlegung ist die Bewegung des Gelenkes an die knöchernen Strukturen und an die Integrität der Kreuzbänder geknüpft. In jeder Gelenkstellung befindet sich die Rotationsachse stets im Schnittpunkt der beiden Kreuzbänder.

Obwohl das Viergelenkmodell in der Diskussion um die so genannte anatomische Rekonstruktion des VKB's hohe Bedeutung erlangt hat, kann es der komplexen Funktionsweise der Kreuzbänder, durch seine zweidimensionale Betrachtungsweise nur unzureichend gerecht werden. Spätere Konzepte bemühten sich daher verstärkt um eine dreidimensionale Betrachtungsweise. Menschik beschrieb 1974 erstmals die Burmester-Kurve, eine Kurve 6. Ordnung, die sowohl Kreuzband- als auch Seitenbandverlauf in einen kinematischen Zusammenhang bringt <sup>77</sup>. Sämtliche Ursprungs- und Ansatzpunkte und der Schnittpunkt der Bänder liegen auf dieser Kurve. Danach bedingen sich Kreuz- und Seitenbandverlauf gegenseitig (Abbildung 5) <sup>77</sup>.



**Abbildung 5:** Konstruktion der Burmester-Kurve (schematisch), aus Strobel <sup>54</sup>.

Bedingt durch die breit gefächerten Ansatz- und Ursprungsareale des vorderen Kreuzbandes sind, abhängig von der Gelenkstellung, jeweils unterschiedliche Fasersysteme angespannt. In Extension befindet sich das Band in größter Steilstellung, woraus sich eine ungünstige Effizienz bezüglich seiner Aufgaben ergibt. Aus diesem Grund sind in dieser Stellung alle Fasern angespannt und parallel ausgerichtet. Bei maximaler Flexion sind nur noch die anteromedialen Fasern angespannt.

Der Ursprung der posterolateralen Fasern wandert bei zunehmender Flexion sukzessiv nach ventral, so dass diese sich entspannen. Die anteromedialen Anteile weisen während des gesamten Bewegungsablaufes die geringste Spannungsänderung auf und können daher als Isometriepunkte bezeichnet werden <sup>78;79</sup>.



Im Hinblick auf die Anforderungen an die chirurgische Rekonstruktion war die Erforschung der Reißfestigkeit des vorderen Kreuzbandes Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Messmethodik und den individuell unterschiedlichen konstitutionellen Bedingungen wurden Reißfestigkeiten von 600-2000 N gemessen <sup>42; 80-81</sup>.

Nach Angaben von Noyes betragen die während der Tätigkeiten des alltäglichen Lebens im vorderen Kreuzband auftretenden Kräfte nicht mehr als 10-20 % seiner Reißfestigkeit, was bedeutet, dass die Kräfte im Band ca. 400-450 N betragen würden <sup>42</sup>. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen von Harrington der die Kräfte mit 411 N berechnete <sup>82</sup>.

Das Verständnis der speziellen Biomechanik des vorderen Kreuzbandes ist essentielle Voraussetzung für einen erfolgreichen Ersatz dieses Bandes. Neben seiner Funktion als Hauptstabilisator in der Sagittalebene spielt das vordere Kreuzband eine entscheidende Rolle bei der Kontrolle der Innenrotation und dient somit der Führung und Stabilisierung der Roll-Gleit-Bewegung des Gelenkes <sup>46</sup>. Entfällt diese Funktion kommt es als wesentliche Folge zu einer progredienten Schädigung der kraftübertragenden Strukturen und sekundären Stabilisatoren des vorderen Kreuzbandes <sup>84;85</sup>.

Neben diesen biomechanischen Eigenschaften besitzt das vordere Kreuzband eine propriozeptive Funktion. Der Begriff der Propriozeption definiert die Wahrnehmung und die Kontrolle der aktuellen Lage eines Körpers im Raum sowie der aktuellen mechanischen Beanspruchung einer Struktur <sup>86</sup>. Diese Informationen werden afferent über die Äste des N. tibialis, N. articularis medialis, lateralis und posterius weitergeleitet <sup>87</sup>. Wie schon erwähnt, ist das vordere Kreuzband nicht nur ein mechanischer Stabilisator des Kniegelenkes, sondern übernimmt durch seine zahlreichen Mechanorezeptoren und über einen Reflexbogen mit der ischiokruralen Muskulatur eine wichtige propriozeptive Steuerungsfunktion <sup>66-68</sup>. Eine Ruptur des VKB führt somit zu einem Verlust dieser sensiblen Schutzfunktion. In der Literatur finden sich verschiedene Arbeiten, die sich mit der genauen Lage dieser Rezeptoren beschäftigen. Zimny und Andersson konnten mit ihren Untersuchungen belegen, dass die größte Rezeptorendichte vor allem am proximalen und distalen Ende des Kreuzbandes vorhanden ist <sup>84;88</sup>.

Es konnte demonstriert werden, dass Patienten mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes deutliche Schwierigkeiten haben, die Stellung ihres Kniegelenkes wahrzunehmen und damit vor allem auf schnelle Richtungswechsel verspätet reagieren <sup>68;89</sup>. Heutzutage kann man davon ausgehen, dass eine chronische Instabilität des Kniegelenkes gerade durch diese kurzfristigen Belastungen zu einem verfrühtem Verschleiß des Kniegelenkes führt <sup>90</sup>.

## **1.6. Inzidenz und Unfallmechanismus**

Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (VKB) gehören zu den häufigsten Bandverletzungen des Menschen. Helbing stellte fest, dass das Knie mit ca. 7 % das am häufigsten verletzte Gelenk des Menschen ist, wobei überwiegend die Bänder, Kapseln und Menisken betroffen sind und nur 1 % aller Knieverletzungen eine knöcherne Beteiligung zeigen <sup>91</sup>.

Nach Franke und McConkey ist das Kniegelenk unter den Sportverletzungen mit einem Anteil von 15-30 % betroffen<sup>92;93</sup>. Allein beim Skifahren sind heute 66 % aller Knieverletzungen Kreuzbandrupturen<sup>94</sup>. Die Gruppe der Fußballsportler stellt im europäischen Raum die Risikogruppe mit dem höchsten Anteil an Verletzungen des VKB's dar<sup>95</sup>. In Schweden wurden im Jahre 1986 von insgesamt 189.152 organisierten Fußballspielern 3.735 Sportunfälle registriert<sup>91</sup>. Darunter waren 937 Knieverletzungen (25%). Ein Drittel davon wiederum waren Verletzungen des VKB's. In Deutschland kommt es etwa zu 25.000 Kreuzbandverletzungen pro Jahr<sup>96</sup>. Damit besitzt die Verletzung des vorderen Kreuzbandes und ihre suffiziente Therapie eine als hoch einzuschätzende sozioökonomische Dimension.

Aus einer Inzidenz von bis zu 15% Re-Rupturen des vorderen Kreuzbandes errechnet sich hierzulande ein Bedarf von 2000-3000 Revisionsoperationen pro Jahr, die den operativ orthopädisch-traumatologisch tätigen Chirurgen fordern<sup>97</sup>. Wie im Falle einer primären Kreuzbandläsion hinterlässt eine erneute Ruptur oder Insuffizienz der Erstersatz eine schwere Funktionsstörung des betroffenen Kniegelenks mit allen bereits beschriebenen Sekundärfolgen. Die Ziele des Revisionsersatzes des VKB's sind denen des primären Ersatzes gleich. Der Erhalt der Kniestabilität dient dem Schutz der sekundären Stabilisatoren und damit dem vorderen Kreuzbandes und dem Gelenkknorpel.

Zum klassischen Unfallmechanismus einer vorderen Kreuzbandläsion zählen neben dem Flexions-Valgus-Außenrotationstrauma, das Flexion-Varus-Innenrotationstrauma, das Hyperextensionstrauma sowie das Hyperflexionstrauma und das Valgustrauma zu den typischen Verletzungskombinationen<sup>98</sup>. Beim Flexions-Valgus-Außenrotationstrauma kommt es neben der Ruptur des vorderen Kreuzbandes zur Zerreißung der medialen Kapsel-Band-Strukturen. Ein klassisches und häufiges Beispiel hierfür ist das Fallen über den feststehenden und sich in Außenrotation befindlichen Fuß.

Die anterolateralen Kapsel-Band-Strukturen in Kombination mit dem vorderen Kreuzband werden beim Flexion-Varus-Innenrotationstrauma verletzt. Beispielsweise beim Überkreuzen der Skier, wobei es zum Sturz über den feststehenden, innenrotierten Fuß kommt. Ein Sturz nach vorne ohne Rotation im Sprunggelenk führt durch die Hyperextension des Beines zur Verletzung des vorderen Kreuzbandes und wird dementsprechend als Hyperextensionstrauma bezeichnet. Das Hyperflexionstrauma führt zur Schädigung des vorderen Kreuzbandes und der Meniskushinterhörner. Im Falle eines Sturzes des Gegenspielers von außen gegen das gestreckte Bein des Spielers spricht man von einem typischen Valgustrauma mit Zerreißung des Innenbandapparates und des Kreuzbandes.

Dass ein adäquater Verletzungsmechanismus zu einer erneuten Verletzung des vorderen Kreuzbandes nach Ersatz führt ist in jeder Situation möglich. Insgesamt sind hier aber immer noch operationstechnische, biomechanische und biologische Faktoren wesentlich ursächlich<sup>99;100</sup>. In diesem Fall spricht man von einem insuffizienten oder chronisch instabilen VKB-Ersatz, oder einer Re-Ruptur. Die möglichen Folgen entsprechen denen des primären Ersatzes.

### 1.7. Der spezielle Fall des Revisionsersatzes

Durch die Zunahme der operativen Versorgungen primärer VKB-Rupturen steigt gleichzeitig auch die Inzidenz von notwendigen Revisionen. Die Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes nach Ersatz hat, im Hinblick auf die Notwendigkeit eines Re-Ersatzes, in der Vergangenheit zu heftigen Diskussionen geführt. Nach Kohn und Rupp wird ein vorderer Kreuzbandersatz als fehlgeschlagen definiert, falls eine postoperative Infektion aufgetreten ist, Schmerzen den freien Gebrauch des Gelenkes verhindern, eine erhebliche Bewegungseinschränkung vorliegt, das Knie instabil blieb oder wieder instabil geworden ist<sup>101</sup>. Im Fall einer Re-Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes unterscheidet man generell zwischen einer erneuten adäquaten Verletzung bei korrekt durchgeführtem Primäreingriff und operationstechnischen, biologischen oder biomechanischen Ursachen<sup>102</sup>. Als biologische Faktoren gelten neben der mangelhaften Einheilung des Transplantates, die ungenügende Revaskularisation, die Abstoßungsreaktion, die Arthrofibrose sowie postoperative Infekte<sup>103</sup>. Zu den viel häufigeren Gründen einer fehlgeschlagenen Kreuzbandersatz zählen allerdings operationstechnische Faktoren: Fehlplatzierungen der Bohrkanäle, ggf. mit einem so genannten Notchimpingement, die mangelhafte Fixierung des Transplantates sowie die fehlerhafte Transplantatspannung<sup>100;102;104</sup>.

Zu den biomechanischen Faktoren zählen beispielsweise eine zu geringe Transplantatstärke, eine nicht erkannte Achsenfehlstellung des operierten Beines, oder nicht bzw. falsch adressierte ligamentäre Begleitläsionen<sup>105;106</sup>. Der Zeitpunkt zum Re-Ersatz des VKB's sollte gewählt werden, wenn das betroffene Kniegelenk keinen Erguss mehr aufweist, eine freie Extension und eine Flexion von mindestens 100° zeigt. Dieser Zustand ist in den meisten Fällen 4-6 Wochen nach dem Trauma erfüllt. In der Literatur findet man deutliche Angaben, dass im Falle einer zu frühen Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (akute Phase) gehäuft massive postoperative Einschränkungen der Beweglichkeit (Arthrofibrose) auftreten<sup>84;107</sup>.

### 1.8. Diagnostik der Kreuzbandverletzungen

Kommt es zu einer primären Läsion oder einer Re-Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist das verletzte Knie in der frühen posttraumatischen Phase in aller Regel geschwollen, schmerzhaft und kann nicht vollständig gestreckt und gebeugt werden. Nachdem die akuten Symptome abgeklungen sind, kann eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Instabilität bestehen. Diese äußert sich in einem plötzlichem „Wegknicken“ des Kniegelenkes („giving way“) bei bestimmten Bewegungen. Dies kann bereits bei Alltagsbewegungen wie Treppen steigen auftreten oder auf starke körperliche Aktivität, wie Sport beschränkt sein. Zur Diagnosestellung einer bestehenden Verletzung gehören die genaue Anamnese und die klinische Untersuchung. Zu Bedenken ist, dass die klinische Untersuchung einer Kreuzbandverletzung beim frisch verletzten Gelenk aufgrund der starken Schmerzen und der Schwellung nicht immer sicher möglich ist.

Durch zusätzliche Untersuchung mittels bildgebender Verfahren kann die Befunderhebung unterstützt werden. Zum Ausschluss von knöchernen Verletzungen werden Röntgenaufnahmen des Kniegelenks angefertigt (Knie beidseits in 45° p. a. und betroffenes Knie in seitlicher Hyperextension)<sup>108</sup>. Um zusätzliche Verletzungen an Weichteilgeweben wie Gelenkknorpel, Menisken und Bändern darzustellen, kann eine Kernspintomographie (MRT) sinnvoll sein.

### **1.8.1. Anamnese und klinische Untersuchung des Kniegelenkes**

Oft als Banalität angesehen, aber immer wieder unzureichend berücksichtigt, gehört zu jeder klinischen Untersuchung des Kniegelenkes eine ausführliche Anamnese. Die dadurch gelieferten Informationen geben wichtige Anhaltspunkte zu differentialdiagnostischen Überlegungen. Die Untersuchung beginnt mit dem Eintreten des Patienten in das Untersuchungszimmer. Durch den ersten Eindruck kann beispielsweise objektiv das Gangbild beurteilt werden. Die Beobachtung des Patienten beim Auskleiden kann Rückschlüsse auf bestehende Einschränkungen der Kniefunktion ermöglichen. Nach ausführlicher anamnestischer Befragung beginnt die klinische Untersuchung mit der Inspektion des unbedeckten, stehenden Patienten. Anschließend erfolgt die Inspektion im Liegen. Der Blick auf die Beine kann Anhaltspunkte über die Achsstellung, eventuelle Beinlängendifferenzen, über den Zustand der Muskulatur, über Schonstellungen bedingt durch Streckdefizite, über Schwellungen und das Vorliegen von Narben geben.

Die klinische Untersuchung sollte grob orientierend mit dem gesunden Bein beginnen, um quasi einen Referenz- und Sollwert der einzelnen Parameter erhalten zu können. Alle im weiteren Verlauf beschriebenen Untersuchungen erfolgen stets im Seitenvergleich, dabei ist es wichtig darauf zu achten, dass die an- und umgreifende Muskulatur des Kniegelenkes gut entspannt ist. Als erster Schritt erfolgt nun die Palpation des betroffenen Kniegelenkes. Knieschwellungen, Ergüsse oder schmerzhafte Druckpunkte können so eruiert werden.

Die Überprüfung auf einen Gelenkerguss, als ein wichtiges Kriterium für einen chronischen Reizzustand des Kniegelenkes, beispielsweise bei einer vorderen Kreuzbandläsion, erfolgt durch das Ausstreichen des oberen Recessus mit der Hand, die dabei die Patella proximal umfasst. Mit der anderen Hand wird die Patella heruntergedrückt und man versucht dadurch die Patella „tanzen“ zu lassen. Dieses Phänomen wird als „tanzende Patella“ bezeichnet. Ab einer Ergussbildung von 20 ml kann dieses Phänomen ausgelöst werden<sup>109</sup>. Zur weiteren Beurteilung des Kniegelenkes gehört die Untersuchung des allgemeinen Bewegungsumfanges nach der Neutral-Null-Methode, Extension/Flexion (Norm: 5°-0°-145°). Vorliegende Streck- oder Beugedefizite können so diagnostiziert werden. Die Funktionsfähigkeit und Intaktheit des vorderen Kreuzbandes wird mit Hilfe klinischer Tests genauer untersucht. Dazu gehört neben dem Lachman-Test vor allem der Pivot-Shift-Test und zur exakten und objektiven Evaluation die geräteunterstützte Untersuchung mittels KT-1000-Arthrometer.

### 1.8.2. Der Lachman-Test

Erstmals beschrieben von Torg gehört der Lachman-Test zu den wichtigsten und empfindlichsten Funktionstests zur Beurteilung der vorderen Kreuzbandruptur<sup>109</sup>. Zur Durchführung der Untersuchung liegt der Patient entspannt auf dem Rücken. Bei der klinischen Untersuchung unterscheidet man den allgemeinen Lachman-Test (Abbildung 6) vom stabilen passiven Lachman-Test (Abbildung 7).

Beim erst genannten wird die vordere Schublade der Tibia durch eine vordere Subluxation der Tibia gegenüber dem fixierten Femur in 20° Flexion überprüft. In der Praxis sieht die Untersuchung folgendermaßen aus: Durch Umfassen des distalen Femurs mit der einen Hand und Umfassen der proximalen Tibia mit der anderen Hand wird der Femur in 20° Flexion fixiert gehalten. Als nächstes erfolgt dann das mehrmalige ruckartige nach vorne Ziehen der Tibia gegen den fixierten Femur. Die Qualität des Anschlages wird nach folgenden Kriterien beurteilt:

- „Fest“ ist gleichbedeutend mit dem Vorliegen eines intakten aber ggf. verlängerten vorderen Kreuzbandes und
- „weich“ als Synonym für ein Fehlen des Kreuzbandes.
- In beiden Fällen differenziert man zusätzlich, ob ein „verlängerter“ Weg in der anteroposterioren Translation der Tibia vorliegt oder nicht.



**Abbildung 6:** Lachman-Test  
Translation der Tibia nach ventral bei  
20-30° flektiertem Kniegelenk.

Beim stabilen passiven Lachman-Test dient der Oberschenkel des Untersuchers, auf dem der Oberschenkel des Patienten aufliegt als zusätzliches Widerlager und Lagerungshilfe für die notwendige 20° Flexion des zu untersuchenden Beines (Abbildung 7).

Ein weiterer aber weniger spezifischer klinischer Test als der Lachman-Test ist der passive Schubladentest in 90° Flexion. Die Untersuchung erfolgt bei 90° flektiertem Knie mit flach auf der Liege aufgesetzter Fußsohle des Patienten, die durch den Oberschenkel des Untersuchers fixiert wird. Der Tibiakopf wird mit beiden Händen umfasst und bei entspannter Beugemuskulatur nach ventral gezogen.



**Abbildung 7:** Stabiler passiver Lachman-Test mit untergelagertem Oberschenkel. Verbesserte Lagerung des verletzten Kniegelenkes in 20-30° Flexion.

Das Ergebnis dieser Untersuchung wird nach den oben genannten Kriterien des Anschlages beurteilt. Allerdings zeigt sich der Schubladentest in 90° Knieflexion häufig erst positiv, wenn zusätzlich zu einer bestehenden vorderen Kreuzbandschwäche Läsionen des posterioren Innenbandkomplexes vorliegen. Aus diesem Grunde sollte der Lachman-Test oder der stabil passive Lachman-Test in der klinischen Praxis bevorzugt Anwendung finden.

### 1.8.3. Der Pivot-Shift-Test

Von Galway und McIntosh als klinisches Zeichen für die Ruptur des vorderen Kreuzbandes beschrieben und auch als Jerk- oder Subluxationstest bezeichnet, gehört der Pivot-Shift-Test zu den klinisch durchgeführten Untersuchungen, die bei Verdacht auf einen Riss oder eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes angewendet werden<sup>110</sup>. Der Test besteht aus einer provozierten Subluxation der Tibia nach innen und adressiert damit die Fähigkeit des intakten vorderen Kreuzbandes diese Art der Bewegung zu limitieren. Die Ferse des auf dem Rücken liegenden Patienten wird gefasst, das gestreckte Bein unter Rotation des Unterschenkels nach innen angehoben und flektiert. Die andere Hand des Untersuchers erzeugt durch Druck gegen die proximale Fibula einen Valgustreiß (Abbildung 8 und 9). Ist bei langsamer Flexion des Kniegelenkes bei ca. 20°-30° Flexion ein deutlich sicht- und fühlbares Schnapp-Phänomen auslösbar, gilt dies als positiver Pivot-Shift Test und weist auf eine Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes hin.



**Abbildung 8:** Pivot-Shift Test.



**Abbildung 9:** Pivot-Shift Test.

In der Abschätzung der individuellen Prognose des Kniegelenkes besitzt der Pivot-Shift Test eine hohe Wertigkeit. In der Literatur konnte gezeigt werden, dass bei positivem Pivot-Shift Test eine hohe Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung von Sekundärschäden des Kniegelenkes besteht.

Das positive Pivot-Shift Zeichen ist für isolierte oder kombinierte vordere Kreuzbandinsuffizienzen pathognomonisch. Als Kriterium für eine Läsion spricht:

- Zwischen 10-30° gibt es einen kleineren oder größeren Sprung („glide“) des Tibiakopfes, der sich reponiert und eine Roll-Gleit-Bewegung der Patella im patellofemorale Teilgelenk.
- Differenzierung der Läsion erfolgt in drei Graden (positiv +, ++, +++).

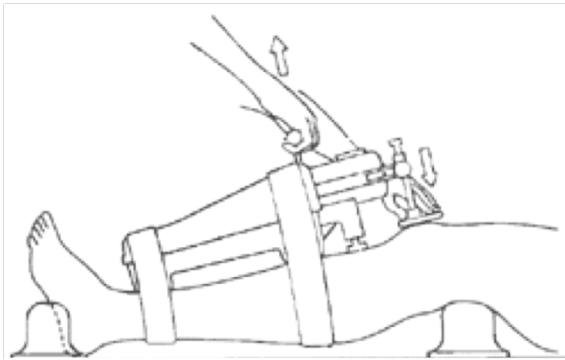
Ein echtes Pivot-Shift-Phänomen kann trotz VKB-Insuffizienz teilweise nicht vorliegen:

- wenn eine vollständige mediale Seitenbandruptur vorliegt,
- wenn der Tractus iliotibialis durchtrennt ist oder
- wenn eine Korbhenkelläsion des medialen oder lateralen Meniskus die vordere Tibiatranslation verhindert.

Ebenfalls zu bedenken ist, dass es Patienten gibt, die durch eine angeborene Laxität der Bänder das Ergebnis verfälschen. In diesen Fällen kann ein positives Pivot-Shift Zeichen beidseits auslösbar sein, obwohl keine Läsion der vorderen Kreuzbänder vorliegt. Unter anderem ist aus diesem Grunde immer die gesunde Gegenseite als Referenz mit zu untersuchen.

#### 1.8.4. Das KT-1000 Arthrometer

Das KT-1000 Arthrometer wurde 1982 von Daniel entwickelt <sup>111</sup>. Es handelt sich hierbei um ein Gerät, welches zur Messung der anterior-posterioren Translation dient. Im klinischen Alltag ermöglicht das KT-1000 die exakte Evaluation der vorderen Schublade und somit eine objektive Aussage über die Stabilität des vorderen Kreuzbandes. Als pathologisch bezeichnet Daniel eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm <sup>111</sup>. Damit die Messergebnisse reproduzierbar sind, ist die sorgfältige Vorbereitung des Patienten entscheidend. Für die Durchführung der Untersuchung liegt der Patient entspannt auf dem Rücken auf einer Untersuchungsfläche, die Hände befinden sich an der Seite des Körpers. Das Gerät wird proximal des Kniegelenkspaltes mittels Bändern mit Klettverschlüssen am Unterschenkel platziert. Die Lagerungshilfen dienen dabei der richtigen Positionierung und verhindern eine ungewollte Außenrotation des zu untersuchenden Beines (Abbildung 10 und 11).



**Abbildung 10:** Schematische Skizze des KT-1000 Arthrometer und klinische Untersuchung.

Die Höhe des Gerätes wird individuell eingestellt, so dass das Kniegelenk in 20-35° flektiert und die Markierung auf den Kniegelenkspalt bezogen platziert ist.

Der exakte Flexionswinkel ist notwendig, um die bestmögliche Stabilisierung der Patella in der Trochlea zu erzielen und kann durch die Lagerungshilfen geändert werden. So werden Fehlmessungen bedingt durch eine erhöhte Beweglichkeit der Patella vermieden.



**Abbildung 11:** Klinische Untersuchung mit dem KT-1000 Arthrometer.



Nach Lagerung und korrekter Positionierung des Gerätes erfolgt die Messung. Dabei wird der Oberschenkel und das „patella reference pad“ (siehe Abbildung 10, unter der linken Hand) durch vertikalen Druck von ventral fixiert und stabilisiert. Bevor dann die eigentliche Messung beginnt, wird die Drehscheibe auf Null justiert. Durch gleichmäßiges Ziehen am Hebel kann man folgende Messergebnisse erzielen:

1. Passiver Displacement Test:

Bei dieser Untersuchungsmethode wird der tibiale Vorschub bei 15 und 20 pounds (1 pound = 453,6 g) gemessen. Durch drei verschiedene Töne wird dem Untersucher signalisiert, welche Kraft auf das Bein einwirkt. Die Werte werden an der skalierten Drehscheibe abgelesen.

2. Manueller maximaler Displacement Test:

Bei diesem Test, der die sensitivsten Ergebnisse liefert, wird durch direkten vertikalen Kraftzug nach oben, der Unterschenkel gegen den Oberschenkel verschoben. Dadurch wird der maximale tibiale Vorschub provoziert und kann durch Ablesen von der Skala ermittelt. Dieser Test simuliert prinzipiell den Lachman-Test.

Beide Tests werden nacheinander an beiden Beinen durchgeführt. Begonnen wird mit der nicht betroffenen Seite. Auf die Interpretation der ermittelten Messergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt in dieser Arbeit eingegangen.

