

Aus dem Zentrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Radiologische Diagnostik der hinteren
Kreuzbandläsion – Eine vergleichende Studie
verschiedener Röntgentechniken –

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Carsten Joachim Reinhardt

aus Leipzig.

Gutachter : 1. Priv.-Doz. Dr. med. A. Weiler
 2. Prof. Dr. Ing. G.N. Duda
 3. Prof. Dr. med. W. Petersen

Datum der Promotion: 16.05.2010

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis.....	1
2. Einleitung.....	2
2.1. Epidemiologie.....	3
2.2. Anatomie des hinteren Kreuzbandes	4
2.3. Biomechanik und Pathobiomechanik	10
2.4. Die Verletzungsmechanismen.....	13
2.5. Symptome der HKB Läsion	14
2.6. Klassifikation der hinteren Kreuzbandläsionen.....	16
2.7. Klinische Untersuchung	16
2.7.1. Posterior Drawer Test	17
2.7.2. Godfrey Test	17
2.7.3. „Step off“ Test	18
2.7.4. Hyperextensionstest	19
2.7.5. Weitere Untersuchungstechniken	19
2.8. Apparative Diagnostik	20
2.8.1. Radiologische Diagnostik.....	20
2.8.2. Arthrometer, KT1000	21
2.8.3. Magnet Resonanz Tomographie (MRT).....	23
2.8.4. Arthroskopie.....	26
2.8.5. Sonographie.....	28
2.8.6. Gehaltene Röntgenaufnahmen	29
2.9. Fixierte hintere Schublade (FHS)	31
2.10. Therapie der hinteren Kreuzbandruptur	33
2.10.1. Konservative Therapie.....	33
2.10.2. Operative Therapie.....	34
Kombinierte frische HKB – und VKB – Ruptur	34
Chronische Läsionen	34
Transplantatmaterial	36
Bevorzugte Operationstechniken	36
2.11. Fragestellung und Ziel der Arbeit	38
3. Material und Methoden	39

3.1. Material	39
3.1.1. Patienten	39
3.1.2. Röntgengerät.....	41
3.2. Methoden.....	42
3.2.1. Vergleich der Röntgentechniken.....	42
3.2.1.1. Auswertungstechniken der lateralen Knieaufnahmen	43
3.2.1.2. Telos	44
3.2.1.3. Gravity sag.....	46
3.2.1.4. Kneeling View	47
3.2.1.5. Chassaing View	49
3.2.1.6. Puddu View.....	50
3.2.2. Vergleich der Techniken mit dem Telos Gerät.....	52
3.2.3. Subluxationsindex nach Rosenberg et al.	52
3.2.4. Femurkondylenabstand	53
3.2.5. Datenerfassung, Datenanalyse, Statistik.....	54
4. Ergebnisse.....	55
4.1. Gesamter Seitenunterschied	55
4.2. Absolut gemessene Schubladen.....	56
4.3. Rotationsabhängiger Seitenunterschied	57
4.4. Femurkondylenabstand	59
4.5. Röntgenzeit.....	60
4.6. Schmerz.....	61
4.7. Einfluss von Größe und BMI auf den Seitenunterschied.....	62
4.8. Vergleich der Telos Techniken.....	63
4.9. Der Subluxationsindex nach Rosenberg	64
5. Diskussion	66
6. Zusammenfassung	80
7. Danksagung	81
8. Literatur	82
9. Appendix.....	90
9.1. Tabellarischer Lebenslauf	90
9.2. Veröffentlichungen und Preis	92
9.3. Erklärung.....	93