### 1.8.5. Die Bewertungssysteme: Lysholm- und IKDC-Score

Klinische Scores stellen ein numerisches Bewertungssystem dar, das den Zustand eines Patienten anhand von Punktwerten für ausgewählte Untersuchungskriterien und einer daraus resultierenden Gesamtpunktzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreibt. Für das Kniegelenk existiert eine Vielzahl von Scoring-Systemen für unterschiedliche Anwendungen. In dieser Arbeit wurden der Score nach Lysholm und Gillquist <sup>112</sup> (Abbildung 12) und der IKDC Score (International Knee Documentation Committee) (Abbildung 13) verwendet.

**Abbildung 12:** Lysholm-Score, aus „Das Knie“ von Dieter Kohn, 2000 Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York <sup>97</sup>.

<b>Hinken</b> (5 Punkte)	kein Hinken	5	<b>Stockhilfe</b> (5 Punkte)	keine Stockhilfe	5
	zeitweiliges Hinken	3		Stock oder Gehstütze	3
	dauerndes Hinken	0		Belastung unmöglich	0
<b>Treppensteigen</b> (10 Punkte)	keine Probleme	10	<b>In die Hocke gehen</b> (5 Punkte)	keine Probleme	5
	etwas beeinträchtigt	6		etwas beeinträchtigt	4
	Stufe für Stufe unmöglich	2		nicht über 90° Kniebeugung unmöglich	2
		0			0
<b>Instabilität</b> (30 Punkte)	kein „giving way“ (plötzliches „Nachgeben“ oder „Einknicken“)	30	<b>Schmerz</b> (30 Punkte)	keine Schmerzen	30
	selten beim Sport	25		manchmal leichte Schmerzen im Zusammenhang mit „giving way“	25
	häufiger beim Sport/Sportunfähigkeit	20		erheblich bei sportlicher Belastung	15
	gelegentlich im Alltag	10		erheblich beim Gehen über 2 km	10
	häufig im Alltag	5		erheblich beim Gehen unt. 2 km	5
	bei jedem Schritt	0		dauernd schwere Schmerzen	0
<b>Schwellung</b> (10 Punkte)	keine Schwellung	10	<b>Atrophie des Oberschenkels</b> (5 Punkte)	keine Atrophie	5
	nach „giving way“	7		1 – 2 cm im Vergleich zur Gegenseite	3
	nach schwerer Belastung (Sport)	5		mehr als 2 cm zur Gegenseite	0
	nach normaler Belastung	2			
	dauernde Schwellung	0			

Ergebnisbeurteilung: Ausgezeichnetes Ergebnis 90 – 100 Punkte, gut 89 – 80 Punkte, befriedigend 79 – 70 Punkte und schlecht < 70 Punkte.

Mit dem Lysholm und Gillquist Score werden zu 95 % subjektive und zu 5 % objektive Kriterien der Kniefunktion bestimmt <sup>112</sup>. Der IKDC Score dient der Untersuchung von Kniebandverletzungen unter Berücksichtigung klinischer, funktioneller und radiologischer Kriterien <sup>112</sup>.

Abbildung 13: IKDC-Score, aus „Das Knie“ v. Dieter Kohn, 2000 Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York <sup>97</sup>.

7 Gruppen	Vier Einstufungen				Gruppen-Ergebnis <sup>1)</sup>			
<b>1. Subjektive Patientenbeurteilung</b>	A: normal	B: beinahe normal	C: abnormal	D: stark abnormal	A	B	C	D
Ihr präoperativer Aktivitätsgrad? (Skala von 0–3)	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3				
Ihr derzeitiger Aktivitätsgrad? (Skala von 0–3)	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3				
Wenn Ihr gesundes Kniegelenk eine Funktionsfähigkeit von 100% hat, mit wieviel Prozent würden Sie das operierte Knie einschätzen?	..... %				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>2. Symptome<sup>1)</sup></b>	I Anstrengende Aktivitäten	II Gemäßigte Aktivitäten	III Leichte Belastung	IV Bei sitzender Belastung				
Schmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Schwellung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Gelegentliches „giving way“ („Nachgeben“)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Vollständiges „giving way“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>3. Bewegungsumfang</b>	Untersuchte Seite ...../...../.....°      Gegenseite ...../...../.....°							
Extension/Flexion								
Streckdefizit (von 0°)	<input type="checkbox"/> < 3°	<input type="checkbox"/> 3–5°	<input type="checkbox"/> 6–10°	<input type="checkbox"/> > 10°				
Beugedefizit	<input type="checkbox"/> 0–5°	<input type="checkbox"/> 6–15°	<input type="checkbox"/> 16–25°	<input type="checkbox"/> > 25°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>1)</sup> Das Gruppenergebnis wird durch die niedrigste Einstufung innerhalb der Gruppe bestimmt.

<sup>1)</sup> Der höchste bekannte Aktivitätsgrad wird zugrunde gelegt.

7 Gruppen	Vier Einstufungen				Gruppen-Ergebnis			
<b>4. Bandinstabilität (manuell, Geräte, Röntgen)</b>					A	B	C	D
Lachmann 25°-Flexion	<input type="checkbox"/> 1–2 mm	<input type="checkbox"/> 3–5 mm	<input type="checkbox"/> 6–10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm				
Anschlag (hart/weich)	<input type="checkbox"/> hart		<input type="checkbox"/> weich					
Translation a.-p. (70° flex.)	<input type="checkbox"/> 1–2 mm	<input type="checkbox"/> 3–5 mm	<input type="checkbox"/> 6–10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm				
Posterior sagittal (70° flex.)	<input type="checkbox"/> 1–2 mm	<input type="checkbox"/> 3–5 mm	<input type="checkbox"/> 6–10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm				
Medialer Gelenkspalt (20° flex., Valgusstress)	<input type="checkbox"/> 1–2 mm	<input type="checkbox"/> 3–5 mm	<input type="checkbox"/> 6–10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm				
Lateraler Gelenkspalt (20° flex., Varusstress)	<input type="checkbox"/> 1–2 mm	<input type="checkbox"/> 3–5 mm	<input type="checkbox"/> 6–10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm				
Pivotshift	<input type="checkbox"/> ∅	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +++				
Umgekehrter Pivotshift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/> schwer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>5. Gelenkreiben</b>								
Patellofemorales Reiben	<input type="checkbox"/> kein Reiben		<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> schwer <sup>1)</sup>				
Med. Gelenkkompartment	<input type="checkbox"/> kein Reiben		<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> schwer				
Lat. Gelenkkompartment	<input type="checkbox"/> kein Reiben		<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> schwer	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>6. Röntgen:</b>								
Gelenkspaltverschmälerung								
Medialer Gelenkspalt	<input type="checkbox"/> keine Verschmälerung		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%				
Lateraler Gelenkspalt	<input type="checkbox"/> keine Verschmälerung		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%				
Patellofemoralgelenk	<input type="checkbox"/> keine Verschmälerung		<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/> > 50%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>7. Funktionstest</b>								
Einbeiniges Hüpfen (in % der Gegenseite)	<input type="checkbox"/> 100–90%	<input type="checkbox"/> 90–76%	<input type="checkbox"/> 75–50%	<input type="checkbox"/> < 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Gesamtergebnis<sup>1)</sup></b>					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>1)</sup> Palpables und hörbares Gelenkreiben.

<sup>1)</sup> Zur Ermittlung des Gesamtergebnisses werden alle 7 Gruppen herangezogen. Das schlechteste Gruppenergebnis bestimmt das Gesamtergebnis. Für eine schnelle Kniebeurteilung sind die Ergebnisse der Gruppen 1. bis 4. ausreichend.

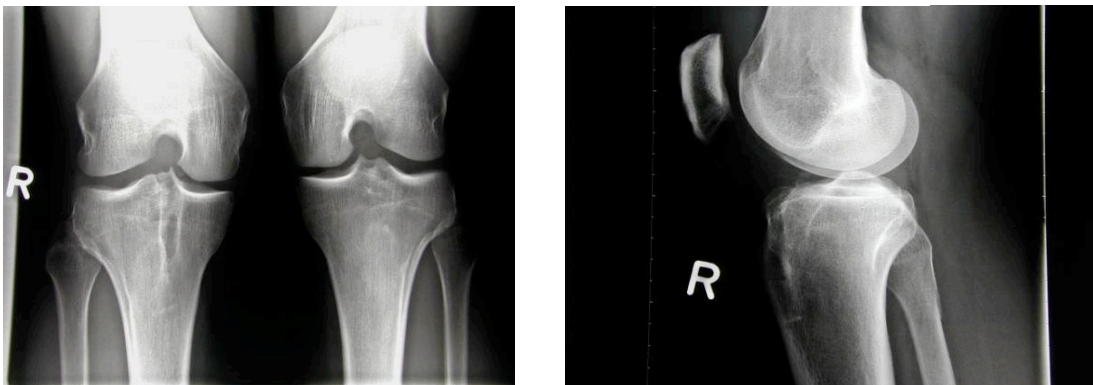
### 1.8.6. Bildgebende Diagnostik

Bei Verdacht auf eine Läsion des vorderen Kreuzbandes gehören zur orthopädisch-traumatologischen Erstuntersuchung und zur Sicherstellung der Diagnosestellung Röntgenbilder beider Kniegelenke. Die Standarduntersuchung besteht dabei aus konventionellen Röntgenbildern: Knie beidseits p.a. 45° im stehen nach Rosenberg und das betroffenen Kniegelenkes in Hyperextension im seitlichen Strahlengang (Abbildung 14), sowie gehaltene hintere Schubladenaufnahmen, um eine Verletzung/ Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes als häufige Ursache fehlgeschlagener VKB-Rekonstruktionen sicher ausschließen zu können <sup>113</sup>. Die p.a. 45°- Aufnahme gibt grundlegende Informationen zur Beurteilung des Femorotibialgelenkes, des distalen Femurs und der proximalen Tibia, der Kreuzbeinhöcker und des Fibulaköpfchen. Differentialdiagnostische Bedeutung haben insbesondere freie Gelenkkörper, knöcherne Kapsel- und Bandausrisse (Avulsionsverletzungen) sowie Frakturen. Darüber hinaus dient sie zur Lokalisation von Implantaten und Bohrkanälen, der Evaluation degenerativer Veränderungen sowie der Einschätzung der Notchkonfiguration. In der seitlichen Aufnahme lassen sich ventral und dorsal gelegene Strukturen des Kniegelenkes überlagerungsfrei beurteilen. Entscheidend für die präoperative Planung eines Re-Ersatzes des vorderen Kreuzbandes ist die Information über die Positionierung des femoralen und tibialen Tunnels <sup>114</sup>.

Zusammengefasst sind diese radiologischen Untersuchungen speziell für Diagnostik und Planung der Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erforderlich, um folgende Parameter exakt evaluieren zu können:

- die Platzierung der primären Bohrkanäle,
- bestehende Tunnelerweiterungen,
- Typ und Lokalisation des primären Implantates,
- oder eine Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes.

**Abbildung 14:** Präoperative Röntgenbilder eines Revisionspatienten; p.a. 45°- Knie beidseits und rechtes Knie in seitlich.



Im weiteren Verlauf sind als Dokumentationshilfe postoperative Kontrollröntgenaufnahmen erforderlich (45° p.a.- Knie bds. und betroffene Knie in seitlicher Hyperextension). Mit Hilfe dieser Aufnahmen lassen sich mögliche Fehlerquellen, wie oben erwähnt, oder bestehende Defizite eruieren.

## **1.9. Der Kreuzbandersatz**

### **1.9.1. Indikation und Zeitpunkt für eine operative Intervention**

Der Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes stellt als komplexer und anspruchsvoller Eingriff große Ansprüche an den jeweiligen Operateur <sup>115</sup>. Es bedarf einer exakten präoperativen Analyse und setzt Erfahrungen mit unterschiedlichen chirurgischen und arthroskopischen Techniken, den verschiedenen Verankerungssystemen und Transplantaten zum Kreuzbandersatz voraus. Die Indikation zum Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes muss wie in jedem anderen Bereich der Medizin streng gestellt werden. Sicherer Hinweis auf eine vordere Kreuzbandruptur ist das positive Lachman-Zeichen mit Verlust des typischen Anschlags sowie der positive Pivot-Shift Test <sup>72</sup>.

Die Indikation zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes besteht nicht zwangsläufig. Grundsätzlich sollte beim Vorliegen folgender Situationen eine Rekonstruktion des VKB`s empfohlen werden:

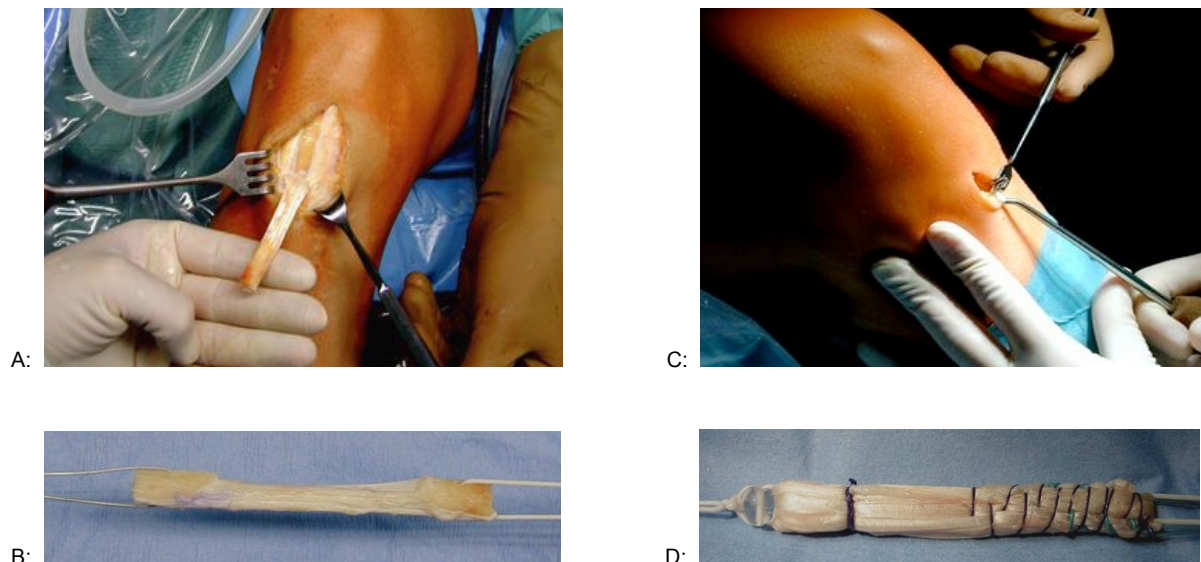
1. Junger und sportlich aktiver Patient, welcher sein Aktivitätsniveau erhalten möchte.
2. Patient mit funktioneller Instabilität im täglichen Leben.
3. Kombinationsverletzung mit mindestens einer weiteren großen Bandstruktur (Kollateralbänder, hinteres Kreuzband, Rotationsinstabilitäten).
4. Ruptur des VKB`s in Kombination mit operativ refixierbarem Meniskusriss (die Prognose einer Naht des Innenmeniskus erhöht sich mit dem Grad der funktionellen Suffizienz des VKB`s).
5. Kinder und Jugendliche unabhängig von oben genannten Variablen.

Bei geringer körperlicher Aktivität und insbesondere unter Vermeidung pivotierender Sportarten, kann auch bei nicht operativer Therapie über Jahre ein guter Funktionszustand des Kniegelenkes erhalten werden <sup>116</sup>. Der ideale Zeitpunkt zur Rekonstruktion des VKB`s ist gegeben, wenn das betroffene Kniegelenk keinen Erguss mehr aufweist, eine freie Extension und Flexion von mindestens 100° (besser mehr) zeigt und Schmerzfreiheit vorliegt. Dieser Zustand ist in den meisten Fällen 4-6 Wochen nach Trauma erfüllt.

### 1.9.2. Transplantate

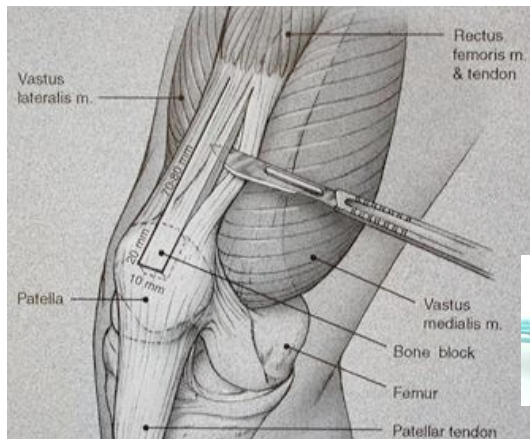
Prinzipiell werden freie Sehnentransplantate (z. B. Semitendinosus-, Gracilis-, proximale Quadricepssehne) von Transplantaten mit anhängendem Knochenblock (z. B. Patellar-, und Quadricepssehne) unterschieden (Abbildung 15 A-D). Hieraus ergibt sich das Konzept der Knochen-Sehnen und Knochen-Knochen-Verankerung. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Knochen-Knochen-Einheilung zeitlich schneller abläuft (4-6 Wochen<sup>117</sup>) als die Knochen-Sehnen-Einheilung (6-12 Wochen<sup>118, 119</sup>). Eine suffiziente Verankerung von Knochen und Sehne ist mechanisch schwieriger zu erreichen, weshalb eine Vielzahl unterschiedlicher Verankerungssysteme entwickelt wurden, die im nachfolgenden Kapitel näher erörtert.

**Abbildung 15 A-D:** A: In situ Entnahme eines Patellarsehnen transplantates. B: BPTB = Bone Patellar Tendon Bone Transplantat. C: In situ Entnahme eines Hamstringtransplantates. D: Fertiges Semitendinosus-Transplantat mit kranialer EndoPearl®.



Nach gewissenhafter Indikationstellung für einen Kreuzbandersatzersatz unter Beachtung der vorher aufgeführten Aspekte stehen bei den Reversionseingriffen heute grundsätzlich die schon erwähnten Autografts (Patellarsehne, Semitendinosus-/Gracilissehne, Quadricepssehne) und Allografts (Patellarsehne, Quadricepssehne, Achillessehne) als Transplantatwahl zur Verfügung (Abbildung 15 B und D, Abbildung 16)<sup>97;120</sup>.

Kunstabänder haben sich im Laufe ihrer Anwendung als komplikationsbehaftet dargestellt und gelten heutzutage im Allgemeinen als obsolet. Trotz geringem Infektionsrisiko für virale Erkrankungen (Bsp. HIV, Hepatitis) bei Verwendung von Allograft sind derzeit, zumindest im europäischen Raum, das ipsi- oder kontralateral entnommene Autograft die bevorzugte Wahl für den Kreuzbandersatz<sup>121</sup>.



**Abbildung 16:** Schematische Darstellung der proximalen Quadricepssehnenentnahme und allogenes Quadricepssehnentransplantat mit Knochenblock aus der Patella.



Wesentliche Kriterien für den Erfolg eines vorderen Kreuzbandersatzes sind:

- Die anatomisch genaue und mechanisch stabile Implantation des Bandersatzes <sup>122-124</sup>.
- Die Vermeidung von Konflikten mit knöchernen und ligamentären Strukturen in der Interkondylärgrube (=Impingement) <sup>125</sup>.
- Eine adäquate Vorspannung des Transplantates <sup>126</sup>.

### 1.9.3. Die verschiedenen Verankerungstechniken des vorderen Kreuzbandersatzes

Eine suffiziente mechanische Transplantatverankerung ist Voraussetzung für die langfristige Wiederherstellung der Funktion und Stabilität des Kniegelenkes bei kreuzbandverletzten Patienten. Bis zur biologischen Einheilung stellt die Verankerungstechnik das mechanische Bindeglied zwischen Transplantat und Knochen dar <sup>118;127</sup>. Gleichzeitig ist sie aber auch, bis zur vollständigen Einheilung die wesentlichste Schwachstelle des gesamten Verankerungskomplexes <sup>118</sup>. Bei Missachtung der biomechanischen Grundvoraussetzungen durch Fixation des Kreuzbandersatzes an nicht anatomischer Stelle im Kniegelenk provoziert man ein unphysiologisches Zusammenspiel, das nicht mit der Gelenkfunktion vereinbar ist. Es kommt entweder zu Bewegungshemmungen durch übermäßige Anspannung der jeweiligen Bandstruktur oder zum Versagen der Bandrekonstruktion. Wilson zeigte mit seinen Untersuchungen, dass die mechanischen Eigenschaften (maximum load, stiffness) der herkömmlich verwendeten Transplantate (Semitendinous-, Gracilis-, Patellar-, Quadricepssehnen und verschiedene Allografts) zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes denen des intakten Bandes entsprechen und diese sogar übertreffen können <sup>128</sup>.

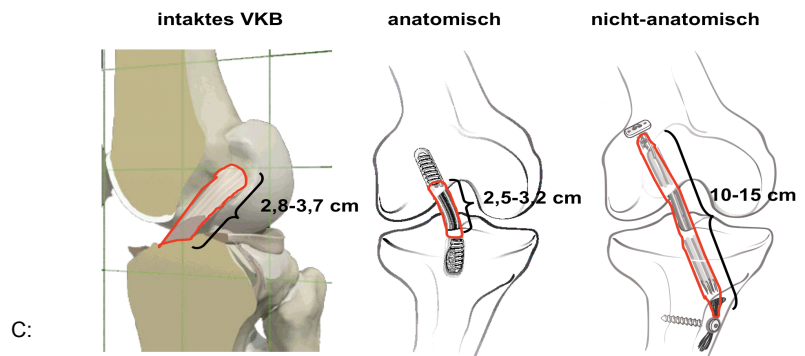
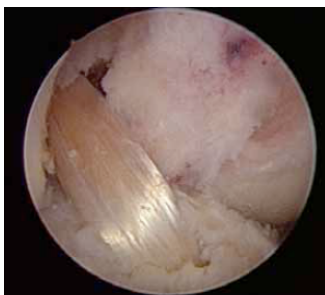
Somit ist nicht die Wahl des Transplantates, sondern die Wahl der einzelnen Verankerungstechniken einer der entscheidenden Prognostoren für das Outcome eines Kreuzbandersatzes. Weiler zeigte mit seinen Untersuchungen, dass die Art der Transplantatverankerung einen wesentlichem Einfluss auf die ossäre Transplantatintegration hat <sup>129</sup>. Keine der bisher entwickelten Fixationsmethoden besitzt mechanische Eigenschaften, die der natürlichen Kreuzbandinsertion entsprechen <sup>118</sup>.

**Abbildung 17 A-C:** A: Arthroskopische Sicht eines intakten VKB. B: Arthroskopische Sicht eines ersetzten VKB's. C: Länge des Transplantates zwischen den Verankerungen in Abhängigkeit von der Fixationsmethode <sup>131</sup>.

A:



B:



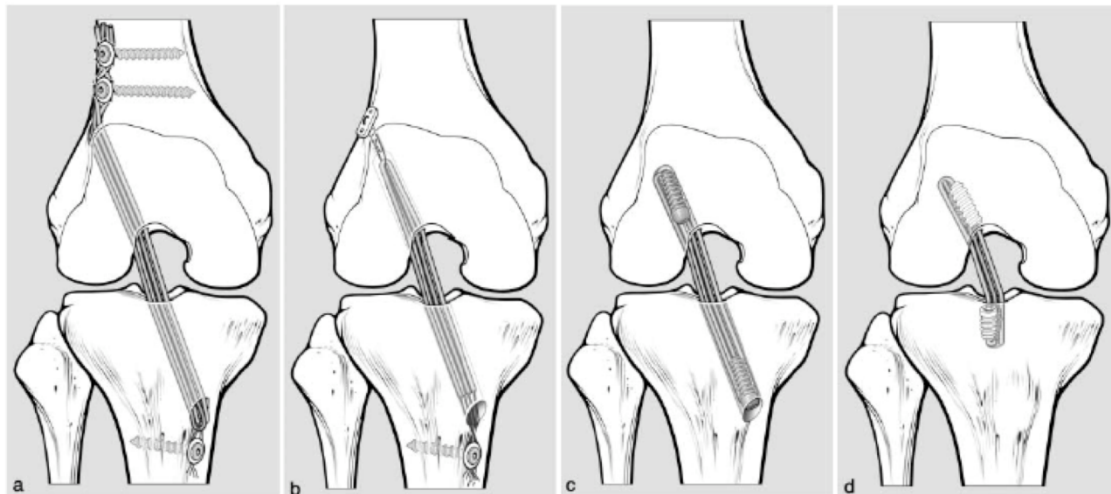
Daher ist es bei der Vielfalt der aktuellen Fixationssysteme von wesentlicher Bedeutung, über die mechanischen und biologischen Konsequenzen dieser Systeme informiert zu sein. Bei der Verankerung von Kreuzbandtransplantaten wird prinzipiell zwischen anatomischer und nichtanatomischer Fixationstechnik (Abbildung 17 C) unterschieden <sup>127</sup>.

Die intraossäre Fixierung des Transplantates auf Gelenkniveau entspricht der anatomischen Verankerungsmethode (Abbildung 18 C und D) und erfolgt im Bereich der nativen Insertion des Kreuzbandes. Als nichtanatomisch bezeichnet man die gelenkferne oder extrakortikale Fixation (Abbildung 18 A und B).



Morgan stellte erstmals 1995 das Konzept der anatomischen Transplantatverankerung als so genannte „All-inside-Rekonstruktion“ vor (Abbildung 18 D) <sup>130</sup>. Die intraossäre Verankerung nicht auf Höhe des Gelenkniveaus entspricht der semianatomischen Verankerung (Abbildung 18 C). Weiterhin unterscheidet man zwischen einer indirekten Verankerung, bei der das Transplantat über ein anhängendes Fadenmaterial fixiert wird, von der direkten Verankerung ohne zwischengeschaltetes Material (Abbildung 18 A und B) <sup>131</sup>.