1. Abkürzungsverzeichnis

ACL	eng. für VKB
BMI	Body Mass Index
CV	Chassaing View
FHS	fixierte hintere Schublade
FKA	Femurkondylenabstand
HKB	hinteres Kreuzband
HSL	hintere Schublade
IKDS	International Knee Documentation Committee
KLT	Knee Laxity Tester
Lig.	Ligament
Ligg.	Ligamente
M.	Musculus
Mm.	Muscui
MRT	Magnet Resonanz Tomographie
MTA - R	Medizinisch- Technische- AssistentIn der Radiologie
PCL	eng. für HKB
PL	posterolateral
PTS	Posterior Tibial Support
SI	Subluxationsindex
SSD	Seitendifferenz
VKB	vorderes Kreuzband
VSL	vordere Schublade

2. Einleitung

Verletzungen des Kniegelenks stellen im heutigen unfallchirurgischen Alltag einen Schwerpunkt dar. Hierbei wird vielfach die Beteiligung des hinteren Kreuzbandes als dem zentralen ligamentären Stabilisator des Kniegelenks unterschätzt. Je nach Patientenkollektiv wird der Anteil der Läsionen des hinteren Kreuzbandes mit 1 bis 44 % aller Bandverletzungen des Knies beschrieben (20;30;49;82).

Ursachen der hinteren Kreuzbandläsionen sind Traumata, bei denen der Unfallmechanismus zu einer Dorsalverschiebung der Tibia in Bezug zum Femur führt. Als klassisches Beispiel gilt die sogenannte „Dashboard“ – Läsion bei einem Auffahrunfall (81). Es kommt zu einem Anpralltrauma der vorderen proximalen Tibia an das Armaturenbrett. Aber auch in der Sportmedizin ist das hintere Kreuzbandtrauma ein häufig unterschätztes Krankheitsbild. Besonders gefährdet sind Personen, die Kontaktsportarten treiben. Ein deutlich erhöhtes Unfallrisiko hat der Fußballtorwart (43). Bei einem polytraumatisierten Patienten stehen die vitalen Verletzungen im Vordergrund. So werden hintere Kreuzbandverletzungen initial häufig übersehen. Auch wird bei der deutlich häufigeren vorderen Kreuzbandläsion eine Beteiligung des hinteren Kreuzbandes übersehen (98).

Bei einer verzögerten Therapie können sich in der Folgezeit durch die veränderte Biomechanik im Knie schwerste, das Gelenk deutlich beeinträchtigende und irreversible Folgezustände im Sinne einer sekundären Arthrose entwickeln, die oft eine lebenslange Funktionseinschränkung bis hin zur Invalidität der meist sehr jungen Patienten bedingen (34;50;92).

Daher muss eine zuverlässige und mit einfachen Mitteln durchzuführende Methode gefunden werden, die eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes ausschließen oder bestätigen kann, um zügig eine entsprechende Therapie einzuleiten.

Hinweise auf eine Verletzung des hinteren Kreuzbandes liefert die klinische Untersuchung. Dies ist in der Akutphase häufig durch Begleittraumata, wie z.B. Femurschaftfrakturen, deutlich erschwert. Auch durch Schwellung, Erguss und Schmerz wird die Untersuchung beeinträchtigt, so dass erst im zeitlichen Verlauf eine dezidierte Untersuchung erfolgen kann. Hierbei kann durch Stress – Röntgenaufnahmen zur

Beurteilung der hinteren und vorderen Schublade ein entscheidender Informationsgewinn erzielt werden.

Mit dieser Arbeit soll die Zuverlässigkeit und die Durchführbarkeit einiger solcher Techniken beleuchtet werden. Die Unterschiede der einzelnen Techniken sollen möglichst weit und umfassend dargestellt werden. Ziel ist es, eine leicht durchführbare, sensitive und sensible Technik herauszuarbeiten. Diese soll in der Praxis verwendet werden können. Sie soll als ein verlässliches und reproduzierbares Diagnostikum schnell, zuverlässig und schmerzarm die dorsale Translation darstellen.

Damit liefern gehaltene Röntgenaufnahmen einen entscheidenden Beitrag zum Behandlungsplan komplexer Knieverletzungen.