**Abbildung 18 A-D:** Verankerungsprinzipien. A: Komplett extrakortikale bzw. nichtanatomische Verankerung mit Kortikalisschraube und Unterlegscheibe (femoral direkt, tibial indirekt). B: Komplett extrakortikale bzw. nichtanatomische und indirekte Verankerung mit Fixationsbutton femoral und Kortikalisschraube mit Unterlegscheibe tibial. C: Interferenzschraubenverankerung femoral anatomisch und tibial semianatomisch. D: All-inside-Rekonstruktion mit anatomischer Interferenzschraubenverankerung femoral und tibial <sup>127</sup>.



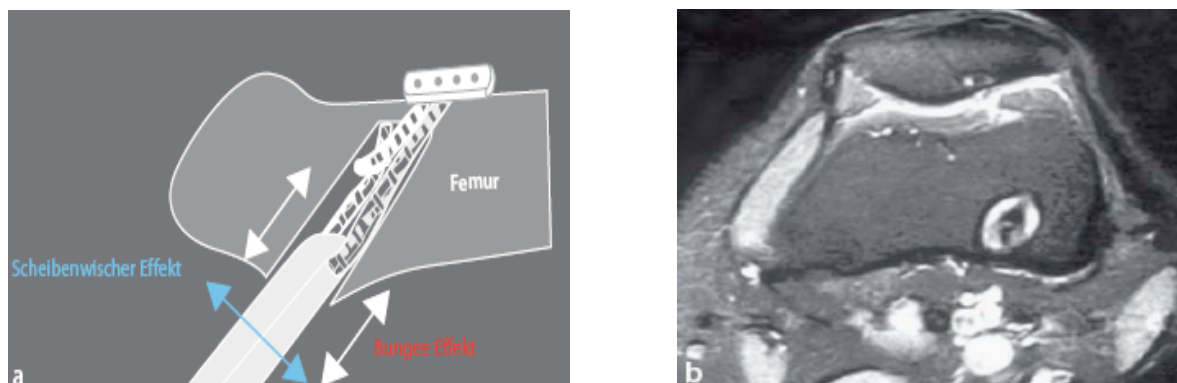
Ein großes mechanisches Problem tritt bei der nichtanatomischen bzw. extrakortikalen Transplantatverankerung auf. Wie in Abbildung 17 C grafisch dargestellt, besitzt ein natives VKB intraartikulär eine Länge von ca. 2,8-3,7 cm.

Durch die gelenkferne Fixierung wird ein bis zu 4-mal (10-15 cm) längeres Konstrukt erzeugt, welches in Korrelation zur eigenen Länge eine elastische Deformierung des Transplantates in longitudinaler Richtung zur Folge hat <sup>131</sup>. Diese Dehnung verhält sich umgekehrt proportional zu Steifigkeit <sup>131</sup>.

Durch die Zunahme der longitudinalen Bewegungen kommt es zu vermehrten intraossären Scherbewegungen des Transplantates gegen die Tunnelwand, auch als so genannter „bungee cord effect“ bekannt (Abbildung 19 A) <sup>134</sup>.

Durch Flexion bzw. Extension im Kniegelenk oder durch anterior-posteriore Translation können zusätzlich sagitale Transplantatbewegungen entstehen, die in der Literatur auch als „windshield-wiper effect“ beschrieben werden (Abbildung 19 A) <sup>132-133</sup>. Longitudinale und sagitale Transplantatbewegungen im Tunnel führen zum Auftreten von Tunnelaufweitungen und somit zu einer Insuffizienz des Kreuzbandersatzes <sup>132</sup>.

**Abbildung 19 A-B:** A: Schematische Darstellung vom Scheibenwischerphänomen und „Bungee-cord-Effekt“. B: Von Synovia umspültes Transplantat als Zeichen einer insuffizienten ossären Transplantatintegration als mögliche Folge der in „A“ genannten Effekte <sup>134</sup>.



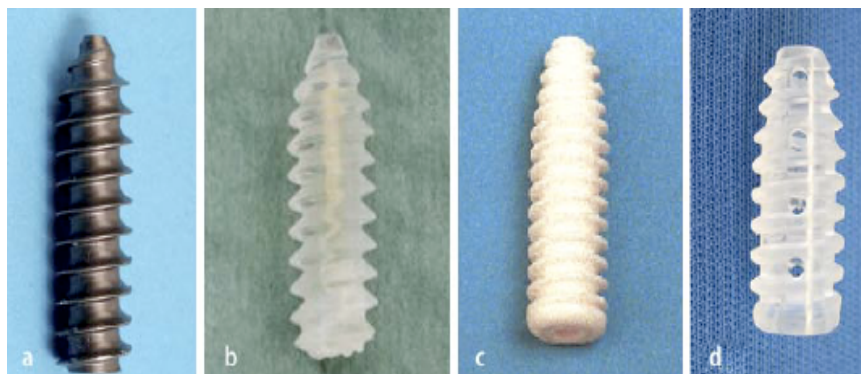
Neben den mechanischen Konsequenzen stellt auch die Wahl der Verankerungstechnik einen wesentlichen Einflussfaktor auf die biologische Einheilung des Transplantates dar. Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass eine anatomische Verankerung eines Weichteiltransplantates unter Kompression am Tunneleingang (beispielsweise durch eine Interferenzschraube) zu einer direkten Bandinsertion auf Gelenkniveau führt <sup>129;135</sup>. Bei der nichtanatomischen Verankerung bleibt diese direkte Bandinsertion durch Transplantat-Tunnel-Bewegungen aus und es bildet sich vielmehr eine zell- und gewebereiche fibröse Zwischenschicht <sup>129;135</sup>. Diese entspricht morphologisch einer indirekten Bandinsertion und unterliegt dadurch Scherinstabilitäten.

Ein weiteres Problem hängt mit dem Durchmesser des Transplantat-Endes, der in Verbindung mit dem Fixierungssystem steht, zusammen. Eine gute Abstimmung von Transplantat und Tunneldurchmesser („matching“) ist notwendig, um einen Sehnen-Knochenkontakt mit möglichst geringem Zwischenraum erreichen zu können <sup>131</sup>. Durch unterschiedliche Durchmesser von Tunnel und Transplantatkomplex kann Synovialflüssigkeit (Abbildung 19 B) aus dem Gelenk zwischen Transplantat und Knochen gelangen <sup>136</sup>.

Während des Bewegungszyklus entsteht durch die eingeströmte synoviale Flüssigkeit eine Erhöhung des hydrostatischen Drucks im Tunnel und bedingt durch eine Art Ventilmechanismus wird eine Entstehung von Tunnelaufweitungen gefördert<sup>136</sup>. Radiologisch stellt sich diese meist „birnenförmig“ dar<sup>136</sup>. Zusätzlich führen die nachgewiesenen Zytokine in der Synovialflüssigkeit zu einer schädigenden Osteoklastenaktivierung, die den Knochenabbau im Bereich der Bohrkanäle fördert<sup>137</sup>. Neben der genauen Kenntnis der verschiedenen Verankerungstechniken ist die Gegenüberstellung der anatomischen Begebenheiten zwischen Femur und Tibia ebenfalls bei der Planung einer Revisionsplastik entscheidend. Prinzipiell weisen femorale und tibiale Verankerungstechniken unabhängig von der verwendeten Fixationsmethode zwei wesentliche Unterschiede auf.

1. Zum einen weist die Knochenqualität der proximalen Tibia eine geringere Dichte als die des distalen Femurs auf<sup>118-119;138</sup>  
und
2. zum anderen sind die auf das Transplantat wirkenden Kräfte aufgrund des intraossären Winkel des Transplantatverlaufes femoral und tibial unterschiedlich. Femoral steht dieser Winkel anatomisch in Funktionsstellung, der protektiv auf die Verankerung wirkt. Tibial hingegen ist der gesamte Verankerungskomplex durch den unphysiologischen Winkel größeren Scherkräften ausgesetzt<sup>118;127</sup>.

Bei verminderter tibialer Knochendichte und größeren tibialen Scherkräften zwischen Knochen und Transplantat stellt die tibiale Verankerung das schwächste Glied in der mechanischen Kette des Gesamtkonstruktes dar<sup>131</sup>. Unter Berücksichtigung der aufgeführten Aspekte und aufgrund der Nachteile der gelenkfernen Fixationsmethode wurde nach gelenknahen Verankerungsmöglichkeiten gesucht. Mit dem Ziel, die Konstruktlänge zu minimieren und somit die Steifigkeit des Transplantat-Fixationskomplexes zu verbessern. Als Ergebnis der Suche nach einer biomechanischen und anatomischen kompatibleren Verankerungstechnik etablierte sich die Interferenzschraube (Abbildung 20).

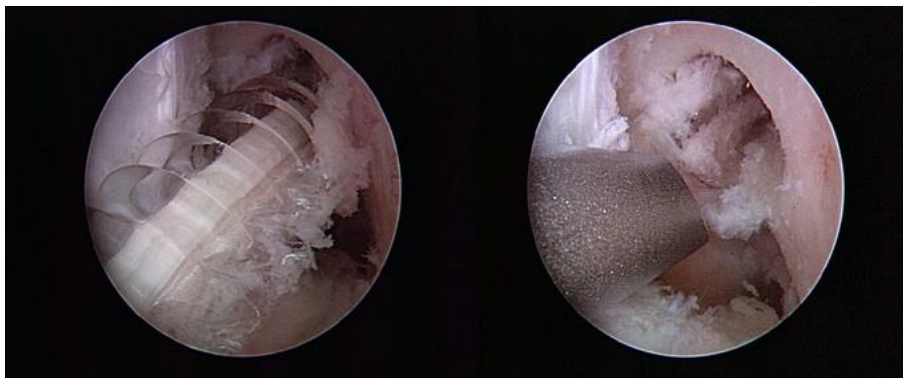


**Abbildung 20 a-d:** Unterschiedliche Interferenzschrauben: a aus Titan, b aus PLLA, c Interferenzschraube aus Trikalziumphosphat, d perforierte Schraube aus Poly-(L-co-D, L-Laktid), Mega Fix, Karl Storz<sup>134</sup>.

Als am häufigsten verwendete gelenknahe Verankerungsmethode weist die Interferenzschraube im Vergleich zu anderen Verankerungstechniken eine sehr hohe Steifigkeit auf. In der Literatur werden Steifigkeitswerte von 66-250 N/mm bei der femoralen und 58-100 N/mm bei der tibialen Verankerung beschrieben <sup>138-139</sup>. Gleichzeitig vorteilhaft wird durch die Verankerung mittels einer Interferenzschraube der synoviale Einstrom in den Tunnel verringert.

In der Literatur finden sich viele biomechanische Studien zur Primärstabilität der Interferenzschrauben mit teilweise sehr unterschiedlichen Angaben. Die ersten klinischen Frühergebnisse zur Primärstabilität der Interferenzschraube zeigen eine bis zu 95% normale oder fast normale Kniegelenksfunktion nach den Kriterien des IKDC-Score <sup>140</sup>. Faktoren wie das Schraubendesign, die Schraubenlänge, der Durchmesser, das Schraubenmaterial und die Verankerungslokalisation sind entscheidende Einflussfaktoren für die Stabilität der Interferenzschraubenverankerung <sup>141</sup>. Titan war das erste Material, aus dem Interferenzschrauben hergestellt wurden (Abbildung 20 A). In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass die Titaninterferenzschrauben zur Verankerung von Semitendinosussehnen keine ausreichende Festigkeit erzielten, um eine suffiziente Stabilität zu garantieren. Durch die Verwendung von bioresorbierbaren Schrauben konnte dieser Nachteil verbessert und die Maximallast durch die Fixierung mit biodegradierbaren Materialien von 233 N bei Titanschrauben auf 715 N deutlich gesteigert werden <sup>141-142</sup> (Abbildung 21).

Ein weiterer Nachteil der Interferenzschrauben aus Titan ist der Aspekt der irreparablen Transplantatschädigung. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass beim Eindrehen der Interferenzschraube aus Titan es durch das scharfe Gewinde dieser zur Schädigung des Sehnentransplantates kommen kann <sup>143</sup>.



**Abbildung 21:**  
Unter arthroskopischer Sicht Entfernung einer bioresorbierbaren Interferenzschraube aus dem femoralen Transplantattunnel.

Durch die Verwendung von resorbierbaren Schrauben mit runden Windungen konnten die Transplantatschäden weitgehend vermieden werden (Abbildung 20 D und 21) <sup>142</sup>.

Weiler bewies mit seiner Untersuchung, dass durch die Anwendung von bioresorbierbaren Interferenzschrauben eine kompatible Transplantatfestigkeit wie beim Einsatz von Interferenzschrauben aus Titan erzielt wird und betonte den Aspekt der einfachen Revidierbarkeit und der ungestörten Bildgebung (MRT)-Bildern <sup>141</sup>.

Aktuellere Studien verdeutlichen ein neues Problem dieser Fixationstechnik. Sie zeigten, dass die alleinige Fixierung mittels Interferenzschraube zu einem Entlanggleiten des Transplantates, dem sogenannten „Slippage“ führen kann <sup>119;138</sup>. Die Nachteile der reinen Interferenzschraubenfixierung führten zu den Überlegungen der Hybridfixation.

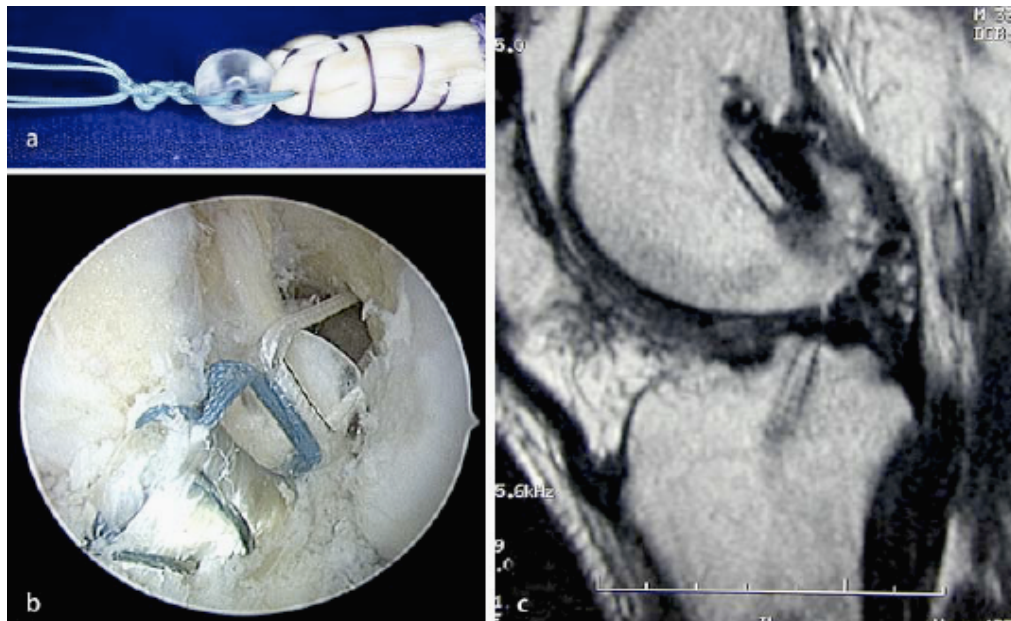
**Abbildung 22:** Übersicht über die verschiedenen femoralen und tibialen Hybridfixationsvarianten <sup>131</sup>.

<b>Möglichkeiten der Hybridfixation</b>	
<b>Femorale Hybridfixation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferenzschraube und EndoPearl</li> <li>• Fixationsbutton und Spongiosazylinder</li> <li>• Fixationsbutton und Interferenzschraube</li> <li>• Transfixationssystem und Spongiosazylinder</li> <li>• Transfixationssystem und Interferenzschraube</li> </ul>
<b>Tibiale Hybridfixation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferenzschraube und Naht über Knochenbrücke</li> <li>• Interferenzschraube und Fixationsbutton</li> <li>• Interferenzschraube und Naht über Schraube</li> <li>• Interferenzschraube und Staple</li> <li>• Spongiosazylinder und Fixationsbutton</li> <li>• Spongiosazylinder und Naht über Knochenbrücke</li> <li>• Spongiosazylinder und Naht über Schraube</li> </ul>

Bei dieser Fixationsmethode werden gelenkferne (Endobutton oder tibialer Fixationsknopf) und gelenknahe Fixationstechniken (Interferenzschraube) miteinander kombiniert (Abbildung 22). Durch die zusätzlich angewandte Verankerungsmethode werden Nachteile einzelner Fixationstechniken kompensiert. Eine besondere Form der Hybridfixation ist die Perlenfixation. Hierbei wird eine Perle aus bioresorbierbarem Material (Endopearl) auf das obere Ende des Transplantates aufgeknotet und verhindert dadurch das Vorbeirutschen des Transplantates an der Interferenzschraube (Abbildung 23) <sup>144</sup>.

Weiler und Weimann wiesen mit ihren biomechanische Studien nach, dass die Kombination der Perlenfixation mit einer Interferenzschraube zu einer Optimierung der maximalen Last, der Steifigkeit und zu einer Abnahme der möglichen Elongation des Transplantates führen <sup>144-145</sup>. Arneja verglich in einer prospektiven Studie das klinische Outcome zwischen 2 Patientenkollektiven <sup>146</sup>. In der ersten Patientengruppe erfolgte die femorale Hamstringsehnenverankerung mit Hilfe einer Interferenzschraube und einer Endopearl <sup>146</sup>. Dem gegenübergestellt wurden in der Kontrollgruppe nur die Interferenzschraube zur Transplantatfixierung verwendet <sup>146</sup>.

**Abbildung 23 A-C:** A: Femorale Hybridfixation mit Endopearl, B: Einzug eines mit einer Endopearl versehenen Transplantates, C: MRT einer femoralen Hybridfixation, die Perle stützt sich auf die Schraube <sup>134</sup>.



Die postoperative Transplantatfestigkeit zeigte in den klinischen und apparativen Untersuchungen signifikant stabilere Werte in der Gruppe mit Endopearlfixierung <sup>146</sup>. Als Fazit ihrer Untersuchung empfiehlt die Autorin die Endopearlverankerungstechnik als die sicherere und stabilere Verankerungstechnik, dank der Interaktion zwischen Hamstringsehnentransplantat, der Interferenzschraube und Endopearl <sup>146</sup>.

## 2. BESONDERHEITEN DER THERAPIE DER VKB-RE-INSUFFIZIENZ

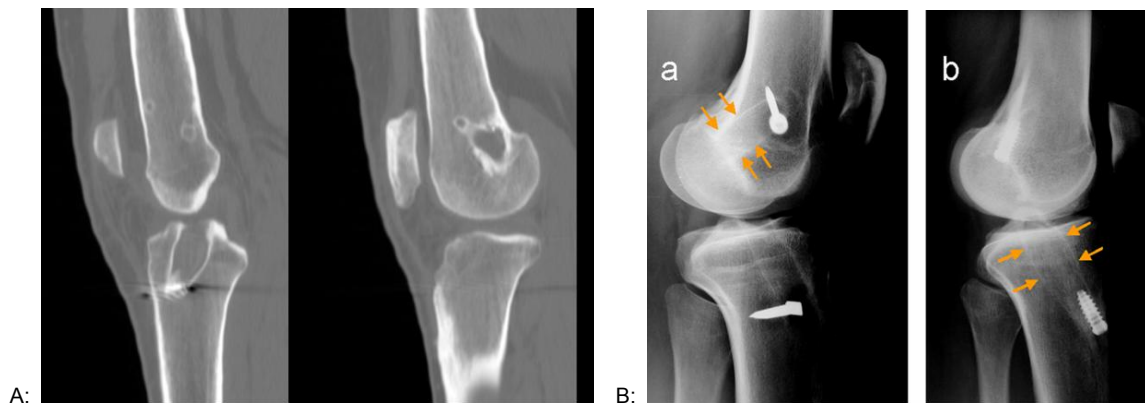
Der Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes ist als komplexer Eingriff zu werten, der zudem einer exakten präoperativen Analyse Bedarf <sup>115</sup>. Einer der wesentlichen Gründe dafür ist die geringe Homogenität des Patientenkollektives mit einer Re-Insuffizienz des VKB.

Vielmehr ist jeder Fall als individueller Einzelfall zu betrachten. Im Vergleich zum Patientenkollektiv mit primärer VKB-Ruptur ist die Variabilität dieser Gruppe hauptsächlich in den verschiedenen chirurgischen Techniken und Verankerungsmethoden sowie den unterschiedlichen Transplantattypen, die für den primären Ersatz verwendet wurden, begründet. Eine echte Re-Ruptur nach primärem Ersatz des VKB's kann zu jedem Zeitpunkt nach der Operation auftreten, jedoch sind diese Fälle eher die Seltenheit <sup>8-10;115</sup>.

In den meisten Fällen ist durch eine exakte präoperative Analyse, der spezifische Fehler als Ursache für das Transplantatversagen zu finden. Dazu gehören:

- Technische Fehler (z. B. fehlplatzierte Tunnel) <sup>100;102;104;131-133</sup>,
- nicht oder falsch adressierte Begleitpathologien <sup>105-106</sup>,
- die Transplantatwahl (synthetische Materialien, Allografts) <sup>4-7</sup>,
- biologische Gründe (Transplantateinheilung) <sup>103;134</sup> oder
- nichtadäquate postoperative Physiotherapie.

**Abbildung 24 A-B:** A: Computertomografische Darstellung vom Ausmaß möglicher Tunnelerweiterungen nach primären VKB-Ersatz. B: Konventionell radiologische Darstellung von Tunnelerweiterungen nach primärem VKB-Ersatz.



Neben der genauen Adressierung der genannten möglichen Fehlerquellen sind verbliebende Implantate vom primären Ersatz des VKB ein entscheidender Faktor für das Outcome des Re-Ersatzes.

Vorhandenes alten Verankerungsmaterials oder auch andere Implantate (Osteosynthesen etc.) können sowohl die Präparation der neuen Tunnel als auch die Transplantatverankerung erschweren oder verhindern <sup>115</sup>. Die Entfernung von verbliebenen Implantaten kann teilweise zu großen Knochendefekten führen (Abbildung 24) <sup>115</sup> und erfordern in solchen Fällen ein zweizeitiges operatives Vorgehen.

### 3. FRAGESTELLUNG DER VORLIEGENDEN ARBEIT

In der aktuellen Literatur existieren 4 prospektive Studien, die das klinische Outcome zwischen primären Kreuzbandersatz und Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes vergleichen<sup>11;27-29</sup>. Thomas vergleicht in seiner Studie das Outcome von Patellarsehnen und Hamstringsehnen als Transplantatwahl für die Rekonstruktion des primären vorderen Kreuzbandersatzes und Revisionsersatzes miteinander<sup>27</sup>. In einer prospektiven Studie von Harilainen werden 28 primäre Kreuzbandtransplantate, die mit einer Patellarsehne versorgt wurden 30 Patienten, die einen Re-Ersatz des vorderen Kreuzbandes erhalten haben, gegenübergestellt<sup>11</sup>. In 21 Fällen der 30 Patienten erfolgt der Revisionsersatz mit einer Patellarsehne und in 9 Fällen mit einer Hamstringsehne<sup>11</sup>. Vom Autor selbst wird dieses Patientenkollektiv als eine heterogene Gruppe beschrieben<sup>11</sup>. Trotz der gleichen Transplantatwahl für den Kreuzbandersatz der primären, sowie der Revisionskreuzbänder vergleicht Kartus in seiner klinischen Untersuchung verschiedene Verankerungstechniken miteinander<sup>28</sup>. Neben unterschiedlichen Transplantaten für den Kreuzbandersatz vergleicht Wirth das Outcome vom primären Kreuzbandersatz mit dem Outcome von Revision, Re-Revisionen (2. Revision) und Re-Re-Revisionen (3.Revision)<sup>29</sup>.

Die Inhomogenität in diesen Patientenkollektiven und in den jeweiligen Operationsmethoden, inklusive Transplantatauswahl und Verankerungstechnik, haben uns dazu bewegt, anhand unseres eigenen Patientenkollektives das klinische Outcome nach primärem versus Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung von autologen Hamstringsehnentransplantaten zu untersuchen. Im gesamten Patientenkollektiv wählten wir neben dem gleichen Transplantattyp eine direkte und anatomische Verankerungstechnik in allen Fällen. Das Studiendesign war eine prospektive Kohortenstudie mit Bildung von so genannten Matched-Groups.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, dem aktuellen Mangel an signifikanten Studien mit zu geringen Fallzahlen, dem Fehlen von Kontrollgruppen und dem retrospektiven Studiendesign der wenigen Untersuchungen zum Thema Revisionschirurgie entgegenzuwirken und damit die klinische Evidenz bezüglich des Revisionsersatzes des vorderen Kreuzbandes, zumindest in der beschriebenen Technik, zu verbessern.

Im Besonderen wurden die folgenden wissenschaftlichen Fragen gestellt:

1. Ist die Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit autologen Hamstringsehnen in der Lage die subjektive und objektive Kniegelenksfunktion zu verbessern?
2. Ist der primäre Ersatz des vorderen Kreuzbandes dem Revisionsersatz bezüglich Stabilität, Kniefunktion und subjektivem Outcome überlegen?
3. Wenn die Ergebnisse beim Revisionsersatz schlechter sind, welche Parameter beeinflussen das Outcome?



## **4. MATERIAL UND METHODEN**

### **4.1. Einschlußkriterien und Patientenkollektiv**

Zwischen Oktober 1997 und Juli 2005 erhielten 166 Patienten im „Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie“ im Virchow Klinikum der Charité - Universitätsmedizin Berlin einen Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung verschiedener Transplantate. Alle Fälle wurden über mindestens 2 Jahre prospektiv dokumentiert. Um ein einheitliches Patientenkollektiv zu erhalten und um einem bestimmten klinischen Bias entgegenwirken zu können wurden bestimmte Ausschlußkriterien festgelegt:

- Bilaterale Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes.
- Zustand nach Re-Ersatz des vorderen Kreuzbandes.
- Bestehende Insuffizienz des Außenbandes von  $\geq 2+$ .
- Bestehende Insuffizienz des Innenbandes von  $\geq 2+$ .
- Posterolaterale Rotationsinstabilität.
- Re-Ruptur während der 2 Jahres Follow-Up Periode.
- Einzeitige Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in Kombination mit anderen ligamentären Verletzungen oder einer Umstellungsosteotomie.

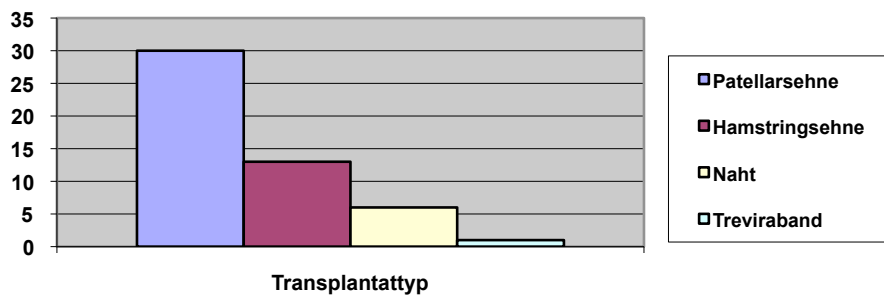
Aus diesem Gesamtkollektiv erhielten 124 (75%) Patienten ein Hamstringsehnentransplantat als Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes und 34 (20%) der Revisionspatienten wurden mit einem Patellarsehnentransplantat versorgt. In 158 Fällen konnte eine einzeitige Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erfolgen. Lediglich in 8 (5%) Fällen wurde die Rekonstruktion in zweizeitiger Sitzung unter Verwendung unterschiedlicher Transplantate durchgeführt. Durch die Tunnelaufweitung der ehemaligen tibialen und femoralen Bohrkanäle nach primären Ersatz des vorderen Kreuzbandes war es bei diesen Patienten erforderlich, zuerst die Defekte aufzufüllen und in einem zweiten Schritt die Bandrekonstruktion durchzuführen.

In der Gruppe, die als Revisionsersatz ein Hamstringsehnentransplantat erhielten, wurden 67 der Patienten vor Oktober 2003 operiert und erfüllten somit das Einschlusskriterium eines 2 Jahres Follow-Up zum Zeitpunkt der Datenerhebung. Von diesen 67 Patienten wurden 5 Fälle aufgrund von zusätzlichen Operationen (4 x Umstellungsosteotomie, 1 x posterolaterale Bandrekonstruktion) ausgeschlossen. Ein Patient entwickelte postoperativ einen Kniegelenksinfekt und ein weiterer Patient musste wegen einer zusätzlichen Ruptur des hinteren Kreuzbandes ausgeschlossen werden.

Ein Patient erlitt während der Datenerhebung eine Fraktur im Bereich des oberen Sprunggelenkes auf der operierten Seite und wurde aufgrund von nachfolgenden Funktionsdefiziten diesbezüglich ausgeschlossen. 6,5% (n=4) der Patienten erlitten eine erneute Ruptur und wurden als Versager in die allgemeine Auswertung eingeschlossen. In der vergleichenden Auswertung der Ergebnisse wurden diese Patienten nicht eingeschlossen.

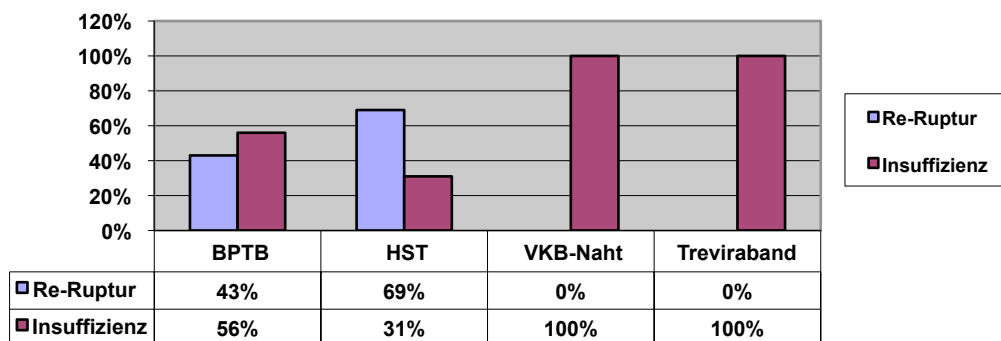
Insgesamt konnten somit 55 Patienten aus dem Revisionskollektiv in die Studie eingeschlossen werden. 5 Fälle davon waren lost to Follow-up (Follow-up-Rate 91 %), so dass 50 Patienten für die Mached-Group Analyse übrig blieben. Von diesen 50 Patienten waren 19 (38%) weiblich und 31 (62%) männlich. Sowohl primäre Transplantatwahl als auch Ursache der Re-Ruptur des vorderen Kreuzbandes wurde analysiert (Abb. 25 und 26).

**Abbildung 25:** Bereits verwendete Transplantattypen (N = 50).



Wie in Abbildung 25 grafisch dargestellt, erhielten 30 (60%) Patienten von den 50 Revisionen als primären Ersatz des vorderen Kreuzbandes ein Patellarsehnentransplantat. Davon kam es in 13 (43%) Fällen durch ein erneutes adäquates Trauma zu einer Re-Ruptur. Bei 17 (57%) der 30 Patienten zeigte sich in den Röntgenbildern eine nicht korrekte Tunnelpositionierung.

**Abbildung 26:** Fehleranalyse des primären vorderen Kreuzbandersatzes der 50 Revisionen.



Mit einem Hamstringsehnentransplantat wurden primär 13 (26%) Patienten der 50 Revisionen versorgt. 9 (69%) davon erlitten eine Re-Ruptur und 4 (31%) Patienten entwickelten eine chronische Insuffizienz des Kreuzbandersatzes. Bei 6 (12%) Patienten wurde die primäre VKB Läsion mit einer Naht versorgt, die in allen Fällen chronisch insuffizient wurde. Ein weiterer Patient (2%) erhielt ein Treviraband als primären Ersatz für das vordere Kreuzband.

Alle 50 Revisionen erhielten als Revisionsersatz für das vordere Kreuzband ein Hamstringsehnentransplantat unter Verwendung einer direkten und anatomischen Verankerung. In 37 Fällen (74%) erfolgte die Transplantatentnahme der Hamstringsehne ipsilateral, in den anderen 13 (26%) Fällen kontralateral. Die kontralaterale Hamstringsehnenentnahmen war in den Fällen notwendig, bei denen die ipsilaterale Sehne nicht mehr vorhanden war.

Dem gegenübergestellt wurden aus einer Datenbank von 284 Patienten 50 primäre vordere Kreuzbandläsionen, die ebenfalls mit einem autologen Hamstringsehnentransplantat unter Verwendung der identischen Verankerungstechnik versorgt wurden. Daraus wurden 19 weibliche Patientinnen und 31 männliche Patienten mit einem Minimum von einem 2 Jahres Follow-up für die Matched-Group-Analyse ausgesucht. Das Matching der 50 Kreuzbandrevisionen mit den 50 Patienten mit einem primären vorderen Kreuzbandersatz erfolgte anhand folgender Parameter:

Matching Parameter:

- Alter (mit einem Altersradius von  $\pm 3$  Jahren bei 15-30 Jährigen, von  $\pm 5$  Jahren bei einem Alter von 30-40 Jahren und einem Alters-Radius von  $\pm 8$  Jahren bei Patienten, die älter als 40 sind).
- Geschlecht.
- Aktuelle Transplantatfixierung (entweder mit femoraler Hybridfixation (Interferenzschraube plus Endopearl) oder femorale Hybridfixation ohne Endopearl).
- Komorbidität (Meniskus-Status, Innenbandverletzungen, Chondromalazie Grad I und II und Chondromalazie Grad III und IV).
- Falls mehr als ein passender Matching Partnern in der Gruppe der primären vorderen Kreuzbandläsionen vorhanden war, wurde der genommen, der das ähnlichste Follow-Up hatte.

Die Patienten wurden von zwei Operateuren (PD Dr. med. A. Weiler, Dr. med. A. Schmeling) versorgt. Zum Zeitpunkt der Knie-Arthroskopie wurde sich ein Überblick über die „Knie-Binnensituation“ verschafft und primär eventuelle Meniskusschäden saniert.

Bei allen Patienten wurden 4-fach Hamstringsehnen (23x Semitendinosus- und Gracilissehne oder 27x nur Semitendinosussehne) als Kreuzbandersatz verwendet (Abbildung 27).

In beiden Gruppen erhielten jeweils 24 Patienten eine Hybridfixation mit bioresorbierbaren Interferenzschrauben mit Endopearl (Linvatec Corp., Largo, FL). Eine tibiale Hybridfixierung (Naht über Knochenbrücke) erhielten alle Patienten.

**Abbildung 27:** Tabellarische Gegenüberstellung der beiden Patientenkollektive.

Matching-Parameter	Gruppe mit primären VKB (n=50)	Revisionsgruppe (n=50)
Alter (p=0,553)	30 ± 8 Jahre	31 ± 8 Jahre
Geschlecht	♂ = 31, ♀ = 19	♂ = 31, ♀ = 19
Follow-up (p=0,283)	2.5 + 0.7 Jahre	2.5 + 1.8 Jahre
Primärer VKB-Ersatz		30 BPTB 13 HST 6 VKB - Naht 1 Treviraband
Aktuelles Transplantat/Transplantat des Re-Ersatzes	23= 4-fach autologe Semitendinosus/Gracilissehne 27= 4-fach autologe Semitendinosussehne	23= 4-fach autologe Semitendinosus/Gracilissehne 27= 4-fach autologe Semitendinosussehne
Femorale Hybridfixierung (bioabsorbierbare Interferenzschraube und Endopearl)	n= 24	n= 24
Tibiale Hybrid Fixierung (bioresorbierbare Interferenzschraube und Knochenbrücke oder -naht)	n= 50	n= 50

Somit wurden insgesamt 100 Patienten in die Studie eingeschlossen. Durch die Gegenüberstellung der jeweiligen Matching-Partner nach den oben genannten Parametern betrug in beiden Kohortengruppen das durchschnittliche Alter 30 ± 8 in der Gruppe der primären Kreuzbandersatz und 31 ± 8 bei den Revisionspatienten. Mit 2.5 ± 0.7 Jahren lag die Follow-Up-Rate beim primären Kreuzbandersatz und im Vergleich zum Revisionsersatz bei 2.5 ± 1.8 Jahren (p=0,283).

#### 4.2. Operative Rekonstruktion des primären vorderen Kreuzbandersatzes

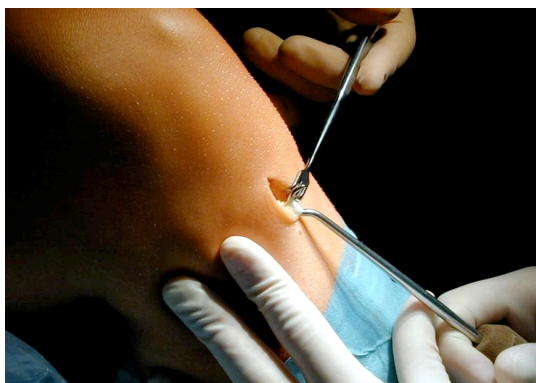
Alle Patienten wurden in einfacher Rückenlage ohne Beinhalter gelagert. Nach Anlage einer unsterilen Blutsperrung im Bereich des proximalen Oberschenkels erfolgte standardmäßig das Anpassen einer lateralen Stütze, so dass auch bei maximal flektiertem Bein operiert werden konnte (Abbildung 28).

**Abbildung 28:** Lagerung des zu operierenden Kniegelenkes auf dem Operationstisch.



Vor dem sterilen Abwaschen und Abdecken des zu operierenden Beines erfolgte die nochmalige klinische Untersuchung in Narkose. Bei allen Patienten erfolgte als erster Operationsschritt eine diagnostische Arthroskopie mit dem Ziel, die Diagnose eindeutig zu sichern und weitere vorhandene Binnenläsionen zu eruieren. Bei bestehenden Meniskusläsionen erfolgte die operative Versorgung vor der Kreuzbandrekonstruktion.

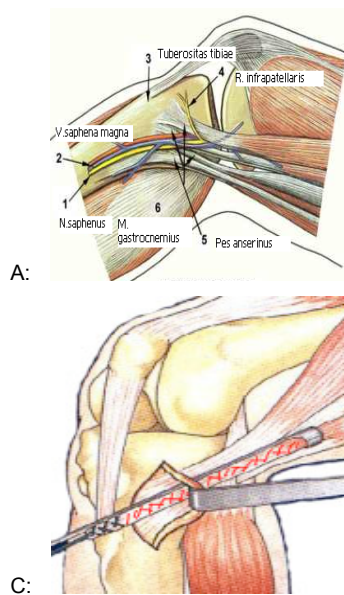
Danach erfolgte die Transplantatentnahme. Dafür wurde das Kniegelenk auf 90° flektiert und ein 2-3 cm großer Hautschnitt auf der anteromedialen Seite distal der Tuberositas tibiae in Projektion auf den Pes anserinus durchgeführt (Abbildung 29).



**Abbildung 29:** Hautschnitt und intraoperative Hamstringsehnenentnahme des rechten Kniegelenkes.

Unter konsequenter Blutstillung erfolgte die stumpfe Präparation bis auf die Sartoriusfaszie. Hierunter liegt der Pes anserinus bestehend aus: M. semitendinosus, M. gracilis und M. sartorius (Abbildung 30 A).

Gut tastbar dient zur Orientierung die Sehne des M. gracilis. Distal dieser erfolgt ein Schnitt parallel zum Sehnenverlauf. Am Unterrand des Schnittes liegt die Semitendinosusehne. Im nächsten Schritt wurde diese mittels eines Sehnenhaken luxiert, so dass die akzessorischen Äste zum M. gastrocnemius sichtbar wurden und sicher gelöst werden konnten. Nun erfolgte die Entnahme der Sehne mit einem offenen Sehnenstripper (Abbildung 30 C).

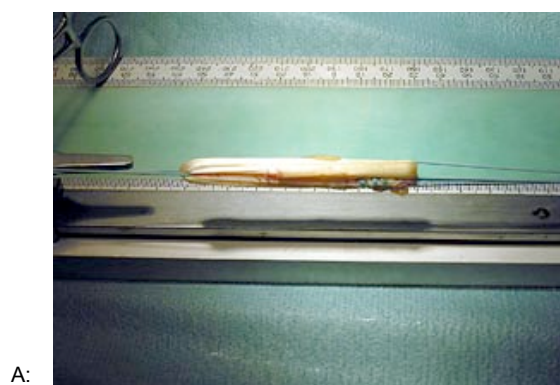


**Abbildung 30 A-C:** A: Anatomische Darstellung des Pes anserinus, von medial auf das rechte Kniegelenk. B und C: Entnahme der Sehne mittels eines Sehnenstrippers schematisch und intraoperativ dargestellt.



Je nach Sehnggröße wurde entschieden, ob die Semitendinosusehne als Transplantat ausreicht oder durch die individuellen anatomischen Gegebenheiten zusätzlich die Gracilissehne mit entnommen werden musste. In der Gruppe der primären Kreuzbandrekonstruktionen wurde jeweils 23x die Kombination aus der Semitendinos/Gracilissehne und 27x nur die Semitendinosusehne als Transplantat gewählt.

Im nachfolgenden Schritt erfolgt unter Zuhilfenahme eines Sehnenboards die Präparation des Transplantates am Beistisch (Abbildung 31). Nach Entfernung des Muskelgewebes vom Transplantat wurde mit Hilfe von Ethibond-Haltesfäden aus der Sehne ein 4-fach gebündeltes Transplantat gefertigt (Abbildung 31 A).



**Abbildung 31 A-B:** A: 4-fach Bündelung des Transplantates mit Hilfe von Ethibond-Haltesfäden und Einspannen des Transplantates ins Sehnenboard. B: 4-fach gebündeltes Transplantat mit proximaler Endopearl.



A:

Nun wurden die Sehnenenden mit einer durchgreifenden Naht auf jeder Seite mit einem resorbierbarem Faden fixiert. In 24 Fällen wurde zusätzlich eine Endopearl im Sinne der Hybridfixation am femoralen Ende des Transplantates befestigt (Abbildung 31 B).

Mittels einer Messschablone wurde der Transplantatdurchschnitt zur Orientierung der zu bohrenden Größe des tibialen und femoralen Tunnels, sowie der Größe der notwendigen Interferenzschrauben und ggf. der verwendeten Endopearl ermittelt.

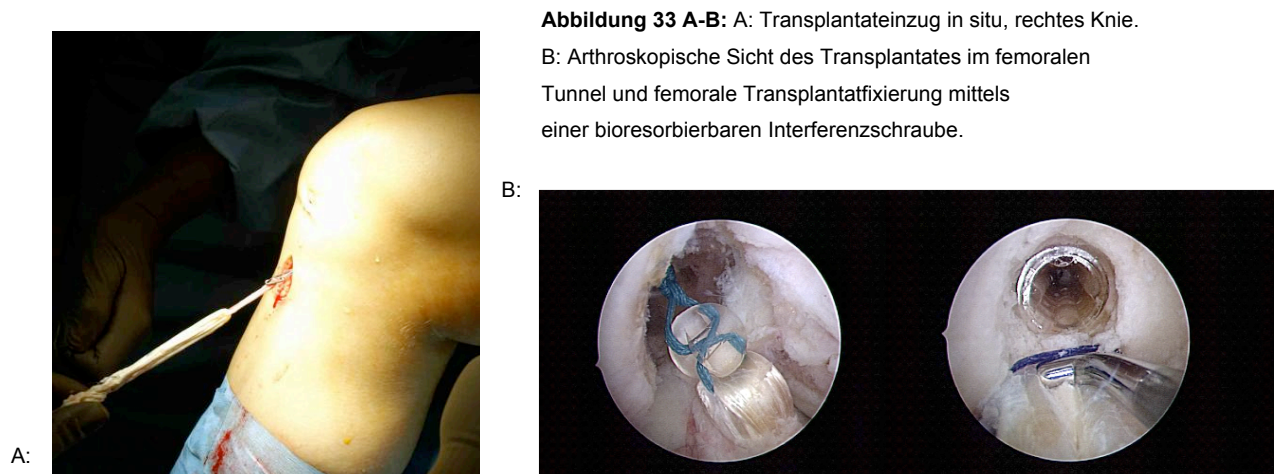
Im nächsten Schritt erfolgte die Anlage des femoralen Bohrkanals. Dabei wurde zuerst nach Anlage des femoralen Zielgerätes mit Hilfe eines speziellen Bohrdrahtes vorgebohrt und anschließend, mit einem kanülierten Bohrer, entsprechend dem Transplantatdurchmesser dieser überbohrt (Abbildung 32). Im Anschluss an die Reinigung des Binnengelenkraumes von Bohrmehl erfolgte das Einbringen des vorbereiteten Transplantates.

**Abbildung 32:** Überbohren des femoralen Drahtes mit kanüliertem Bohrer.



Nach Anlage des femoralen Tunnels erfolgte mit Hilfe des tibialen Zielgerätes die Schaffung des tibialen Bohrkanals. Das tibiale Zielgerät wurde über den medialen Zugang ins Gelenk eingeführt und ca. 7 mm vor der anterioren Zirkumferenz des hinteren Kreuzbandes platziert. Mit Hilfe des Zielgerätes wurde ein K-Draht positioniert und der tibiale Tunnel mit einem kanülierten Kopfböhrer angelegt. Nach Platzierung des tibialen Bohrkanals wurden intraartikulär verbliebene Spongiosabrösel aus dem Gelenk mit einer Spülkanüle entfernt.

Während der Sehnenpräparation wurde das femorale Sehnenende ca. 20 mm proximal vom femoralen Sehnenbeginn markiert. Zur Passage werden die Ethibondfäden des femoralen Transplantatendes in einen Ösendraht gefädelt und mit dessen Hilfe die vorbereitete Sehne transtibial durch die beiden Tunnel gezogen, bis die femorale Markierung arthroskopisch auf Höhe des Beginns des femoralen Tunnels zum Liegen kommt (Abbildung 33 B).



Im nächsten Schritt erfolgt das Vorspannen des Transplantates, um dann die biodegradierbaren Interferenzschrauben erst in den femoralen und nachfolgend in den tibialen Bohrkanal einzubringen, so dass beide Ende jeweils ca. 2 cm in den Tunnel versenkt wurden (Abbildung 33 B). Bei allen Patienten wurden die tibialen Fädenenden über eine tibiale Knochenbrücke im Sinne der Hybridfixation befestigt. Es erfolgt der subkutane und intrakutane Hautverschluss. Abschließend wurde ein steriler Kompressionsverband angelegt und das Kniegelenk in einer Jeanschiene ruhig gestellt.

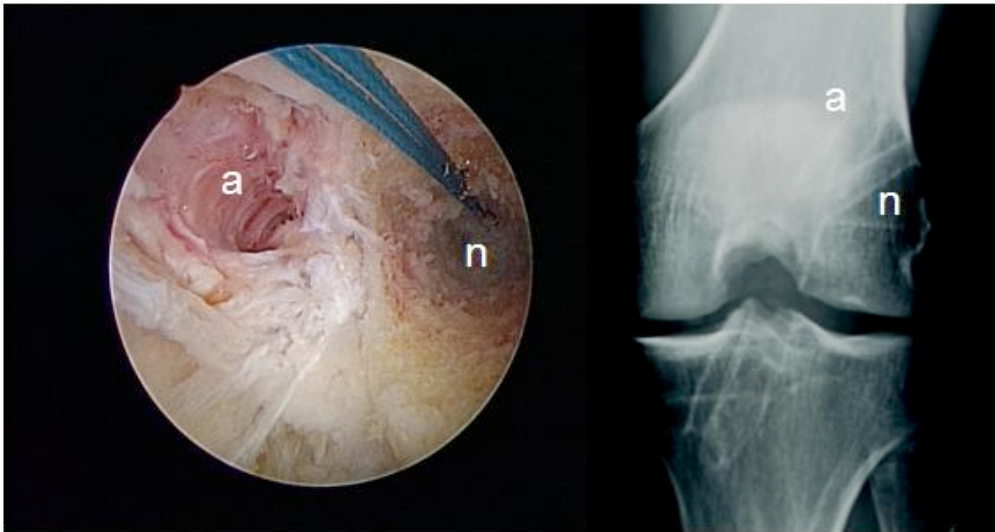
#### 4.3. Operative Rekonstruktion des Revisionsersatzes

Die Homogenität der primären VKB-Rupturen ist nicht vergleichbar mit der Variabilität der Gelenkssituation beim Revisionsknie. Verschiedene Verankerungstechniken und unterschiedliche Transplantate beim primären Kreuzbandersatz führen individuell zu unterschiedlichsten Ausgangssituation für den arthroskopischen Revisionsersatz. Aus diesem Grunde ist zur Planung und Durchführung eines Revisionsersatzes die präoperative Fehleranalyse entscheidend für den Erfolg des Re-Ersatzes. Neben der detaillierten Anamnese, sind die genaue klinische Untersuchung und die bildgebende Diagnostik wegweisend für die Ursache des Transplantatversagens des Primärsatzes. Sowohl bei einem erneuten Trauma nach Primärsatz, als auch im Falle eines chronisch insuffizienten Primärsatzes ist die Lage der ehemaligen Bohrkanäle und die Verwendung von zusätzlichem Fremdmaterial entscheidend für den Ablauf der operativen Revision.



Durch die bildgebende Diagnostik wurde die Lage der ehemaligen Bohrkanäle bei den einzelnen Patienten genauestens analysiert. Das entsprechende Vorgehen wird nachfolgend näher erörtert. Im Falle von korrekt liegenden primären Bohrkanälen wurde diese nochmals verwendet. Bei komplett inkorrekt liegenden Tunnels wurden die Bohrkanäle für den Revisionsersatz neu angelegt, ohne Kontakt zu den primären Tunnels (Abbildung 34). Im Falle von inkorrekt vorhandenen primären Tunneln wurde die Bohrung des neu anzulegenden Bohrkanals beispielsweise mit einem kleineren Bohrer durchgeführt. Nachfolgend wurde der Tunnel durch Dilatation vorsichtig geweitet, so dass dadurch eine Kompaktierung des primären Tunnels erreicht wurde.

**Abbildung 34:** Arthroskopische und radiologische Darstellung einer Divergenz des alten und neuen femoralen Tunnels. a = alter Tunnel, n = neuer Tunnel.



Bei zu großen primären Tunneldefekten oder bestehenden Tunnelaufweitungen wurde eine zusätzliche biodegradierbare Interferenzschraube zur Stabilitätsgewinnung im Bohrkanal eingebracht oder der Defekt durch Spongiosa aufgefüllt. Diese Fälle wurden allerdings nicht in die vorliegende Studie eingeschlossen.

Der operative Ablauf des Revisionseingriffes verlief in der gleichen Schrittabfolge, wie bei den primären Rekonstruktionen. Insgesamt wurde in 23 Fällen ein 4-fach gebündeltes Semitendinosus-/Gracilissehnentransplantat und in 27 Fällen ein 4-fach gebündeltes Semitendinosussehnentransplantat zum Revisionsersatz verwendet. 24-mal wurde zusätzliche eine EndopEARL zur Hybridfixation auf das femorale Ende des Transplantates befestigt. Die Transplantatfixierung erfolgte identisch zu der Gruppe der primären Kreuzbandrekonstruktionen.