2.1. Epidemiologie

Die Verletzung des hinteren Kreuzbandes (HKB) wurde bisher als eine eher seltene Verletzung eingestuft. Jedoch zeigt sich in den letzten Jahren, dass diese Verletzung häufiger vorkommt, als bisher angenommen. So liegt die Häufigkeit von hinteren Kreuzbandverletzungen je nach Autor zwischen 1 und 44% bei akuten Kniegelenksbandverletzungen (20;30;49;82). Gerade bei schweren Kapselbandverletzungen ist eine Beteiligung des hinteren Kreuzbandes nicht selten. So kommt es bei einer Vielzahl von Patienten mit Knie-traumata zu einer großen Zahl von hinteren Kreuzbandbeteiligungen (98). Diese treten auch häufig unter Mitbeteiligung knöcherner Läsionen, wie Femur- oder Tibiakopffrakturen auf. Da für die kombinierten Bandverletzungen im Knie hohe Energien aufgebracht werden müssen, kommen hauptsächlich Verkehrsunfälle mit knapp 50% der hinteren Kreuzbandläsionen ursächlich in Frage (81). Isolierte hintere Kreuzbandschäden lassen sich aber auch bei Kontakt- und Ballsportarten finden. So sind 40% aller HKB – Traumata durch sportliche Aktivitäten entstanden (81).

Der Fußballtorwart nimmt hier eine Sonderrolle ein. Bei ihm wird durch das prätibiale Anpralltrauma, welchem er sehr oft ausgesetzt ist, häufig eine HKB – Ruptur beobachtet (43;81).

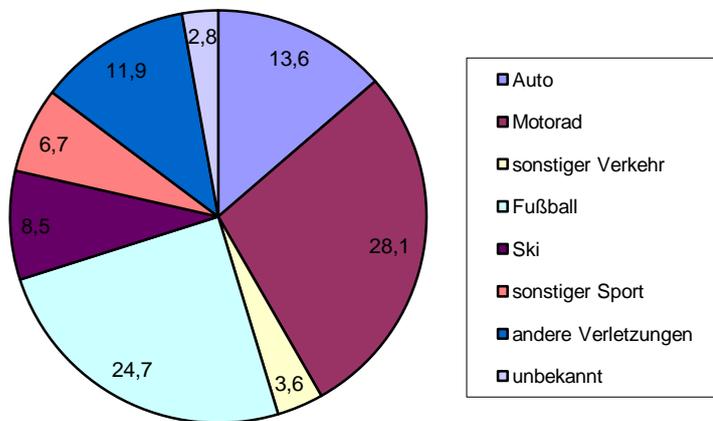


Abbildung 1: Ursachen der hinteren Kreuzbandläsionen in Prozent (n = 494) (81).

2.2. Anatomie des hinteren Kreuzbandes

Das hintere Kreuzband ist phylogenetisch von dorsal in das Kniegelenk eingewandert und wird demnach auch ventral, medial und lateral von einer Synovialfalte eingehüllt. Das HKB verläuft damit intraartikulär aber extrasynovial (16). Im Gegensatz zum vorderen Kreuzband hat das HKB einen großflächigen Kapselkontakt und wird zusätzlich nach ventral hin von einem Fettkörper bedeckt. Dadurch wird das hintere Kreuzband gerade im Vergleich zum vorderen Kreuzband sehr gut durchblutet. Hierin liegt ein Aspekt der guten Heilungspotenz begründet (82;84).

Das hintere Kreuzband besteht aus zwei getrennten Faserbündeln. Diese sind durch eine dünne synoviale Trennschicht geteilt. Es zeigt sich ein anterolaterales und ein posteromediales Bündel (3;100). Entgegen früheren Überzeugungen ist das hintere Kreuzband keine isometrische Struktur, sondern auch durch die im Folgenden beschriebene Bandstruktur zu Längenveränderungen fähig (51).