#### 4.4. Präoperative und intraoperative Komorbidität des Patientenkollektivs

Sowohl in der Gruppe der primären vorderen Rekonstruktionen, als auch in der Revisionsgruppe wiesen 5 Patienten eine präoperative Innenbandinstabilität auf. In keinem Fall gab es eine Instabilität des hinteren Kreuzbandes, des Außenbandes oder eine posterolaterale Instabilität. Je 10 Patienten in beiden Kollektiven zeigten während der diagnostischen Arthroskopie Knorpelläsionen nach Outerbridge in Stadium 3 (Abbildung 35).

**Abbildung 35:** Klassifikation zur Einteilung von Knorpelschäden nach Outerbridge, entnommen aus der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin <sup>147</sup>.

Tabelle 1 : Outerbridge Klassifikation zur Einteilung von Knorpelschäden

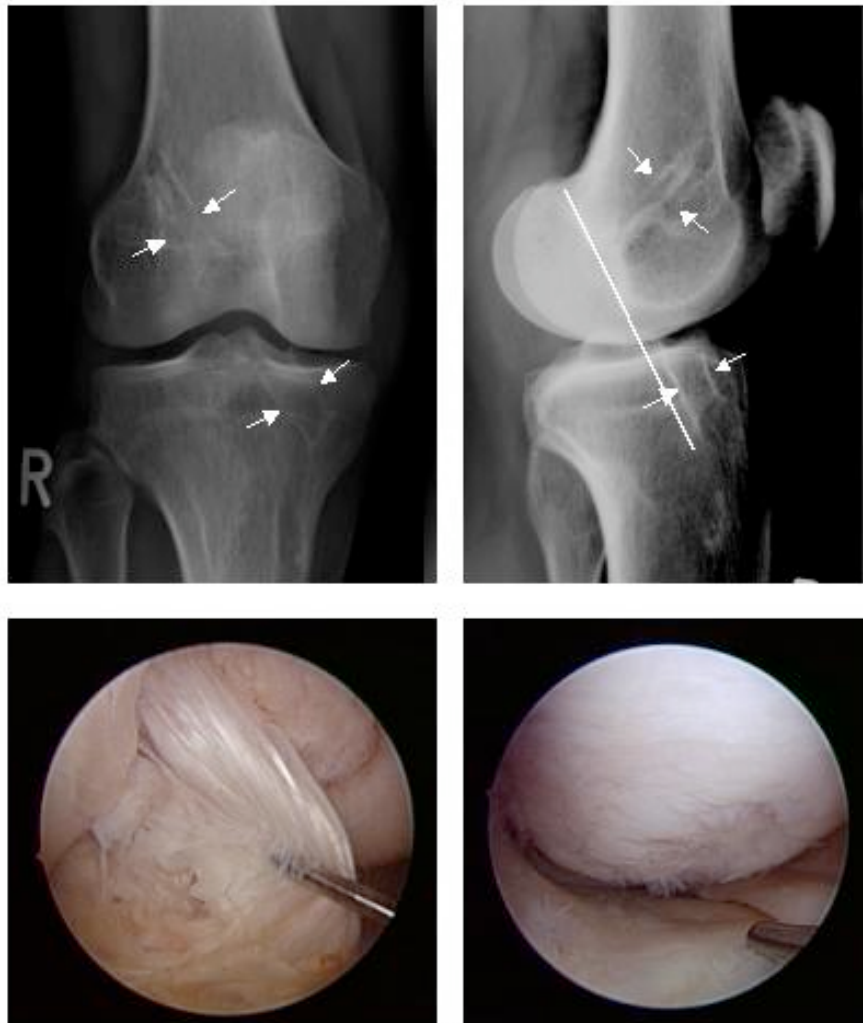
Grad 0=	Normalbefund, intakter Knorpel mit glatter weißer Oberfläche und guter Konsistenz
Grad 1 =	Erweichung der Oberfläche, aber glatt erhaltene Oberfläche ohne Fibrillation
Grad 2 =	Oberfläche aufgefasert mit Einrissen und deutlicher Fibrillation
Grad 3 =	tiefe Fissuren, Ulcus bzw. Krater mit instabilen oder unterminierten Rändern, subchondraler Knochen noch nicht erreicht
Grad 4 =	Vollschicht-Knorpelverlust bis auf den subchondralen Knochen

Ein Großteil der Knorpelschäden befand sich im Bereich des medialen Femurkondylus (n = 13, 26 %) (Abbildung 36). In jeder Gruppe fanden sich 9 Fälle (18%) mit einer Innenmeniskusläsion, 6 Fälle (12%) mit einer Außenmeniskusläsion und bei 4 (8%) Patienten waren beide Menisken verletzt.

In der Revisionsgruppe bestand im Vorfeld bei 18 (36%) Patienten eine mediale und 4 (8%) ein Zustand nach Teilresektion des lateralen Meniskus. In der Gruppe der primären Rekonstruktionen wurden 6 (12%) mediale und 4 (8%) Teilresektionen der lateralen Menisken im Vorfeld durchgeführt. In 7 (14%) der Revisionsfälle, bei denen schon vorher der mediale Meniskus und bei 2 (4%) der Revisionen, die schon vorher eine laterale Teilresektionen des Meniskus hatten, wurde aufgrund der symptomatischen Klinik und des ausgeprägten arthroskopischen Befundes eine subtotale Resektion des Hinterhorns durchgeführt.

In der Gruppe der primären Rekonstruktionen bestand im Vorfeld bei insgesamt 4 (8%) Patienten 2 mediale und 2 laterale teilresezierte Menisken, bei denen beim Primärerersatz das Hinterhorn subtotal reseziert wurde.

**Abbildung 36:** Anterior fehlpositionierter femoraler und tibialer Tunnel im Röntgen und im arthroskopischen Bild sowie mediale Degeneration (Pfeile zeigen die Tunnel).



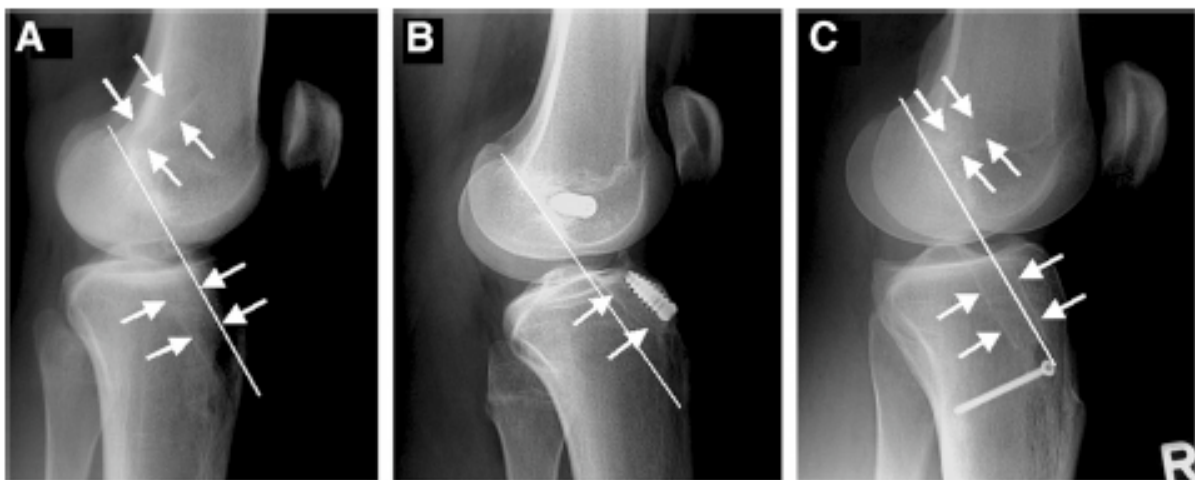
#### 4.5. Radiologische Analyse der primären Bohrkanäle in der Revisionsgruppe

In dem Centrum für Muskuloskeletale Unfall- und Wiederherstellungschirurgie hat sich eine Klassifikation vorhandener Tunnelpositionen etabliert, die für die Planung und Durchführung eines Re-Ersatzes des vorderen Kreuzbandes hilfreich ist. Mit Hilfe konventioneller Röntgenaufnahmen (betroffene Knie streng seitlich in Hyperextension, Knie bds. p.a. 45 °) unterscheiden wir die folgenden Tunnelpositionen:

1. Korrekt liegende Tunnel: die Tunnel wurden korrekt angelegt und können nochmals verwendet werden (Abbildung 37 A).

2. Inkorrekt liegende Tunnel: Die alten Tunnel liegen komplett neben der korrekten Tunnelposition. Korrekte Tunnel können somit neu angelegt werden, ohne dass die alten Tunnel diese behindern (Abbildung 37 B und 36).
3. Inkomplett inkorrekte Tunnelplatzierung: Die Anlage von neuen Tunnel ist problematisch, da ein größerer Knochendefekt entstehen kann, da sich alter und neuer Tunnel berühren (Abbildung 37 C und 24 A) <sup>115</sup>.

**Abbildung 37 A-C:** A: Korrekter femoraler und tibialer Tunnel; B: inkorrekt femoraler und tibialer Tunnel; C: inkomplett inkorrekte Tunnelplatzierung <sup>12</sup>.



Im letzteren Fall gestaltet sich die Anlage eines neuen Tunnels sehr schwierig. Um in dieser Situation eine stabile Tunnelwand zu erhalten, kann beispielsweise die Bohrung des neuen Kanals mit einem sehr kleinerem Bohrer im Durchmesser (5mm) durchgeführt und nachfolgend mittels Dilatation entsprechend vergrößert werden. Der Vorteil dieser Technik ist eine Kompaktierung des Knochens.

In den Fällen, bei denen der alte Tunneldefekt zu groß ist, um so aufgefüllt zu werden, kann durch eine zusätzliche biodegradierbare Interferenzschraube Stabilität erreicht werden.

In der Gruppe der Revisionen fanden wir entsprechend der beschriebenen Klassifikation femoralseitig 20 (40%) Fälle mit korrekten, 11 (22%) Fälle mit inkomplett inkorrekten und 19 (38%) Fälle mit komplett inkorrekten femoralen Tunnelplatzierungen. Tibial lagen in 26 (52%) Fällen korrekte, in 11 (22%) Fällen inkomplett inkorrekte und in 13 (26%) Fällen komplett inkorrekte Tunnel

#### **4.6. Notwendige Zusatzoperationen im Patientenkollektiv**

In beiden Gruppen wurden zusätzlich zur Kreuzbandrekonstruktion 2 mediale und 2 laterale Meniskusnähte durchgeführt. Die anderen Meniskusküsläsionen wurden partiell oder subtotal reseziert, wie im Vorfeld beschrieben.

In der Revisionsgruppe wurde in 5 Fällen und in der primären Gruppe in 3 Fällen eine Mikroperforation des medialen Kollateralbandes durchgeführt. Die Behandlung von bestehenden Knorpelschäden im Bereich des Femurkondylus erfolgte durch Mikrofrakturierung - in der Revisionsgruppe insgesamt in 6 Fällen und in der primären Gruppe bei 3 Patienten. Bedingt durch eine zu weiche Knochenstruktur und bestehende Tunnelerweiterung musste bei 4 Patienten zusätzlich 2 Interferenzschrauben für die tibiale Verankerung des Transplantates verwendet werden.

#### **4.7. Klinische Datenerhebung**

Alle 100 Patienten wurden zu fix definierten Zeitpunkten untersucht. Erstmalig prospektiv während der ersten Konsultation, dann direkt präoperativ schon in der Narkose und anschließend postoperativ nach 6 Wochen. Im Anschluss erfolgten weitere Untersuchungen nach 6, 12 und 24 Monaten. Zusammen mit einer speziell ausgebildeten Studienschwester erfolgte die einheitliche Durchführung aller klinischen Untersuchungen. Zur Dokumentation der Untersuchungsergebnisse dienten der IKDC-Score und der Lysholm-Score. Zur Objektivierung der Stabilität des vorderen Kreuzbandes diente die apparative Messung mit dem KT-1000 Arthrometer bei 20° Flexion und bei maximalem manuellen Kraftzug im Seitenvergleich. Ergänzend zu der Datenerhebung durch den IKDC-Score und Lysholm-Score wurden Fragen gestellt, die wie folgt lauteten:

- Inwieweit beeinflusst Ihre Kniefunktion Ihr Aktivitätsniveau?
- Wie beurteilen Sie Ihre Kniefunktion?
- Wurde Ihre Arbeitsfähigkeit durch Ihre Kniefunktion beeinträchtigt?

Durch diese Fragen wurde das subjektive Empfinden des Kniegelenkes der Patienten zusätzlich evaluiert. Mit Hilfe der Durchführung des Ein-Bein-Hüpf-Testes, der Durchführung des Entenganges und des Hinkniens erfolgte eine ergänzende funktionelle Evaluierung des Kniegelenkes. In Anlehnung an den IKDC-Score wurden diese Untersuchung mit folgenden Werten bewertet:

- A (normale Kniefunktion)
- B (fast normale Kniefunktion)

- C (abnormale Kniefunktion)
- D (total abnormale Kniefunktion)

Bei allen Patienten wurden diese Parameter erhoben und ein Vergleich zwischen dem präoperativen und postoperativen Zustand, sowie zwischen den jeweiligen Matched-Groups gezogen.

#### 4.8. Postoperative Rehabilitation

In beiden Gruppen erfolgte die postoperative Rehabilitation nach einem einheitlichen Rehabilitationsprogramm über einem Zeitraum von 4 Monaten. Postoperativ begannen die Patienten die Rehabilitationsphase durch aktives isometrisches Anspannen die Beübung des M. quadriceps femoris. Durch qualifizierte physiotherapeutische Betreuung wurden ergänzend passive Bewegungsübungen zur Wiederherstellung der Kniebeugung durchgeführt. Zur Ruhigstellung des operierten Kniegelenkes trugen die Patienten in der ersten postoperativen Woche eine Medicom-Schiene (Extension/Flexion 0°-0°-0°) (Abbildung 38) und durften mit 15-20 Kg Teilbelastung und Unterarmgehilfen laufen. Nach der ersten postoperativen Woche erhielten die Patienten eine funktionelle Orthese (Extension/Flexion 0°-0°-FREI); bei Patienten mit medialer Microperforation nach Rosenberg 0-10-90 für 5 Wochen: Schmerzadaptiert wurde die Vollbelastung frühestens ab der dritten postoperativen Wochen gestattet.



**Abbildung 38:** Funktionelle Orthese  
(Firma DonJoy, Freiburg, Germany).

Nach Entlassung erfolgte die Fortführung der physiotherapeutischen Behandlung in einem spezialisierten Rehabilitationszentrum.

Nach 6 Wochen wurde die Donjoy-Schiene entfernt und nach 3 Monaten durften die Patienten Radfahren, Schwimmen und auf ebenen Untergrund langsam mit Joggen beginnen. Kontaktsportarten wie Fußball oder Handball wurden erst nach 6 bis 9 Monaten erlaubt.

Als Voraussetzung dafür galt die vollständige Wiederherstellung und Funktionsweise des operierten Kniegelenkes im Seitenvergleich zur Gegenseite:

- Freier Bewegungsumfang (Extension/Flexion  $5^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $145^{\circ}$ ).
- Reizfreiheit (kein Erguss).
- Ein sicheres Stabilitätsgefühl subjektiv und objektiv durch die entsprechenden klinischen Untersuchungen.
- Wiederaufbau der Oberschenkel Muskulatur zu 90% im Vergleich zur Gegenseite.

#### **4.9. Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit parametrischen und nicht-parametrischen Tests. Die Daten des IKDC-Scores wurden mit Hilfe des  $\chi^2$ -Test (Chi-Quadrat-Test) analysiert. Durch diese Analyse konnten die verschiedenen Verteilungseigenschaften in der statistischen Grundgesamtheit genauer untersucht werden.

Die Parameter des Lysholm-Score, die Werte der Seitendifferenz bei der KT-1000 Messung, sowie die statistische Analyse der Matching-Parameter erfolgte durch den U-Test nach Mann und Whitney <sup>148</sup>. Mit Hilfe dieses Testes wurden Lageunterschiede zwischen den einzelnen Populationen überprüft. Voraussetzung für diese Untersuchung sind allgemein ordinalskalierte Merkmale. Die Testentscheidung wird anhand einer festgelegten Prüfgröße, über deren Verteilung zum berechneten Testwerte gehörige Wahrscheinlichkeit  $p$  ermittelt und gibt somit eine klare Aussage über die Signifikanz der Testergebnisse. Die gesamte statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms SPSS (Softwarepackage version 10.0, SPSS, Chicago,III). Die klinische Signifikanz wurde mit  $p \leq 0.05$  festgelegt.

## 5. ERGEBNISSE

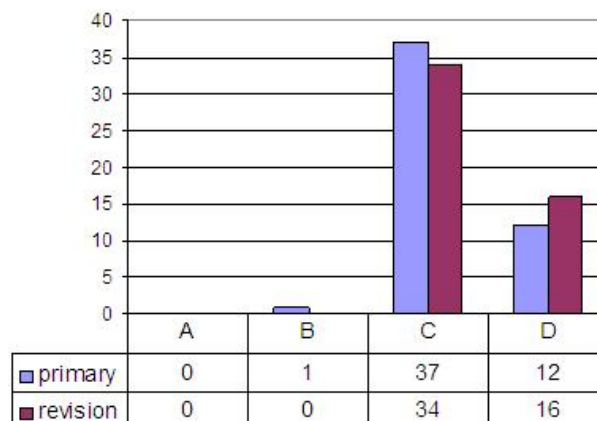
### 5.1. IKDC-Score und KT-1000-Arthrometer

#### 5.1.1. Die präoperativen Ergebnisse

Die präoperativen Daten des IKDC-Scores zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Patientenkollektiven (Abbildung 39). In der Gruppe des Primärsersatzes stellte sich die analytische Auswertung der Daten wie folgt dar: A=0 (0%), B=1 (2%), C=37 (74%) und D=12 (24%). Im Vergleich dazu fielen die Ergebnisse in der Revisionsgruppe wie folgt aus: A=0 (0%), C=34 (68%) und D=16 (32%).

#### ● IKDC-Score

(p = 0,482)



**Abbildung 39:** Präoperativer IKDC-Score beider Patientenkollektive.

Fragen nach einem Streckdefizit, nach vorhandenen Bandinstabilitäten (Lachman-Test, Pivot-Shift-Test und Aufklappbarkeit des Kniegelenkes im Bereich des Innen- oder Außenbandes) und der Einbein-Hüpf-Test zeigten präoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

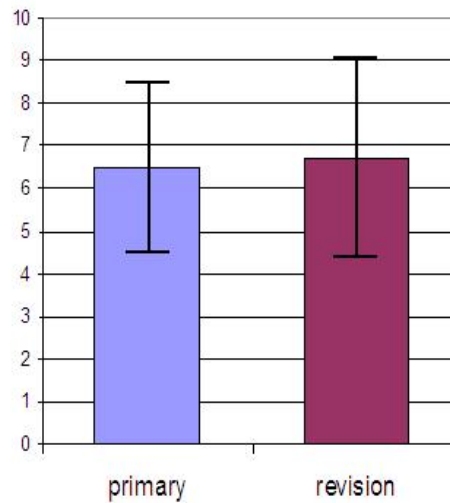


## ● KT-1000

primär  $6,5 \pm 2$  mmRevision  $6,7 \pm 2,4$  mm

(p = 0,888)

**Abbildung 40:** Präoperative ap-Translation (mm, KT-1000) beider Patientenkollektive.



Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Patientenkollektiven. Bei den primären Kreuzbändern betrug die Seit-zu-Seit-Differenz  $6.5 \pm 2$  mm. Im Vergleich dazu zeigte sich in der Revisionsgruppe eine Differenz von  $6.7 \pm 2.4$  mm (Abbildung 40).

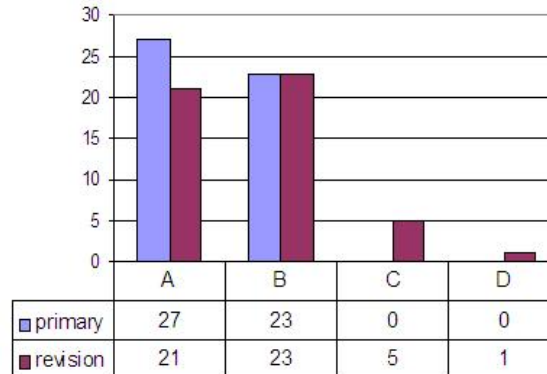
### 5.1.2. Die postoperativen Ergebnisse

Der Vergleich der postoperativ erhobenen Daten des IKDC-Scores zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. In der Gruppe der primären Kreuzbandrekonstruktion schnitten 27 (54%) Patienten mit der Bewertung A ab und 23 (46%) erreichten eine B-Bewertung. In der Revisionsgruppe lagen die IKDC-Ergebnisse bei: A=21 (42%), B=23 (46%), C=5 (10%), D=1(2%) (p=0,027) (Abbildung 41).

## ● IKDC-Score

(p = 0,08)

Abbildung 41: Postoperative IKDC-Score.



Die manuell durchgeführte klinische Untersuchung des Lachman-Tests in 20° Flexion offenbarte keine signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen. In der Gruppe der primären Kreuzbandrekonstruktion erhielten 31 (62%) Patienten eine A-Bewertung und 19 (38%) eine B-Bewertung. Im Vergleich dazu erhielten 27 (54%) eine A- und 22 (44%) eine B-Bewertung in der Revisionsgruppe.

Der Pivot-Shift-Test fiel bei 41 (82%) der Patienten mit primärem Kreuzbandersatz und bei 36 (72%) der Revisionspatienten negativ aus. Bei 9 (18%) Fällen in der primären und bei 12 (24%) Patienten in der Revisionsgruppe war der Pivot-Shift-Test einfach positiv.

Bei 2 (8%) Patienten in der Gruppe der Revisionen war der Pivot-Shift-Test doppelt positiv. Bei den Untersuchungen nach Knieschwellung, Bewegungsumfang und dem Einbein-Hüpf-Test fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Patientenkollektiven.

Die KT-1000-Arthrometermessung zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Die durchschnittliche Side-To-Side Differenz beim primären Kreuzbandersatz ergab postoperativ einen Wert von  $2,2 \pm 1,1$ mm und bei den Revisionsknien  $2,1 \pm 1,6$ mm (Abbildung 42).

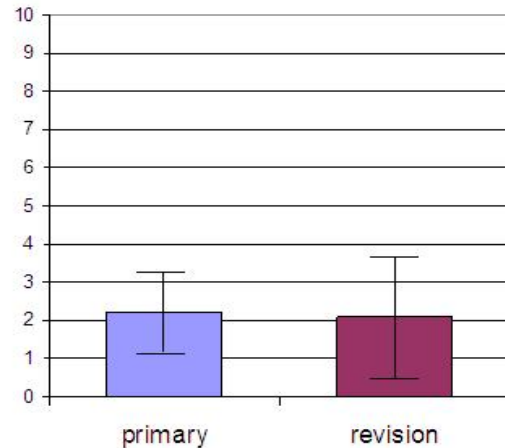
● KT-1000

primär  $2,2 \pm 1,1$  mm

Revision  $2,1 \pm 1,6$  mm

( $p = 0,59$ )

Abbildung 42: Postoperative KT-1000-Arthrometermessung.



### 5.1.3. Der Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen

Die präoperativen Daten zeigten im Vergleich zu den postoperativen Daten des IKDC-Score (Schwellung, Kniestabilität und Einbein-Hüpf-Test) in Ihrer Gesamtheit eine signifikante Verbesserung in beiden Patientenkollektiven. Bei Betrachtung der einzelnen Komponenten trat bezüglich des Bewegungsumfanges des zu operierenden Beines in der Revisionsgruppe eine deutliche Verbesserung zwischen dem präoperativen und postoperativen Extensionsdefizit auf.

Präoperativ erhielten 35 (70%) Revisionspatienten eine A-Bewertung, postoperativ wurde diese Bewertung 43-mal (86%) erreicht. In der Bewertung konnte ebenfalls eine Verbesserung eine Verschiebung von 9 (18%) B-Bewertungen auf 7 (14%) B-Bewertungen zu Gunsten der A-Bewertung beobachtet werden. In 2 (4%) Revisionsfällen wurde präoperativ eine C- und in 4 (8%) Fällen eine D-Bewertung erreicht. Postoperativ erhielt kein Patient eine C- oder D-Bewertung.

Ebenso zeigte der Vergleich der Flexionsfähigkeit keine verbessernde Veränderung. Während präoperative die A-Bewertung bei 33 (66%) Revisionspatienten erreicht wurde, waren es postoperativ 43 (86%).

Bei der präoperativen B-, C- und D-Bewertung zeigte sich eine deutliche Verschiebung zu Gunsten der postoperativen A-Bewertung von präoperativ 8 (16%) B-Bewertungen, 6 (12%) C-Bewertungen und 3 (6%) D-Bewertungen auf postoperativ nur 4 (8%) B-Bewertungen, 2 (4%) C-Bewertungen und 1 (2%) D-Bewertung ( $p=0,013$ ). Demgegenüber gestellt, zeigten die Daten bezüglich eines bestehenden Extensionsdefizits in der primären Gruppe eine signifikante Verbesserung. Präoperativ erreichten 36 (72%) Patienten eine A-Bewertung, 10 (20%) erzielten eine B-Bewertung, 3 (6%) eine C- und 1 (2%) Patient eine D-Bewertung.

Im Vergleich dazu erreichten 98% (49 Fälle) Patienten in der Gruppe mit primären Kreuzbandersatz eine A-Bewertung und 2 % (1 Fall) eine B-Bewertung postoperativ ( $p=0,004$ ). Die gleiche verbesserte Signifikanz verdeutlichte sich im Vergleich zwischen dem präoperativen und postoperativen Flexionsumfang im primären Patientenkollektiv. Präoperativ erhielten 30 (60%) Patienten eine A-Bewertung, 11 (22%) eine B-Bewertung, 4 (8%) eine C-Bewertung und 5 (10%) eine D-Bewertung. Postoperativ verbesserte sich die A-Bewertung auf 96% in 48 Fällen und die B-Bewertung sank zu Gunsten der A-Bewertung auf 4% in 2 Fällen ab ( $p<0,001$ ). Die KT-1000-Arthrometer-Messung verdeutlichte in beiden Gruppen eine deutliche Verbesserung ( $p<0,001$ ).

## 5.2. Lyshom-Score

### 5.2.1. Die präoperativen Ergebnisse

Die einzelnen Parameter des Lysholm-Score, wie die Kriterien des Hinkens, des Treppensteigens, die Anwendung von Gehhilfen, die Fähigkeit des Hinhockens, Schwellung, Schmerz und Atrophie des Oberschenkels zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Der Lysholm-Score als Gesamtheit zeigte keine signifikanten Unterschiede ( $p=0,037$ ) (Abbildung 43).

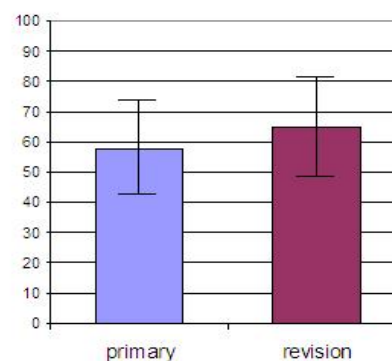
#### ● Lysholm-Score

primär  $58 \pm 16$

Revision  $65 \pm 17$

( $p = 0,037$ )

**Abbildung 43:** Präoperative Daten des Lysholm-Score beider Patientenkollektive im Vergleich.



### 5.2.2. Die postoperativen Ergebnisse

Mit einem Punktescore von  $94 \pm 8$  wies das primäre Patientenkollektiv für die Auswertung des postoperativen Lysholm-Score signifikant bessere Ergebnisse vor, als die Gruppe der Revision mit einem Punktescore von  $90 \pm 9$  ( $p=0,014$ ) (Abbildung 44).

#### ● Lysholm-Score

primär  $94 \pm 8$

Revision  $90 \pm 9$

( $p = 0,014$ )

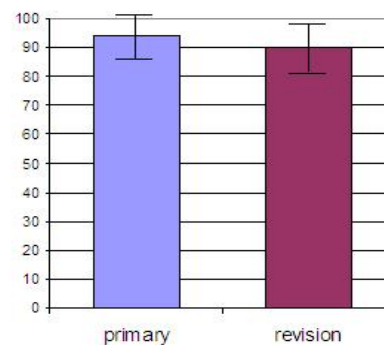


Abbildung 44: Daten des postoperativen Lysholm-Score.

Bei Betrachtung der einzelnen Bewertungskriterien des Lysholm-Scores zeigten sich deutlich bessere Ergebnisse beim Treppensteigen ( $p<0,001$ ) und beim Hinhocken ( $p=0,001$ ) für die primäre Gruppe. Die anderen Bewertungsparameter (Hinken, Schmerzen, Instabilität, Schwellung und Atrophie des Oberschenkelmuskels) wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

### 5.2.3. Der Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen

Der Vergleich zwischen den präoperativen und postoperativen Daten des Lysholm-Score zeigt in beiden Patientenkollektiven eine deutliche Verbesserung des Punktescores (primäre VKB's:  $p<0,001$ ; Revisionsgruppe:  $p<0,001$ ).

### **5.3. Die subjektiv und funktionell evaluierten Daten**

#### **5.3.1. Die präoperativen Ergebnisse**

Zur subjektiven Beurteilung der Funktion des Kniegelenkes wurden den Patienten Fragen gestellt zur Funktionsfähigkeit ihres Kniegelenkes und dem möglichen Aktivitätsniveau.

Die Bewertung erfolgte analog zum IKDC-Score nach A = normal, B = fast normal, C = anormal, D = stark anormal. Hierbei zeigten sich präoperativ keine signifikanten Unterschiede. Bezogen auf Fragen nach Knieschmerz und Schwellung zeigten sich ebenfalls zum präoperativen Zeitpunkt keine Unterschiede zwischen beiden Patientenkollektiven.

Hervorzuheben ist, dass weniger wenn auch nicht signifikant weniger Patienten der Revisionsgruppe in ihrer beruflichen Tätigkeit eingeschränkt waren. In beiden Gruppen bestand kein entscheidender Unterschied bezüglich des Einbein-Hüpfestes, des Entenganges und beim Hinhocken.

#### **5.3.2. Die postoperativen Ergebnisse**

Die Auswertung der postoperativen Daten zeigten bezüglich der Beurteilung der subjektiven Kniefunktion und des Aktivitätsniveaus bei beiden Patientenkollektiven keine signifikanten Unterschiede. In der Gruppe der primären Kreuzbandrekonstruktionen erreichten auf die Frage nach der subjektiven Beurteilung der Kniefunktion 34 (68%) Patienten eine A-Wertung und 16 (32%) eine B-Bewertung. Im Vergleich dazu erhielten die Patienten in der Gruppe der Revisionen die Ergebnisse: A=30 (60%), B=16 (32%) und C=4 (8%) ( $p=0,119$ ). Für das Aktivitätsniveau erhielten im primären Patientenkollektiv 36 (72%) Patienten eine A- und 14 (28%) eine B-Wertung. Bei den Revisionen lag das Ergebnis des Aktivitätsniveaus bei A=30 (60%), B=18 (36%) und C=2 (4%). Bezüglich der Parameter für Knieschmerz, Schwellung des Kniegelenkes und Arbeitsfähigkeit ergaben sich für beide Gruppen keine signifikanten Differenzen.

In den funktionellen Tests zeigte die primäre Gruppe beim Ein-Bein-Hüpfen ein signifikant besseres Ergebnis als in der Revisionsgruppe. 47 (94%) der Patienten mit einem primären Kreuzbandersatz erreichten eine A-Bewertung und 3 (6%) eine B-Bewertung. In der Gruppe der Revisionen erzielten nur 40 (80%) Patienten eine A-Bewertung und in 10 (20%) Fällen wurde eine B-Bewertung erzielt ( $p=0,037$ ).

Als ein weiterer funktioneller Test zählte der Entengang zu den Ergebnissen mit deutlich besseren Werten für die Gruppe der primären Kreuzbänder. 76% der Patienten ( $n=38$ ) erreichten eine A-Bewertung und 12 (24%) eine B-Bewertung. Demgegenüber erreichten nur 26 (52%) Revisionspatienten eine A-Bewertung, 21 (42%) eine B- und 3 (6%) eine C-Bewertung. Die Wahrscheinlichkeit lag hier bei  $p=0,021$ .

### **5.3.3. Der Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Ergebnissen**

Sowohl in der Gruppe der primären Kreuzbänder, als auch bei den Revisionsknien zeigte der Vergleich zwischen den präoperativen und postoperativ evaluierten Daten eine signifikante Verbesserung für die oben angegeben Fragen.

## 6. DISKUSSION

Ziel dieser Studie war es dem aktuellen Mangel an signifikanten Studien mit zu geringen Fallzahlen, dem Fehlen von Kontrollgruppen und dem retrospektiven Studiendesign der wenigen Untersuchungen zum Thema Revisionschirurgie entgegenzuwirken. Anhand unseres eigenen Patientenkollektives untersuchten wir das klinische Outcome nach primärem versus Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung von autologen Hamstringsehnentransplantaten. Im gesamten Patientenkollektiv wählten wir neben dem gleichen Transplantattyp eine identische direkte und anatomische Verankerungstechnik und analysierten prospektiv das klinische Outcome in einer Kohortenstudie mit Bildung von so genannten Matched-Groups.

Als Hauptfragestellungen unserer Studie setzen wir uns folgende Zielsetzung:

- (1) Ist die Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung eines Hamstringsehnentransplantates und einer direkten und anatomischen Verankerungstechnik in der Lage die die subjektive und objektive Kniefunktion zu verbessern?
- (2) Ist der primäre Ersatz des vorderen Kreuzbandes der Revisionsrekonstruktion tatsächlich bezüglich Kniestabilität und subjektiver und objektiver Funktion überlegen?
- (3) Wenn die Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes dem primären Ersatz tatsächlich überlegen ist, durch welche Faktoren wird dies beeinflusst?

Unsere postoperativen 2 Jahres Ergebnisse zeigten im gesamten Patientenkollektiv eine signifikante Verbesserung der subjektiven und objektiven Kniefunktion im Vergleich zur präoperativen Ausgangssituation. Sowohl in der Gruppe des primären Kreuzbandersatzes als auch in der Revisionsgruppe führte der Kreuzbandersatz mit einer Hamstringsehne unter einer direkten und anatomischen Transplantatfixierung zur Verbesserung der Kniefunktion.

Bezüglich der messbaren Kniegelenksstabilität wiesen unsere Ergebnisse 2 Jahre postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen auf. Hierbei beziehen wir uns im Wesentlichen auf die KT-1000 Messung und den Pivot-Shift Test. Die durchschnittliche Side-To-Side Differenz beim primären Kreuzbandersatz ergab postoperativ einen Wert von  $2,2 \pm 1,1$ mm und bei den Revisionsknien  $2,1 \pm 1,6$ mm. Folglich erzielten wir im gesamten Patientenkollektiv eine objektiv messbare anterior-posteriore Bandstabilität.

Ebenso zeigte der funktionell geprägte IKDC-Score keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen offenbarte sich in den Tests, die auf die subjektive Beurteilung der Kniegelenksfunktion durch den Patienten selbst zielen.



Der Lysholm-Score wies ein signifikant besseres Ergebnis in der Gruppe des primären Ersatzes auf. Zudem fanden wir in der Gruppe nach primärem Kreuzbandersatz signifikant weniger Streckdefizite und ein insgesamt besseres funktionelles Ergebnis (Treppensteigen, Hocken, Kniebeugen, Entengang). Folglich müssen andere Faktoren als die objektive Kniestabilität für die schlechteren subjektiven Ergebnisse der Revisionen verantwortlich sein.

Zum Thema der Revisionschirurgie existieren zahlreiche Arbeiten in der Literatur<sup>15-16;18-19;21;26;29;149-151</sup>. Fakten wie ein retrospektives Studiendesign, zu geringe Fallzahlen ohne entsprechende Kontrollgruppen und die Gegenüberstellung von verschiedenen Transplantaten mit unterschiedlichen Verankerungstechniken, v.a. beim Revisionsersatz, sind Hauptcharakteristika dieser Untersuchungen. Statistisch signifikante Schlussfolgerungen bei hohen Fallzahlen sind daher in der aktuellen Literatur bisher eher die Seltenheit.

Momentan finden sich 4 prospektive klinische Studien in der aktuellen Literatur, die einen direkten Vergleich zwischen primärem Kreuzbandersatz und Revisionsrekonstruktion vornehmen<sup>11;27-29</sup>. Selbst in diesen Untersuchungen werden prospektiv unterschiedliche Transplantate unter Verwendung verschiedener Verankerungssysteme miteinander verglichen. Unseres Wissens ist die hier vorgestellte Arbeit die erste prospektive klinische Studie, die den primären Kreuzbandersatz mit der Revisionsrekonstruktion vergleicht und die in allen Fällen sowohl einen einheitlichen Transplantattyp, als auch ein identisches Verankerungssystem und postoperatives Rehabilitationsprogramm verwendet. Um Einflussfaktoren außerhalb der VKB-Rekonstruktion auf ein Minimum zu reduzieren, entschieden wir uns für eine Matched-Group-Analyse. Durch dieses Studiendesign konnten wir eine sehr große Homogenität zwischen den Patientenkollektiven erreichen.

Eine der vier Studien zum Thema primärer Kreuzbandersatz versus Revisionsersatz ist die von Thomas 2005 veröffentlichte prospektive Untersuchung<sup>27</sup>. Der Autor berichtet über eine schlechtere präoperative Ausgangssituation der Revisionen im Vergleich zu dem primären Ersatz und stellt dies als mögliche Ursache für das schlechtere Outcome der Revisionen verglichen mit den primären Rekonstruktionen dar<sup>27</sup>. Er vergleicht prospektiv die klinischen Ergebnisse von 49 zweizeitig durchgeführten vorderen Kreuzbandrevisionen mit den klinischen Ergebnissen von 49 primären vorderen Kreuzbandrekonstruktionen<sup>27</sup>. Als Transplantatwahl für die Revisionen werden in der Studie verschiedene Autografts verwendet (15 Patellarsehnen und 39 Hamstringsehnen)<sup>27</sup>. Ähnlich wie in unserer Studie, kommt Thomas mit seinen Untersuchungen zu dem Schluss, dass zwischen beiden Untersuchungsgruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der anterior-posterioren Bandinstabilität existieren und die Revisionsgruppe schlechtere subjektive und funktionelle Ergebnisse erzielt als die der primären Kreuzbandrekonstruktionen<sup>27</sup>.

Zu den Ursachen für diese Ergebnisse zählt der Autor eine erhöhte Schmerzsymptomatik, bedingt durch eine Anzahl von Voroperationen und häufig vorhandene Knorpel- und Meniskusläsionen im Vergleich zu den Kniegelenken der primären Kreuzbänder<sup>27</sup>.

In unserer klinischen Studie wurden die bestehenden Knorpel- und Meniskusschaden als ein wesentlicher Matching Parameter mit in die Analyse eingeschlossen. Die präoperativen klinischen Untersuchungen in der Studie von Thomas zeigten bei den Revisionsknien signifikant schlechtere Daten bezüglich des Bewegungsumfanges im Kniegelenk, die Fähigkeit sich hinzuhocken und Treppenzusteigen<sup>27</sup>. Diese Parameter sind wesentlich vom Zustand des aktiven Streckapparates des Kniegelenkes abhängig.

In unserer Studie erhielten 30 Revisionspatienten als primären VKB-Ersatz eine Patellarsehne und zeigten postoperativ in den funktionell objektiven Untersuchungen, wie beim Entengang, dem Einbein-Hüpf-Test und dem Lysholm-Score schlechtere Ergebnisse als die Patienten, die primär mit einer Hamstringsehne versorgt wurden.

Verschiedene klinische Studien haben gezeigt, dass es postoperativ nach Kreuzbandersatz unter Verwendung einer Patellarsehne zu Schmerzen im Bereich der Entnahmestelle und zu einem Verlust der Muskelkraft im Oberschenkel kommen kann. Diese spezifische postoperative Komorbidität findet sich deutlich seltener bei Verwendung von Hamstringsehnentransplantaten<sup>36;152-153</sup>. Aus diesem Grunde ist es verständlich, dass nicht alle vorhandenen präoperativen, funktionellen Defizite durch einen erneuten Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes behoben werden können, selbst wenn ein stabiler Bandapparat geschaffen wird.

Ein weiterer großer Unterschied ist, dass Thomas alle eingeschlossenen Revisionen zweizeitig, nach primärer Auffüllung der Tunnel mit Spongiosa, operiert hat<sup>27</sup>. Die Autoren begründen ihre guten postoperativen Ergebnisse bezüglich der Kniestabilität durch die Anwendung dieses Vorgehens und dadurch verbesserte Ausgangsbedingungen für die Revisionsrekonstruktion, ähnlich der bei einer primären Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes<sup>27</sup>.

In unserem Patientenkollektiv wurde bei insgesamt 54 (95%) von 57 Patienten der Revisionsersatz einzeitig durchgeführt. Im Vergleich dazu verwendeten wir ein zweizeitiges Vorgehen bei lediglich 3 (5%) der Fälle im gesamten Patientenkollektiv der Revisionen.

Darüber hinaus sind die klinischen Ergebnisse der Studie von Thomas mit denen unserer Untersuchung durchaus vergleichbar<sup>27</sup>. Bei Thomas erreichten 45 der 49 Patienten in der Revisionsgruppe postoperativ eine Side-To-Side Differenz  $\leq 2\text{mm}$ <sup>27</sup>. Im Vergleich dazu lagen die postoperativen KT-1000 Messwerte in unserer Revisionsgruppe bei  $2,1 \pm 1,6\text{mm}$ .

Um vorhandene Knochendefekte auffüllen zu können, bevorzugen zahlreiche Autoren autologe oder allogene Patellarsehnentransplantate für einen Revisionsersatz des VKB's, um mit den vorhandenen Knochenblöcken eine sichere Verankerung gewährleisten zu können. Die Daten unserer Untersuchung demonstrieren jedoch deutlich, dass eine sichere Transplantatverankerung auch bei einer hohen Anzahl inkorrektur Tunnel unter Verwendung eines Hamstringsehnentransplantates erreichbar ist. Für das Outcome eines Kreuzbandersatzes ist sowohl bei primären, als auch beim Revisionsersatz die Transplantatfixierung ein entscheidender Faktor für optimale mechanische und biologische Rahmenbedingungen<sup>118</sup>.

In unserer Studie erhielten alle Patienten eine tibiale Hybridfixierung und bei 48 % der Fälle wurde die Hybridtechnik mittels Interferenzschraube und Endopearl für die femorale Transplantatfixierung angewendet. Weiler konnte zeigen, dass die anatomische Transplantatfixierung mittels einer Hybridtechnik zur Verbesserung der Verankerungsfestigkeit und zur Verringerung der Transplantatbewegungen im Tunnel führt <sup>144</sup>.

In der Literatur finden sich weitere Untersuchungen zum klinischen Outcome nach Revisionsersatz des VKB's: Harilainen vergleicht in seiner prospektiven Studie 28 primäre Kreuzbandrekonstruktionen, die mit einer Patellarsehne versorgt wurden mit 30 Revisionskreuzbändern, bei denen in 21 Fällen ein Revisionsersatz mit einer Patellarsehne durchgeführt und in 9 Fällen Hamstringsehnen verwendet wurden <sup>11</sup>. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen ein deutlich schlechteres Outcome der Revisionskreuzbänder im Vergleich zum primären Kreuzbandersatz <sup>11</sup>.

In einer prospektiven Studie von Kartus werden insgesamt 36 Patienten miteinander verglichen <sup>28</sup>. 12 Patienten davon erhielten einen Revisionsersatz mit einer ipsilateralen Patellarsehne. 12 weitere Revisionspatienten wurden mit einer kontralateralen Patellarsehne versorgt. Dieses Revisionskollektiv wurde 12 primären Kreuzbandrekonstruktionen, die mit einer ipsilateralen Patellarsehne versorgt wurden, gegenübergestellt <sup>28</sup>. Zwar wurde in dieser Studie auf die Homogenität der Transplantatwahl sowohl bei den primären Kreuzbändern, als auch bei den Revisionen geachtet, aber verschiedene Komorbiditäten, wie zusätzliche Innen- und Außenmeniskusläsionen werden beim Vergleich zwischen primärem Ersatz und Revisionsersatz außer Acht gelassen <sup>28</sup>. Die Patienten mit den ipsilateralen Transplantaten erreichten schlechtere Ergebnisse, als die kontralateralen Patellarsehnenrekonstruktionen <sup>28</sup>.

Der Autor schließt aus seiner klinischen Untersuchung, dass mit der Rekonstruktion eines Revisionsersatzes des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung einer ipsilateralen Patellarsehne ein unakzeptables Risiko verbunden ist und demzufolge nach anderen Transplantatoptionen gesucht werden muss <sup>28</sup>.

Neben unterschiedlichen Transplantaten für den Kreuzbandersatz vergleicht Wirth das Outcome von primären Kreuzbandrekonstruktionen mit dem Outcome von Revision, Re-Revisionen (2. Revision) und Re-Re-Revisionen (3. Revision) und kommt zu dem Schluss, dass die Revisionen schlechtere Ergebnisse bezüglich des Bewegungsumfanges und der Bandstabilität erreichen <sup>29</sup>.

Noyes wertete in seiner klinischen Studie die Ergebnisse von 54 Patienten aus <sup>8</sup>. In den Fällen, wo eine Hamstringsehne als Revisionsersatz verwendet wurde, zeichnete sich das Ergebnis ab, dass die postoperativen Messungen der anterioren-posterioren Translation eine deutliche Verbesserung der präoperativen Werte von  $11,2 \pm 3,9$  mm im Vergleich zu den postoperativen Daten von  $2,2 \pm 4,9$  mm ( $p < 0,001$ ) <sup>8</sup>. Präoperativ erzielten die Patienten beim Pivot-Shift-Test den Grad 2 oder 3 und postoperativ erzielten die Patienten in 78 % der Fälle Grad 0 oder 1 <sup>8</sup>. Die verbesserte postoperative Bandstabilität entspricht den Ergebnissen in unserer Studie.

Noyes berichtet über einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem bestehenden Knorpelschaden der Patienten bezogen auf ihr postoperatives Aktivitätsniveau<sup>8</sup>. In unserer Studie wurden die bestehenden Knorpelschäden bei den primären- und Revisionspatienten als ein wesentlicher Faktor typischer Langzeitkomplikationen beim insuffizienten vorderen Kreuzband berücksichtigt und in die Matching Prozedur eingeschlossen.

In unserer Untersuchung befanden sich in jeder Gruppe 9 Fälle (18%) mit einer Innenmeniskusläsion, 6 Fälle (12%) mit einer Außenmeniskusläsion und bei 4 (8%) Patienten waren beide Menisken verletzt. In der Gruppe der Revisionen hatten 18 (36 %) Patienten eine mediale und 4 (8 %) eine laterale Teilresektion des Meniskus im Vorfeld und bei den primären Kreuzbandrekonstruktionen waren es 6 (12 %) mediale und 4 (8 %) laterale Teilresektionen der Menisken im Vorfeld. In unserer Studie fanden wir zwischen beiden Gruppen trotz des bekannten potentiellen höheren Risikos für eine stabile Kreuzbandrekonstruktion bei zusätzlichen Binnenschäden im Kniegelenk keine signifikanten Unterschiede in der anterior-posterioren Translationsmessung mit dem KT-1000 Arthrometer und der Prävalenz eines positiven Pivot-Shift-Test. Es zeigte sich in beiden Patientenkollektiven ein Anstieg der Parameter bezüglich des Knieschmerzes und der Tendenz zur Knieschwellung - als ein mögliches klinisches Zeichen symptomatischer Knorpelläsionen, jedoch ohne einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen prä- und postoperativ.

Die Anzahl der fehlgeschlagenen, insuffizienten primären vorderen Kreuzbänder ist in den letzten 10-15 Jahren proportional zu den durchgeführten primären Rekonstruktionen gestiegen<sup>19;29;119;139-140</sup>. Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass bei einer Erfolgsrate von 75-95% beim primären VKB-Ersatz, durchschnittlich mit 1000 Versagern pro Jahr gerechnet werden muss<sup>154-156</sup>. Aus diesem Grunde besteht die zwingende Dringlichkeit, die Gruppe der Revisionen als ein neues Patientenkollektiv anzusehen. Eine Gruppe, die von Jahr zu Jahr stetig anwächst und eigene Lösungsansätze benötigt. Lösungsansätze, die sich an den Zielen des primären Kreuzbandersatzes orientieren, aber auch speziell an seine eigenen Schwachstellen und Bedürfnisse angepasste Therapiekonzepte benötigt. Trotz der gleichen Zielsetzung der Stabilisierung und Normalisierung der Kinematik im Kniegelenk ist die Ausgangssituation beim Revisionsersatz eine andere als beim primären Ersatz.

Der Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes stellt auch für den erfahrenen Operateur immer wieder eine große Herausforderung dar. Um intraoperativ auf möglichst wenig unbekannte Variablen zu stoßen, empfiehlt sich zwingend eine detaillierte präoperative Analyse der aktuellen klinischen Situation des Patienten, sowie eine entsprechende Evaluation der Mechanismen, die zum Transplantatversagen geführt haben. In der Literatur werden neben der Transplantatwahl<sup>155-156</sup>, die Tunnelplatzierung<sup>14</sup>, der Aspekt der Transplantatfixierung<sup>154</sup> und die Rehabilitation nach einem solchen Eingriff als entscheidend für das klinische Outcome eines Kreuzbandersatzes angesehen.

Ebenso sollte der Operateur mit unterschiedlichen Transplantattypen sowie mit verschiedenen technischen Möglichkeiten der Transplantatverankerungssystemen bzw. unterschiedliche Schraubengrößen vertraut sein, um im Einzelnen auf entsprechende Situationen reagieren und die Ausgangssituation für den Revisionsersatz aufgrund der vorhandenen Fremdmaterialien richtig einschätzen zu können.

Ein weiteres wichtiges Thema für den Revisionsersatz sind die entstandenen Tunnelerweiterungen nach primärem Kreuzbandersatz. Provoziert durch Bewegungen des Transplantates innerhalb der Tunnel (sog. „wind-shield-whiper effect“ und „bungee-cord effect“) und durch den Einstrom von synovialer Flüssigkeit in den Tunnel zwischen Transplantat und Tunnelwand kommt es gehäuft bei extrakortikalen Verankerungstechniken in Kombination mit Weichteiltransplantaten zu den unbeliebten Tunnelerweiterungen <sup>115</sup>. Im gesamten Patientenkollektiv der Revisionsbänder erfolgte in 8 (5%) Fällen die Rekonstruktion mit verschiedenen Transplantaten in zweizeitiger Sitzung.

Ziel des primären Kreuzbandersatzes und des Revisionsersatzes ist die Wiederherstellung der Kniestabilität mit einer normalen Kniegelenkskinematik und damit einer physiologischen Beweglichkeit und Funktionsweise. Nach unserer Erfahrung bietet das Hamstringsehnentransplantat, kombiniert mit einer anatomischen und direkten Interferenzschraubenverankerung in Hybridtechnik, eine hervorragende Alternative zum Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes. Mit seinen Untersuchungen zeigte Wilson, dass die mechanischen Eigenschaften der herkömmlich verwendeten Transplantate (Semitendinous-, Gracilis-, Patellar-, Quadricepssehnen und Allografts) zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes die dem intakten Bandes entsprechen und diese sogar übertreffen <sup>128</sup>.

Das Augenmerk wird somit nicht mehr auf die Wahl des Transplantates als Prognostor für das Outcome eines Kreuzbandersatzes gelenkt, sondern die Wahl der Transplantatverankerung, neben der detaillierten präoperativen und individuellen Diagnostik beim einzelnen Patienten letztendlich ausschlaggebend für einen erfolgreichen Kreuzbandersatz.

Die Ergebnisse unserer klinischen Untersuchung unterstützen nicht die bisher vertretende Meinung der aktuellen Literatur, dass Patienten mit einem Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes generell eine schlechtere Kniestabilität als Patienten mit einem primären Kreuzbandersatz vorweisen. Mit unserer klinischen prospektiven Studie konnte wir zeigen, dass der Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes unter Verwendung von autologen Hamstringsehnen mit einer direkten und anatomischen Verankerung zu identischen Ergebnissen bezüglich postoperativer Kniestabilität, verglichen mit dem primären Ersatz, führen kann. Der Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes verbessert signifikant die objektiven und subjektiven Parameter des einzelnen Patienten. Bezüglich der funktionellen Daten wiesen die Revisionsrekonstruktionen schlechtere Ergebnisse als die primären Rekonstruktionen auf, wahrscheinlich bedingt durch die vorbestehende Morbidität der Revisionsknie. Die autologen Hamstringsehnen mit einer direkten und anatomischen Verankerungstechnik sind für uns die primäre Transplantatwahl zum Revisionsersatz eines vorderen Kreuzbandes.

## Literaturverzeichnis

1. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the Knee Joint. Anatomical functional and experimental analysis. *Clin Orthop* 1975; 106: 216-231.
2. Greis PE, Johnson DL, Fu FH. Revision anterior cruciate ligament surgery: cause of graft failure and technical considerations of revision surgery. *Clin Sports Med* 1993; 12 (4): 839-852.
3. Harner CD, Griffin JR, Duntzman RC, Annunziata CC, Friedman MJ. Evaluation and treatment of recurrent instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect* 2001; 50: 463-474.
4. Holmes PF, James SL, Larson RL, Singer KM, Jones DC. Retrospective direct comparison of three intraarticular anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med* 1991; 19 (6): 596-599.
5. Panni AS, Milano G, Tartarone M, Demontis A, Fabbriani C. Clinical and radiographic results of ACL reconstructions: a 5- to 7-year follow-up study of outside-in versus inside-out reconstruction techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001; 9 (2): 77-85.
6. Vergis A, Gillquist J. Graft Failure in intra-articular anterior cruciate ligament reconstruction techniques: a review of the literature. *Arthroscopy* 1995; 3: 312-321.
7. Wetzler MJ, Bartolozzi AR, Gillespie MJ. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Tech Orthop* 1996; 6: 181.
8. Noyes FR, Barber-Westin SD. Revision anterior cruciate surgery with use of bone-patellar tendon-bone autogenous grafts. *J Bone Joint Surg Am* 2001; 83 A (8): 1131-1143.
9. Wirth CJ, Peters G. The dilemma with multiply reoperated knee instabilities. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6 (3): 148-159.
10. Wolf RS, Lemak LJ. Revision anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *J South orthop Assoc* 2002; 11 (1): 25-32.
11. Harilainen A, Sandelin J. Revision anterior cruciate ligament reconstruction surgery. A review of the literature and results of our own revisions. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11 (3): 163-169.

12. Weiler A, Schmeling A, Stöhr I, Kääh MJ, Wagner M. Primary versus single-stage revision anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring tendon grafts: a prospective matched-group analysis. *Am J Sports Med* 2007; 35 (10): 1643-52.
13. Miller MD. Revision cruciate ligament surgery with retention of femoral interference screws. *Arthroscopy* 1998; 14 (1): 111-114.
14. Wagner M, Strobel M, Weiler A. Single staged ACL revision reconstruction using autologous hamstring tendons. *Tech Orthop* 2005; 20: 306-313.
15. Bach BR. Revisions anterior cruciate ligament surgery. *Arthroscopy* 2003; 19: 14-29.
16. Carson EW, Anisko EM, Restrepo C, Panariello RA, O'Brien SJ, Warren RF. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: etiology of failures and clinical results. *J Knee Surg* 2004; 17 (3): 127-132
17. Eberhardt C, Kurth AH, Hailer N, Jager A. Revision ACL reconstruction using autogenous patellar tendon graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000; 8 (5): 290-295.
18. Fox JA, Pierce M, Bojchuk J, Hayden J, Bush-Joseph CA, Bach BR. Revision anterior cruciate ligament reconstruction with nonirradiated fresh-frozen patellar tendon allograft. *Arthroscopy* 2004; 20 (8): 787-794.
19. Johnson DL, Swenson TM, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Pittsburgh. *Clin Orthop* 1996; 325: 100-109.
20. Kruger-Franke M, Buchner M, Rosemeyer B. Mid-term outcome after surgically managed re-rupture of the anterior cruciate ligament. *Unfallchirurg* 1997; 100 (4): 274-279.
21. Taggart TF, Kumar A, Bickerstaff DR. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: a midterm patient assessment. *Knee* 2004; 11 (1): 29-36.
22. Texier A, Hulet C, Acquitter Y, Tallier E, Locker B, Vielqeau C. Arthroscopy-assisted revision in failed reconstruction of anterior cruciate ligament: 32 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001; 87 (7): 653-660.

23. Woods GW, Fincher AL, O'Connor DP, Bacon SA. Revision anterior cruciate ligament reconstruction using the lateral third of the ipsilateral patellar tendon after failure of a central-third graft: a preliminary report on 10 patients. *Am J Knee Surg* 2001; 14 (1): 23-31.
24. Allen CR, Giffin JR, Harner CD. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Clin North Am* 2003; 34 (1): 79-98.
25. Brown CH Jr., Carson EW. Revision anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med* 1999; 18 (1): 109-171.
26. Fules PJ, Madhav RT, Goddard RK, Mowbray MA. Revision anterior cruciate ligament reconstruction using Autografts with a polyester fixation device. *Knee* 2003; 10 (4): 335-340.
27. Thomas NP, Kankate R, Wandless F, Pandit H. Revision anterior cruciate ligament reconstruction using a 2-stage technique with bone grafting of the tibial tunnel. *Am J Sports Med* 2005; 33 (11): 1701-1709.
28. Kartus J, Stener S, Lindahl S, Eriksson BI, Karlsson J. Ipsi- or contralateral patellar tendon graft in anterior cruciate ligament revision surgery. A comparison of two methods. *Am J Sports Med* 1998; 26 (4): 499-504.
29. Wirth CJ, Kohn D. Revision anterior cruciate ligament surgery. Experiences from Germany. *Clin Ortop* 1996; 325: 110-115.
30. Robson AW. Ruptured crucial ligaments and their repair by operation. *Ann Surg* 1903; 716-718.
31. Hesse E. Über den Ersatz der Kreuzbänder des Kniegelenkes durch freie Sehnenstreifen. *Verh Dtsch Ges Chir* 1914; 43: 188-189.
32. Hey Groves EW. Operation for repair of the crucial ligaments. *Lancet* 1917; 2: 674-675.
33. Jones KG. Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *J Bone Joint Surg* 1963; 45 A (5): 925-932.
34. Brückner H. Eine neue Methode zur Kreuzbandplastik. *Chirurg* 1966; 37: 413-419.



35. Kartus J, Magnusson L, Stener S, Brandsson S, Eriksson BI, Karlsson. Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction – A 2-5 year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999; 7: 2-8.
36. Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K. Graft site morbidity with autogenous Semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med* 1995; 23 (6): 706-714.
37. Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuk KD. Tension of human knee ligaments. *J Bone Joint Surg* 1976; 58 A (3): 350-355.
38. Jensen K, Klein W. Probleme und Komplikationen beim künstlichen Kreuzbandersatz. *Arthroskopie* 1990; 3: 15-23.
39. Cho KO. Reconstruction of the anterior cruciate ligament by semitendinosus tendodesis. *J Bone Joint Surg* 1975; 57 A (5): 608-612.
40. Edwards AH. Rupture and repair of the ACL. *Br J Surg* 1926; 13: 432-438.
41. Lindemann K. Über den plastischen Ersatz der Kreuzbänder durch gestielte Sehnenverpflanzung. *Z Orthop* 1950; 79: 316.
42. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligaments repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am* 1984; 66 (3): 344-352.
43. Pinczewski L, Clingeleffer A, Webb J, Corry I. A Comparison of endoscopic ACL reconstruction utilizing patellar tendon autograft and hamstring tendon autograft at 1 year. *J Bone Joint Surg* 1997; 79 B (SUPP IV): 394-394.
44. Aune AK, Holm I, Risberg MA, Jensen HK, Steen H. Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized study with two-year follow-up. *Am J Sports Med* 2001; 29 (6): 722-728.
45. Colombet P, Allard M, Bousquet V, de Lavigne C, Flurin PH, Lachaud C. Anterior cruciate ligament reconstruction using four-strand Semitendinosus and gracilis tendon grafts and metal interference screw fixation. *Arthroscopy* 2002; 14: 258.

46. Corry IS, Webb JM, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon Autograft and four-strand hamstring tendon Autograft. *Am J Sports Med* 1999; 27 (4): 444-454.
47. Hamner DL, Brown CH Jr., Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am* 1999; 81 (4): 549-557.
48. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P. Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1994; 22 (29): 211-217.
49. Fu FH, Ma CB. Anterior cruciate ligament reconstruction using quadruple hamstring. *Operat Techniques Orthop* 1999; 9: 264-272.
50. Rosenberg JD, Deffner KT. ACL reconstruction: Semitendinosus tendon is the graft of choice. *Orthopedics* 1997; 20: 396-398.
51. Stahelin AC, Weiler A. All-inside anterior cruciate ligament reconstruction using Semitendinosus tendon and soft threaded biodegradable interference screw fixation. *Arthroscopy* 1997; 13 (6): 773-779.
52. Strobel M. Vorderes Kreuzband. *Arthroskopische Chirurgie* 1998; Springer Berlin/Heidelberg, S. 361-463.
53. Schiebler TH, Schmidt W., Zilles K. *Anatomie*. 8. Auflage, 1999.
54. Strobel M., Stedtfeld HW, Eichhorn HJ. *Diagnostik des Kniegelenkes*. Springer, 1996.
55. Niemeyer O, Hierholzer G. *Anatomie & Biomechanik des Kniegelenkes*. *Op-Journal* 1995; 11:136-142.
56. Grüber J, Wolter D, Lierse W. Der vordere Kreuzbandreflex (LCA-Reflex). *Unfallchirurg* 1989; 89: 551-554.
57. Weber W. *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*. Dietrische Buchhandlung, Göttingen 1836.

58. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 1985; 67 (2): 257-262.
59. Petersen W, Tillmann B. Anatomie und Funktion des Kniegelenkes. *Der Orthopäde* 2002; 31: 710-718.
60. Zantop T, Herbort M, Fu FH. The role of anteromaedial and posterolateral bundle of the ACL in anterior tibial translation and internal rotation. Biomechanical analysis using robotic/UFS testing system. *Am J Sports Med* 2007; 35: 223-227.
61. Zantop T, Petersen W, Sekiya J, Musahl V, FU FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomic reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*; 2006; 14 (10): 982-992.
62. Lobenhoffer HP. Kniebandverletzungen I. Anatomie, Biomechanik, Diagnostik, Indikationsstellung. *Chirurg* 1999; 70: 219-230.
63. Petersen W, Tillmann B. Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol* 1999; 200 (3): 325-334.
64. Arnoczky SP. Blood supply to the anterior cruciate ligament and supporting structures. *Orthop Clin North Am* 1985; 16 (1): 15-28.
65. Putz R, Pabst R. Sobotta, Atlas der Anatomie, Band 1: Kopf, Hals und obere Extremität 2000; 21. Auflage, Urban & Fischer Verlag.
66. Fromm B, Kummer W. Nerve supply of anterior cruciate ligaments and of cryopreserved anterior cruciate ligament allograft: a new method for the differentiation of the nervous tissues. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994; 2: 118-122.
67. Halata Z, Haus J. The ultrastructure of sensory nerve endings in human anterior cruciate ligament. *Anat Embryol* 2007; 179: 415-421.
68. Hungervorst T, Brand RA. Current concepts review – Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg Am* 1998; 80: 1365-1378.

69. Lobenhoffer P. Chronic instability after posterior cruciate ligament injury. Tactics, techniques and results. Unfallchirurg 1999; 102: 824-838.
70. Agneskirchner JD, Burkart A, Imhoff AB. Mediale Gonarthrose und Knieinstabilität – Valgisierende Tibiakopfeosteotomie und Kreuzbandplastik in einem Eingriff. Z Orthop 2000; 138: 49.
71. Martinek V, Imhoff AB. Die kombinierte vordere und hintere Kreuzbandplastik – Technik und Ergebnisse der arthroskopischen gleichzeitigen Rekonstruktion. Zentralbl Chir 1998; 123: 1027-1032.
72. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD. Vorderes Kreuzband – was ist gesichert? Arthroskopie 2005; 18: 11-14.
73. Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossmann DJ, Kaufmann KR. Fate of ACL-injured patient. A prospective outcome study. Am J Sports Med 1994; 22: 632-644.
74. Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP. Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture – is sports activity a determining variable? Int J Sports Med 2001; 22: 304-309.
75. Murell ACG, Madalli S, Horovitz L, Oakley S, Russel FW. The effect of time course after anterior cruciate ligament injury in correlation with the meniscal and cartilage loss. Am J Sports Med 2001; 29: 9-14.
76. Müller W. Das Knie – Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. Springer Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1982.
77. Menschik A., Mechanik des Kniegelenkes. Teil 3. Sailer, Wien 1974.
78. Friedrich NF, Müller W, O'Brian WR. Zur funktionellen Anatomie der Kreuzbänder. Kniegelenk und Kreuzbänder von Jakob RP und Stäubli HU, 1990. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: S. 80-95.
79. Hassenpflug J, Blauth W, Rose D. Zum Spannungsverhalten von Transplantaten zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes – zugleich ein Beitrag zur Kritik an der „over-the-top“ – Technik. Unfallchirurg 1985; 85: 151-158.

80. Rauch G, Allzeit B, Gotzen L. Biomechanische Untersuchungen zur Zugfestigkeit des vorderen Kreuzbandes unter Berücksichtigung der Altersabhängigkeit. Unfallchirurg 1988; 91: 437-443.
81. Woo SLY, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur – anterior cruciate ligament – tibia complex. Am J Sports Med 1991; 19: 217-225.
82. Harrington IJ. A bioengineering analysis of force actions at the knee in normal and pathological gait. Biomed Mater Eng 1976; 11: 167-172.
83. Grood ES, Stowers SF, Noyes FR. Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. J Bone Joint Surg 1988; 70 (1): 88-97.
84. Andersson C, Odensten M, Gillquist J. Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with a long-term follow-up period. Clin Orthop Relat Res 1991, 264: 255-263.
85. Noyes DR, Bassett RW; Grood ES, Butler DL. Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee. Incidence of anterior cruciate tears and other injuries. J Bone Joint Surg Am 1980; 62 (5): 687-695, 757.
86. De Gruyter W. Pschyrembel – Klinisches Wörterbuch. 1998, 258. Auflage – Berlin.
87. Skoglund S. Joint receptors and kinaesthesia. Somatosensory system 1973; 2. Band: 111-136. Springer Verlag.
88. Zimny ML, Schutte M, Dabezies E. Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. Anat Rec 1986; 214 (2): 204-209.
89. Beart DJ, Kyberd PJ, O`connor JJ, Fergusson CM, Dodd CA. Reflex hamstring contraction latency in anterior cruciate ligament deficiency. J Orthop Res 1994; 12 (2): 219-228.
90. Grood ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. J Bone Joint Surg Am 1981; 63 (8): 1257-1269.

91. Helbing G. Verletzungen des Gelenkes. In: Jäger M, Wirth CJ. Praxis der Orthopädie, 1986. Thieme, Stuttgart: Seite 310-324.
92. Franke K. Epidemiology of knee injuries. In: Trickey L, Hertel P. Surgery and arthroscopy of the knee, 1984. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg.
93. Mc Conkey JP. Anterior cruciate ligament rupture in skiing. A new mechanism of injury. Am J Sports Med 1986, 14 (2): 160-164.
94. Johnson RJ. Epidemiology of knee ligament injuries in skiing. In: Fu F, Woo SL. Current concepts of knee ligament injuries 1992. 5<sup>th</sup> Annual Panther Sports medicine symposium, Pittsburgh.
95. Sandberg R, Balkfors B, Nilsson B, Westin N. Operative versus non-operative treatment of recent injuries to the ligaments of the knee. A prospective randomized study. J Bone Joint Surg 1987; 69 (8): 1120-1126.
96. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. J Am Acad Orthop Surg 2000; 8 (3): 141-150.
97. Imhoff AB, Martinek V, Oetli GM. Revisionschirurgie bei chronischer Knieinstabilität. In: Kohn D. Das Knie, 2000. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. Seite 174-179.
98. Kohn D, Schneider G, Dienst M, Rupp S. Diagnostik der vorderen Kreuzbandruptur. Orthopäde 2002; 31 (8): 719-730.
99. Oetli GM, Imhoff AB. Revision surgery in failed anterior cruciate ligament-plasty. Zentralbl Chir 1998; 123 (9): 1033-1039.
100. Wirth CJ, Kohn D. Der Revisionseingriff nach fehlgeschlagener vorderer Kreuzbandplastik. Orthopäde 1993; 22: 399-404.
101. Kohn D, Rupp S. Strategies for interventional revisions in failed anterior cruciate ligament reconstruction. Chirurg 2000; 71 (9): 1055-1065.
102. Martinek V, Imhoff AB. Revision of failed anterior cruciate ligament reconstruction. Orthopäde 2002; 31 (8): 778-784.
103. Steimer O, Gohm A, Benedetto KP. Revisionseingriffe nach vorderer Kreuzbandplastik. Arthroskopie 2004; 17: 81-86.
104. Azar FM. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. Instr Course Lect 2002; 51: 335-342.

105. Marks PH, Cameron M, Fu FH. Die Rekonstruktion der Kreuzbänder mit allogenen Transplantaten. Techniken, Ergebnisse und Perspektiven. *Orthopäde* 1993; 22: 386-391.
106. Getelman MH, Friedman MJ. Revision anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 1999; 7: 189-198.
107. Shelbourne KD, Patel DV. Timing of surgery in anterior cruciate ligament - injured knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1995; 3: 148-156.
108. Zacher J. Klinische Untersuchung des Kniegelenkes *Orthopäde und Unfallchirurg* 2006; 1: 33-56.
109. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med* 1976; 4: 84-91.
110. Galway RD, Beaupre A, MacIntosh DL. "Pivot Shift". A clinical sign of symptomatic anterior cruciate deficiency. *J Bone Joint Surg Br* 1972; 54: 763-764.
111. Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med* 1985; 13 (6): 401-407.
112. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 1982; 10 (3): 150-154.
113. Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM. The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1988; 70 (10): 1479-1483.
114. Howell SM, Taylor MA. Failure of reconstruction of the anterior cruciate ligament due to impingement by the intercondylar roof. *J Bone Joint Surg Am* 1993; 75 (7): 1044-1055.
115. Wagner M, Scheffler SU, Weiler A. Revisionsersatz des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 2007; 20: 139-149.
116. Casteleyn P, Handelberg F. Non-operative management of anterior cruciate ligament injuries in the general population. *J Bone Joint Surg Br* 1996; 78 (3): 446-551.
117. Yoshiya S, Nagano M, Kurosaka M, Muratsu H, Mizuno K. Graft healing in the bone tunnel in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2000; 376: 278-286.

118. Brand J, Weiler A, Caborn DN, Brown CH, Johnson DL. Graft fixation in cruciate ligament reconstruction: Current concepts. *Am J Sports Med* 2000; 28 (5): 761-774.
119. Scheffler SU, Sudkamp NP, Gockenjan A, Hoffmann RF, Weiler A. Biomechanical comparison of hamstring and patellar tendon graft anterior cruciate ligament reconstruction techniques: The impact of fixation level and fixation method under cyclic loading. *Arthroscopy* 2002; 18 (3): 304-315.
120. Oetli GM, Imhoff AB. Die kombinierte vordere und hintere Kreuzbandplastik – Technik und Ergebnisse der arthroskopischen gleichzeitigen Rekonstruktion. *Chirurg* 1998; 123: 1027-1032.
121. Höher J, Tiling T. Differential transplant selection in cruciate ligament surgery. *Chirurg* 2000; 71 (9): 1045-54.
122. Aglietti P, Zaccherotti G, Simeone AJ, Buzzi R. Anatomic versus non-anatomic tibial fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone graft. *Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6 (1): 43-48.
123. Bernard M, Hertel P. Intraoperative and postoperative insertion control of anterior cruciate ligament-plasty. A radiologic measuring method (quadrant method). *Unfallchirurg* 1996; 99 (5): 332-340.
124. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 1997; 10 (1): 14-21.
125. Howell SM. Principles for placing the tibial tunnel and avoiding roof impingement during reconstruction of a torn anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6: 49-55.
126. Yunes M, Richmond JC, Engels EA, Pinczewski LA. Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Arthroscopy* 2001; 17 (3): 248-257.
127. Weiler A, Scheffler SU, Sudkamp NP. Current aspects of anchoring hamstring tendon transplants in cruciate ligament surgery. *Chirurg* 2000; 71 (9):1034-44.
128. Wilson TW, Zafuta MP, Zobitz M. A biomechanical analysis of matched bone-patellar tendon-bone and double-looped semitendinosus and gracilis tendon grafts. *Am J Sports med* 1999; 27 (2): 202-207.



129. Weiler A, Unterhauser FN, Faensen B, Hunt P, Bail H, Haas NP. Comparison of tendon-to-bone healing using extracortical and anatomic interference fit fixation of soft tissue grafts in a sheep model of ACL reconstruction. 48th Annual Meeting, Orthopedic Research Society, Dallas, 2002.
130. Morgan CD, Kalmam VR, Grawl DM. Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited. *Arthroscopy* 1995; 11 (6): 647-659.
131. Wagner M, Scheffler SU, Weiler A. Vorderer Kreuzbandersatz: Verankerung des Transplantates. *Arthroskopie* 2005; 18 (1): 27-35.
132. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6 (4): 231-240.
133. Weiler A, Hoffmann RF, Stähelin AC, Helling HJ, Südkamp NP. Biodegradable implants in sports medicine: the biological base. *Arthroscopy* 2000; 16 (3): 305-321.
134. Scheffler SU, Petersen W, Weiler A. Fixation von Kreuzbandtransplantaten. *Arthroskopie* 2007; 20: 105-114.
135. Weiler A, Hoffmann RF, Beil HJ, Rehm O, Südkamp NP. Tendon healing in a bone tunnel. Part II: Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy* 2002; 18 (2): 124-135.
136. Zysk SP, Fraunberger P, Veihelmann A, Dorger M, Kalteis T, Maier M, Pellingahr C, Refior HJ. Tunnel enlargement and changes in synovial fluid cytokine profile following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Traumatol Arthrosc* 2004; 12 (2): 98-103.
137. Strobel MJ, Weiler A. Chronische Kniestabilität. In: Kohn D. *Das Knie*, 2000. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. Seite 263-320.
138. Coleridge SD, Amis AA. A comparison of five tibial-fixation systems in hamstring-graft anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Traumatol Arthrosc* 2004; 12 (5): 391-397.
139. Weiler A, Hoffmann RF, Stähelin AC, Bail HJ, Siepe CJ, Südkamp NP. Hamstring tendon fixation using interference screws: a biomechanical study in calf tibial bone. *Arthroscopy* 1998; 14 (1): 29-37.

140. Südkamp NP, Stähelin AC, Wagner M, Weiler A. A new technique for anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons and biodegradable interference screws. *Arthroscopy* 2000; 13: 280-286.
141. Weiler A, Windhagen HJ, Raschke MJ, Laumeier A, Hoffmann RF. Biodegradable interference screw fixation exhibits pull-out force and stiffness similar to titanium screws. *Am J Sports Med* 1998; 26 (1): 119-126.
142. Zantop T, Weimann A, Schmidtke R, Herbort M, Raschke MJ, Petersen W. Graft laceration and pullout strength of soft-tissue anterior cruciate ligament reconstruction: in vitro study comparing titanium, poly-d,l-lactide, and poly-d,l-lactide-tricalcium phosphate screws. *Arthroscopy* 2006; 22 (11): 1204-1210.
143. Fellingner M, Passler JM, Wilburger R, Hofer HP. Komplikationen und mögliche Fehlerquellen bei der Anwendung von Interferenzschrauben in der arthroskopischen Kreuzbandchirurgie. *Arthroskopie* 1993; 6: 33-38.
144. Weiler A, Richter M, Schmidmaier G, Kandziora F, Südkamp NP. The EndoPearl device increases fixation strength and eliminates construct slippage of hamstring tendon grafts with interference screw fixation. *Arthroscopy* 2001; 17 (4): 353-359.
145. Weimann A, Zantop T, Herbort M, Strobel M, Petersen W. Initial fixation strength of a hybrid technique for femoral ACL graft fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14 (11): 1122-1129.
146. Arneja S, Froese W, Mac Donald P. Augmentation of femoral fixation in hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with a bioabsorbable bead: a prospective single-blind randomized clinical trial. *Am J Sports Med* 2004; 32 (1): 159-163.
147. Bös L, Ellermann A. Arthroskopische Diagnostik von Knorpelschäden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2003; 6: 181-183.
148. Mann HB, Whitney DR. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann Math Statist* 1996; 18: 50-60.
149. Greis PE, Steadman JR. Revision of failed prosthetic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Res Rel* 1996; 325: 78-90.
150. Noyes FR, Barber-Westin SD. Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Cincinnati. *Clin Orthop Res Rel* 1996; 325: 116-129.

151. Uribe JW, Hechtman KS, Zvijac JE, Tjin-A-Tsoi EW. Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Miami. *Clin Orthop Res Rel* 1996; 325: 91-99.
152. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med* 2003; 31 (1): 2-11.
153. Roe J, Pinczewski LA, Russell VJ, Salmon LJ, Kawamata T, Chew M. A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: differences and similarities. *Am J Sports Med* 2005; 33 (9): 1337-1345.
154. Howell SM, Clark JA. Tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstructions and graft impingement. *Clin Orthop Res Res* 1992; 283: 187-195.
155. Jaureguito J, Paulos L. Why grafts fail. *Clin Orthop Res Rel* 1996; 325: 25-41.
156. Ritchie JR, Parker RD. Graft selection in anterior cruciate ligament revision surgery. *Clin Orthop Res Rel* 1996; 325: 65-77.

## 8. **Abbildungsverzeichnis**

### Abbildung 1 A-B:

A Tunnellage (Zone 1) <sup>11</sup> (Schrauben grob fehlpositioniert), B korrekte Tunnelpositionierung <sup>12</sup>. 9

### Abbildung 2:

Horizontalschnitt proximal der Meniskusebene <sup>54</sup>. 12

### Abbildung 3:

Blutversorgung des Kniegelenkes <sup>65</sup>. 14

### Abbildung 4:

Die "überschlagene Viergelenkkette" in Extension, in Anlehnung an Strobel <sup>54</sup>. 15

### Abbildung 5:

Konstruktion der Burmester-Kurve (schematisch), aus Strobel <sup>54</sup>. 16

### Abbildung 6:

Lachman-Test Translation der Tibia nach ventral bei 20-30° flektiertem Kniegelenk. 21

### Abbildung 7:

Stabiler passiver Lachman-Test mit untergelagertem Oberschenkel.  
Verbesserte Lagerung des verletzten Kniegelenkes in 20-30° Flexion. 22

### Abbildung 8:

Pivot-Shift-Test. 22

### Abbildung 9:

Pivot-Shift Test. 23

### Abbildung 10:

Schematische Skizze des KT-1000 Arthrometer und klinische Untersuchung. 24

### Abbildung 11:

Klinische Untersuchung mit dem KT-1000 Arthrometer. 24

Abbildung 12:

Lysholm-Score, aus „Das Knie“ von Dieter Kohn, 2000 Georg Thieme Verlag  
Stuttgart, New York <sup>97</sup>. 26

Abbildung 13:

IKDC-Score, aus „Das Knie“ v. Dieter Kohn, 2000 Georg Thieme  
Verlag Stuttgart, New York <sup>97</sup>. 27

Abbildung 14:

Präoperative Röntgenbilder eines Revisionspatienten: p.a. 45°- Knie beidseits und  
rechte Knie in seitlicher Hyperextension. 28

Abbildung 15 A-D:

A: In situ Entnahme eines Patellarsehnentransplantates. B: BPTB = Bone Patellar  
Tendon Bone Transplantat. C: In situ Entnahme eines Hamstringtransplantates.  
D: Fertiges Semitendinosus-Transplantat mit kranialer EndoPearl®. 30

Abbildung 16:

Schematische Darstellung der proximalen Quadricepssehnenentnahme  
und allogenes Quadricepssehnenentransplantat mit kaudalem Knochenblock. 31

Abbildung 17 A-C:

A: Arthroskopische Sicht eines intakten VKB. B: Arthroskopische Sicht eines ersetzten  
VKB's. C: Länge des Transplantates zwischen den Verankerungen in Abhängigkeit von  
der Fixationsmethode. 32

Abbildung 18 A-D:

Verankerungsprinzipien. A: Komplett extrakortikale bzw. nichtanatomische Veranke-  
rung mit Kortikalisschraube und Unterlegscheibe (femoral direkt, tibial indirekt).  
B: Komplett extrakortikale bzw. nichtanatomische und indirekte Verankerung mit  
Fixationsbutton femoral und Kortikalisschraube mit Unterlegscheibe tibial.  
C: Interferenzschraubenverankerung femoral anatomisch und tibial semianatomisch.  
D: All-inside-Rekonstruktion mit anatomischer Interferenzschraubenverankerung femoral  
und tibial <sup>127</sup>. 33

Abbildung 19 A-B:

A: Schematische Darstellung vom Scheibenwischerphänomen und „Bungee-cord-Effekt“.  
B: Von Synovia umspültes Transplantat als Zeichen einer insuffizienten  
ossären Transplantatintegration als mögliche Folge der in „A“ genannten Effekte <sup>134</sup>. 34

Abbildung 20 a-d:

Unterschiedliche Interferenzschrauben: a aus Titan, b aus PLLA, c Interferenzschraube aus  
Trikalziumphosphat, d perforierte Schraube aus Poly-(L-co-D, L-Laktid), Mega Fix,  
Karl Storz <sup>134</sup>. 35

Abbildung 21:

Unter arthroskopischer Sicht Entfernung einer bioresorbierbaren Interferenzschraube  
aus dem femoralen Transplantattunnel. 36

Abbildung 22:

Übersicht über die verschiedenen femoralen und tibialen Hybridfixationsvarianten <sup>131</sup>. 37

Abbildung 23 A-C:

A: Femorale Hybridfixation mit Endopearl, B: Einzug eines mit  
einer Endopearl versehenen Transplantates, C: MRT einer femoralen Hybridfixation,  
die Perle stützt sich auf die Schraube <sup>134</sup>. 38

Abbildung 24 A-B:

A: Computertomografische Darstellung vom Ausmaß möglicher Tunnelerweiterungen  
nach primären VKB-Ersatz. B: Konventionell radiologische Darstellung von Tunnel-  
erweiterungen nach primärem VKB-Ersatz. 39

Abbildung 25:

Bereits verwendete Transplantattypen (N = 50). 42

Abbildung 26:

Fehleranalyse des primären vorderen Kreuzbandersatzes der 50 Revisionen. 42

Abbildung 27:

Tabellarische Gegenüberstellung der beiden Patientenkollektive. 44

Abbildung 28:

Lagerung des zu operierenden Kniegelenkes auf dem Operationstisch. 45

Abbildung 29:

Hautschnitt und intraoperative Hamstringsehnenentnahme des rechten Kniegelenkes. 45

Abbildung 30 A-C:

A: Anatomische Darstellung des Pes anserinus, von medial auf das rechte Kniegelenk. B und C: Entnahme der Sehne mittels eines Sehnenstrippers schematisch und intraoperativ dargestellt. 46

Abbildung 31 A-B:

A: 4-fach Bündelung des Transplantates mit Hilfe von Ethibond Haltefäden und Einspannen des Transplantates ins Sehnenboard. B: 4-fach gebündeltes Transplantat mit proximaler Endopearl. 46

Abbildung 32:

Überbohren des femoralen Drahtes mit kanüliertem Bohrer. 47

Abbildung 33 A-B:

A: Transplantateinzug in situ rechts. B: Arthroskopische Sicht des Transplantates im femoralen Tunnel und femorale Transplantatfixierung mittels einer bioresorbierbaren Interferenzschraube. 48

Abbildung 34:

Arthroskopische und radiologische Darstellung einer Divergenz des alten und neuen femoralen Tunnels. a = alter Tunnel, n = neuer Tunnel. 49

Abbildung 35:

Klassifikation zur Einteilung von Knorpelschäden nach Outerbridge, entnommen aus der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin <sup>147</sup>. 50

Abbildung 36:

Anterior fehlpositionierter femoraler und tibialer Tunnel im Röntgen und im arthroskopischen Bild sowie mediale Degeneration. (Pfeile zeigen die Tunnel). 51

Abbildung 37 A-C:

A: Korrekter femoraler und tibialer Tunnel; B: inkorrekt femoraler und tibialer Tunnel; C: inkomplett inkorrekte Tunnelplatzierung<sup>12</sup>. 52

Abbildung 38:

Funktionelle Orthese (Firma DonJoy, Freiburg, Germany). 54

Abbildung 39:

Präoperative Daten des IKDC-Score beider Patientenkollektive. 56

Abbildung 40:

Präoperative ap-Translation (mm, KT-1000) beider Patientenkollektive. 57

Abbildung 41:

Postoperative IKDC-Score. 58

Abbildung 42:

Postoperative KT-1000-Arthrometermessung. 59

Abbildung 43:

Präoperative Daten des Lysholm-Score beider Patientenkollektive im Vergleich. 60

Abbildung 44:

Daten des postoperativen Lysholm-Score. 61



## 9. Anhang

### 9.1. IKDC-FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

U1 - praeoperativ

Name des Patienten \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_  
Tag Monat Jahr

Geschlecht: ( ) W ( ) M Alter: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_  
Tag Monat Jahr

Körpergröße: \_\_\_\_\_ m Gewicht: \_\_\_\_\_ kg Beruf: \_\_\_\_\_

Sport: 1.) \_\_\_\_\_ 2.) \_\_\_\_\_

Betr.Knie: ( ) rechts / ( ) links Standbein : ( ) rechts / ( ) links

Contralateral normal : ( ) ja / ( ) nein

Unfallursache: \_\_\_\_\_ Unfalldatum : \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_  
Alltag ( ) Tag Monat Jahr

Straßenverkehr ( )

Sport mit Gegnerkontakt ( )

Sport ohne Gegnerkontakt ( )

#### Frühere Operationen

Arthroskopie ( Datum ) \_\_\_\_\_

Meniskektomie ( Diagn. ) \_\_\_\_\_

Stabilisation ( Verfahren ) \_\_\_\_\_

#### Aktivität

vor Unfall vor OP

-Starke Aktivität ( ) ( )  
(springen, sich drehen)

-Moderate Aktivität ( ) ( ) Tegner-Skala ( )  
(Skifahren,Tennis)

-Leichte Aktivität ( ) ( )  
(jogging,rennen)

-ATL's ( ) ( )

Allgemeine Laxizität: ( ) verminderte Laxizität ( ) normal ( ) erhöhte Laxizität

Beinachse: ( ) eindeutig Varus ( ) normal ( ) eindeutig Valgus

Patellastellung: ( ) baja ( ) infera ( ) normal ( ) alta

Subluxation/Dislokation

der Patella: ( ) zentriert ( ) sublaxierbar ( ) sublaxiert ( ) disloziert

Muskelatrophie (in cm) rechts links

20 cm prox. PM: \_\_\_\_\_

10 cm prox. PM: \_\_\_\_\_

PM: \_\_\_\_\_

15 cm dist. PM: \_\_\_\_\_

Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung):

Betroffene Seite:

passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Normale Seite: passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### SIEBEN GRUPPEN

### VIER GRADE

A	B	C	D
Normal	Fast	Abnormal	Deutlich
	Normal		Abnormal

1. Erguß ( ) kein ( ) leicht ( ) mäßig ( ) deutlich

2. Passives Bewegungsdefizit

Streckdefizit < 3° 3-5° 6-10° > 10°

Beugedefizit < -5° 6-15° 16-25° > 25°

3. Ligamentuntersuchung

(manuell, instrumentell, Röntgen)

Lachman Test(25° Beugung) ( ) 1-2mm ( ) 3-5° ( ) 6-10° ( ) >10mm

vorderer Endpunkt: ( ) fest ( ) unsicher

Gesamt AP-Translation (25°) ( ) 0-2mm ( ) 3-5mm ( ) 6-10mm ( ) >10mm

Gesamt AP-Translation (70°) ( ) 0-2mm ( ) 3-5mm ( ) 6-10mm ( ) >10mm

Hintere Schublade (70°) ( ) 0-2mm ( ) 3-5mm ( ) 6-10mm ( ) >10mm

Valgusstress	( )0-2mm ( )3-5mm ( )6-10mm ( )>10mm
Varusstress	( )0-2mm ( )3-5mm ( )6-10mm ( )>10mm
Außenrotationstest (30°)	( )0-2mm ( )3-5mm ( )6-10mm ( )>10mm
Außenrotationstest (90°)	( )0-2mm ( )3-5mm ( )6-10mm ( )>10mm
Pivot shift	( )gleich ( )+ Gleiten ( )++ ( )+++
Reversed pivot shift	( )gleich ( )Gleiten ( )erkennbar ( ) ausgeprägt

KT 1000

	rechts	links
30 lbs=134N	_____	_____
Manual Maximum	_____	_____

4. Kompartimentbefunde

Krepitation anterior (PF)	( )kein ( )mäßig ( )leichter ( )> leichter Schmerz
Krepitation mediales Komp.	( )kein ( )mäßig ( )leichter ( )> leichter Schmerz
Krepitation laterales Komp.	( )kein ( )mäßig ( )leichter ( )> leichter Schmerz

5. Transplantatentnahmemorbidity ( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich

6. Röntgenbefund:

medialer Gelenkspalt	( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich
lateral Gelenkspalt	( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich
Femoropatellar-Gelenk	( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich
Vorderer Gelenkspalt (sagittal)	( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich

7. Funktionstest

Hüpfen auf einem Bein ( )> 90% ( )76-89% ( )50-75% ( )< 50%  
(in % der gegenüberliegenden Seite)

\*\* Abschlußbeurteilung ( ) ( ) ( ) ( )

\* Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

\*\* Endbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Endbeurteilung nach dem schlechteren

Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen. Bei einer

Endbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert.

Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

## 9.2. IKDC-FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

U2 – 3 Monate postoperativ

Name des Patienten \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_.  
 Tag Monat Jahr

Geschlecht: ( ) W ( ) M Alter: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_.  
 Tag Monat Jahr

### Aktivität

### postoperativ

-Starke Aktivität ( )

(springen, sich drehen)

-Moderate Aktivität ( )

(Skifahren, Tennis)

Tegner-Skala ( )

-Leichte Aktivität ( )

(jogging, rennen)

-ATL's ( )

Allgemeine Laxizität: ( ) verminderte Laxizität ( ) normal ( ) erhöhte Laxizität

Beinachse: ( ) eindeutig Varus ( ) normal ( ) eindeutig Valgus

Patellastellung: ( ) baja ( ) infera ( ) normal ( ) alta

Subluxation/Dislokation

der Patella: ( ) zentriert ( ) subluxierbar ( ) subluxiert ( ) disloziert

Muskelatrophie (in cm)	rechts	links
20 cm prox. PM:	_____	_____
10 cm prox. PM:	_____	_____
PM:	_____	_____
15 cm dist. PM:	_____	_____

Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung): Betroffene Seite: passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
 Normale Seite: passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**SIEBEN GRUPPEN**

**VIER GRADE**

A	B	C	D
Normal	Fast	Abnormal	Deutlich

1. Erguß ( ) kein ( ) leicht ( ) mäßig ( ) deutlich

2. Passives Bewegungsdefizit

Streckdefizit	< 3°	3-5°	6-10°	> 10°
Beugedefizit	<-5°	6-15°	16-25°	> 25°

3. Ligamentuntersuchung

(manuell, instrumentell, Röntgen)

Lachman Test(25° Beugung)	( ) 1-2mm	( ) 3-5°	( ) 6-10°	( ) >10mm
vorderer Endpunkt:	( ) fest		( ) unsicher	
Gesamt AP-Translation (25°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Gesamt AP-Translation (70°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Hintere Schublade (70°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Valgusstress	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Varusstress	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Außenrotationstest (30°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Außenrotationstest (90°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Pivot shift	( ) gleich	( ) + Gleiten	( ) ++	( ) +++
Reversed pivot shift	( ) gleich	( ) Gleiten	( ) erkennbar	( ) ausgeprägt

KT 1000

	rechts	links
30 lbs=134N	_____	_____
Manual Maximum	_____	_____

4. Kompartimentbefunde

Krepitation anterior (PF)	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz
Krepitation mediales Komp.	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz
Krepitation laterales Komp.	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz

5. Transplantatentnahmemorbidity ( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich

6. Röntgenbefund:

medialer Gelenkspalt	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
lateral Gelenkspalt	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Femoropatellar-Gelenk	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Vorderes Gelenkspalt (sagittal)	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich

7. Funktionstest

Hüpfen auf einem Bein ( )> 90% ( )76-89% ( )50-75% ( )< 50%  
(in % der gegenüberliegenden Seite)

\*\* Abschlußbeurteilung ( ) ( ) ( ) ( )

\* Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

\*\* Endbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Endbeurteilung nach dem schlechteren

Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen.

Bei einer

Endbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert.

Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

### 9.3. IKDC-FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

U5 – 24 Monate postoperativ

Name des Patienten \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_.  
 Tag Monat Jahr

Geschlecht: ( ) W ( ) M Alter: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_.  
 Tag Monat Jahr

#### 9.3.1. Aktivität postoperativ

-Starke Aktivität ( )

(springen, sich drehen)

-Moderate Aktivität ( )

(Skifahren, Tennis)

Tegner-Skala ( )

-Leichte Aktivität ( )

(jogging, rennen)

-ATL's ( )

Allgemeine Laxizität: ( ) verminderte Laxizität ( ) normal ( ) erhöhte Laxizität

Beinachse: ( ) eindeutig Varus ( ) normal ( ) eindeutig Valgus

Patellastellung: ( ) baja ( ) infera ( ) normal ( ) alta

Subluxation/Dislokation

der Patella: ( ) zentriert ( ) subluxierbar ( ) subluxiert ( ) disloziert

Muskelatrophie (in cm) rechts links

20 cm prox. PM: \_\_\_\_\_

10 cm prox. PM: \_\_\_\_\_

PM: \_\_\_\_\_

15 cm dist. PM: \_\_\_\_\_

Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung): Betroffene Seite: passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
 Normale Seite: passiv \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**10. SIEBEN GRUPPEN**

**VIER GRADE**

A	B	C	D
Normal	Fast	Abnormal	Deutlich
Normal		Abnormal	

1. Erguß ( ) kein ( ) leicht ( ) mäßig ( ) deutlich

2. Passives Bewegungsdefizit

Streckdefizit	< 3°	3-5°	6-10°	> 10°
Beugedefizit	<-5°	6-15°	16-25°	> 25°

3. Ligamentuntersuchung

(manuell, instrumentell, Röntgen)

Lachman Test(25° Beugung)	( ) 1-2mm	( ) 3-5°	( ) 6-10°	( ) >10mm
vorderer Endpunkt:	( ) fest		( ) unsicher	
Gesamt AP-Translation (25°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Gesamt AP-Translation (70°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Hintere Schublade (70°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Valgusstress	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Varusstress	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Außenrotationstest (30°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Außenrotationstest (90°)	( ) 0-2mm	( ) 3-5mm	( ) 6-10mm	( ) >10mm
Pivot shift	( ) gleich	( ) + Gleiten	( ) ++	( ) +++
Reversed pivot shift	( ) gleich	( ) Gleiten	( ) erkennbar	( ) ausgeprägt

KT 1000

	rechts	links
30 lbs=134N	_____	_____
Manual Maximum	_____	_____



#### 4. Kompartimentbefunde

Krepitation anterior (PF)	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz
Krepitation mediales Komp.	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz
Krepitation laterales Komp.	( )kein	( )mäßig	( )leichter	( )> leichter Schmerz

5. Transplantatentnahmemorbidity ( )kein ( )mäßig ( )mäßig ( )deutlich

#### 6. Röntgenbefund:

medialer Gelenkspalt	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
lateral Gelenkspalt	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Femoropatellar-Gelenk	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Vorderer Gelenkspalt (sagittal)	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	( )kein	( )mäßig	( )mäßig	( )deutlich

#### 7. Funktionstest

Hüpfen auf einem Bein ( )> 90% ( )76-89% ( )50-75% ( )< 50%  
(in % der gegenüberliegenden Seite)

\*\* Abschlußbeurteilung ( ) ( ) ( ) ( )

\* Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

\*\* Endbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Endbeurteilung nach dem schlechteren

Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen. Bei einer

Endbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert.

Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

#### 9.4. FRAGEBOGEN ZUR BEURTEILUNG IHRES GEGENWÄRTIGEN GESUNDHEITSZUSTANDES (SF36)

Bitte beantworten Sie die Fragen in Ruhe und markieren sie die entsprechende Antwort. Bei Unklarheiten fragen Sie bitte Ihren Arzt oder das Pflegepersonal

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_

Aktuelles Datum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ Unfalltag: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_

1. Wie würden Sie Ihren allgemeinen Gesundheitszustand beurteilen:

hervorragend       sehr gut       gut       mäßig       schlecht

2. Wie würden Sie Ihren derzeitigen Allgemeinzustand im Vergleich zu Ihrem Zustand vor einem Jahr beurteilen?

viel besser als vor einem Jahr       etwas besser als vor einem Jahr  
 etwa genauso wie vor einem Jahr       etwas schlechter als vor einem Jahr  
 viel schlechter als vor einem Jahr

3. Es folgt eine Liste von Aktivitäten, die an einem typischen Tag anfallen können. Werden Sie bei diesen Aktivitäten durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand eingeschränkt? Wenn ja, in welchem Umfang?

	Ja, sehr eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nichteingeschränkt
--	---------------------------	----------------------------	---------------------------------------

a. Anstrengende Aktivitäten wie Laufen, schwere Gegenstände heben, an anstrengenden Sportarten teilnehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------

b. Mäßig anstrengende Aktivitäten wie z.B. einen Tisch umstellen, staubsaugen, Kegeln oder Golf spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------

c. Lebensmittel hochheben oder tragen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

d. Mehrere Treppen hochsteigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

- |   |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|
| e. Eine Treppe hochsteigen                    | ( ) | ( ) | ( ) |
| f. Sich bücken, knien oder in die Hocke gehen | ( ) | ( ) | ( ) |
| g. Mehr als 1,5 km gehen                      | ( ) | ( ) | ( ) |
| h. Mehrere Straßenblöcke gehen                | ( ) | ( ) | ( ) |
| i. Einen Straßenblock gehen                   | ( ) | ( ) | ( ) |
| h. Sich baden oder anziehen                   | ( ) | ( ) | ( ) |

4. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Verfassung Schwierigkeiten bei Ihrer Arbeit oder bei anderen normalen täglichen Aktivitäten? Bitte Zutreffendes ankreuzen.

- |  | JA  | NEIN |
|--|-----|------|
| Ich mußte die für meine Arbeit oder andere Aktivitäten vorgesehene Zeit reduzieren                                     | ( ) | ( )  |
| Ich konnte nicht soviel leisten, wie ich wollte.   | ( ) | ( )  |
| Ich war in meiner Arbeit oder in anderen Aktivitäten eingeschränkt.  | ( ) | ( )  |
| Ich hatte Schwierigkeiten, meine Arbeit oder andere Aktivitäten auszuführen (Ich mußte mich z.B. besonders anstrengen) | ( ) | ( )  |

5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme Schwierigkeiten bei Ihrer Arbeit oder bei anderen normalen täglichen Aktivitäten? Sie waren z. B. deprimiert oder unruhig. Bitte Zutreffendes ankreuzen.

- |  | JA  | NEIN |
|--|-----|------|
| a. Ich mußte die für meine Arbeit oder andere Aktivitäten vorgesehene Zeit reduzieren.                                     | ( ) | ( )  |
| b. Ich konnte mir nicht soviel leisten, wie ich wollte.  | ( ) | ( )  |
| c. Ich habe meine Arbeit oder anderen Aktivitäten nicht so sorgfältig wie gewöhnlich ausgeführt.                           | ( ) | ( )  |
| d. Ich hatte Schwierigkeiten, meine Arbeit oder andere Aktivitäten auszuführen (Ich musste mich z.B. besonders anstrengen) | ( ) | ( )  |
| Ich hatte Schwierigkeiten, meine Arbeit oder andere Aktivitäten  |     |      |

6. Inwieweit haben Ihre körperliche Verfassung oder seelische Probleme Ihre normalen gesellschaftlichen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen in den vergangenen 4 Wochen beeinträchtigt?

überhaupt nicht    etwas    mäßig stark    ziemlich stark    extrem stark

7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen vier Wochen?

keine Schmerzen    sehr gering    gering    mäßig stark    stark    sehr stark

8. Inwieweit wurde Ihre normale Arbeit (Arbeit außerhalb des Hauses und Hausarbeit) in den vergangenen 4 Wochen durch Ihre Schmerzen beeinträchtigt?

überhaupt nicht    etwas    mäßig stark    ziemlich stark    extrem stark

9. Die folgenden Fragen betreffen Ihren Gemüts- und Allgemeinzustand in den vergangenen 4 Wochen. Kreuzen Sie bitte für jede Frage die Antwort an, die Ihre Situation am besten beschreibt. Wie oft hatten Sie dieses Gefühl in den vergangenen 4 Wochen?

Immer	Fast immer	Ziemlich oft	Manchmal	Gelegentlich	Nie
Waren Sie voller Schwung und Elan?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Waren Sie sehr nervös?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Waren Sie ruhig und gelassen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hatten Sie viel Energie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fühlten Sie sich niedergeschlagen und traurig?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fühlten Sie sich erschöpft?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Waren Sie glücklich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fühlten Sie sich müde?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Wie häufig wurden Ihre gesellschaftlichen Aktivitäten (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) in den vergangenen 4 Wochen durch Ihre körperliche Verfassung oder seelischen Probleme beeinträchtigt?

Immer    Fast immer    ziemlich häufig    Gelegentlich    Nie

11. Inwieweit sind die folgenden Aussagen in Bezug auf Ihre Person RICHTIG oder FALSCH?

	Unbedingt überwiegend Richtig	  richtig	überwiegend Unbedingt nicht	  falsch	Ich weiß  falsch
a. Ich glaube, ich bin etwas krank- heitsanfälliger als andere Leute	( )	( )	( )	( )	( )
b. Ich bin so gesund wie jeder andere.	( )	( )	( )	( )	( )
c. Ich erwarte, daß sich mein Gesundheitszustand verschlechtert.	( )	( )	( )	( )	( )
d. Mein Gesundheitszustand ist ausgezeichnet.	( )	( )	( )	( )	( )

### **Erklärung an Eides Statt**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl oder Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten. Weitere Personen waren an der schriftlichen Ausarbeitung der vorliegenden Dissertation nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwertige Leistungen für Arbeiten erhalten, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