Das posteromediale Bündel, welches sich dünn und flach zeigt, entspringt in der Fossa intercondylaris posterior an der Hinterwand des Tibiakopfes. Es verläuft als flacher Zügel mit einer 90° Wendung quer über die posteriore Fläche des anterioren Bündels

zur posteriokranialen Innenfläche des medialen Kondylus. Ist das Knie in der Streckstellung, so zeigt sich das Bündel in einem geradlinigen Verlauf. Hierbei sind alle Fasern gespannt. Die Länge der einzelnen Fasern des Bündels nimmt hier von anterior nach posterior ab. Wird das Knie gebeugt, kommt es zu einer Entspannung der Fasern und gleichzeitig zu einer Verwindung. In Beugung lässt sich eine Längenabnahme feststellen, die von posterior nach anterior geringer ausfällt. Das heißt, dass die posterioren Anteile des Bandes stärker den Dehnungsbewegungen ausgesetzt sind als die anterioren Bündel des posterioren Schrägbündels.



Abbildung 2: Darstellung des Knies von posterolateral nach Entfernung der lateralen Femurkondyle. Das hintere Kreuzband wurde in die anterolateralen und posteromedialen Bündel separiert (2).

Das zweite Faserbündel ist das Anterolaterale des Hinteren Kreuzbandes. Dieses Hauptbündel des hinteren Kreuzbandes, welches 20fach so dick ist wie das Anteriomediale, weist einen streng parallelen Verlauf der Fasern in anterior – posteriorer Richtung auf (49). Es entspringt wie das posteriore Schrägbündel an der Fossa intercondylaris posterior und setzt dann mehrheitlich weit ventral am Dach der

Fossa intercondylaris an. Einige Randfasern des Bündels ziehen bis über die Innenfläche des medialen Condylus. Bei Extension des Knies ist dieses Bündel entspannt. Bei Flexion beginnen sich die Fasern aufzurichten, und es kommt zu einem Spannen des Bandes. Ab 70° Flexion lässt sich ein gerader Verlauf des Bündels beobachten. Hier kommt es jedoch zu keiner Verwindung. Ab 90° Flexion sind alle Fasern des Bündels gespannt und damit Hauptstabilisatoren für die dorsale Translokation. Auch hier lässt sich ein Längenzuwachs bei Streckung und 90° Flexion beobachten. Dieser ist jedoch in allen Anteilen des Bandes gleich (47;90).

Das HKB wird inkonstant von zwei meniskofemorale Bändern begleitet, dem Lig. meniskofemorale posterius (Wrisberg – Ligament) und dem Lig. meniskofemorale anterius (Humphrey – Ligament). Das Wrisberg – Ligament entspringt am posteromedialen Teil des Hinterhorns des Außenmeniskus und läuft medial und posterior dem hinteren Kreuzband zu einer Insertion am Femur superior und dorsal der HKB – Insertion (37;97). Das Humphrey – Ligament entspringt ebenfalls am posteromedialen Anteil des Außenmeniskushinterhorns, zieht dann aber nach ventral und medial zum HKB. Es setzt direkt distal der HKB – Insertion an (97). Die Querschnittsfläche der meniskofemorale Bänder kann über 20 % des HKB – Querschnitts betragen (31). Wan und Felle et al. fanden bei allen untersuchten Kniegelenken mindestens ein meniskofemorales Band, wobei das Wrisberg – Ligament häufiger vorkam und kräftiger ausgeprägt war als das Humphrey – Ligament (97). Girgis et al. fanden hingegen bei 30 % der Präparate kein meniskofemorales Band (23).

Die Blutversorgung des Knies erfolgt durch die Aa. geniculate superior mediale et laterale, Aa. geniculate inferior mediale et laterale sowie der A. geniculate media, die alle aus der A. poplitea entspringen. Die Aa. tibialis recurrens anterior et posterior aus der A. tibialis posterior versorgen ebenfalls das Knie. Weitere Blutzuflüsse erhält das Knie aus den absteigenden Ästen der A. circumflexis femoris laterale und A. fibularis recurrens. Die A. geniculate media entspringt aus der A. poplitea hinter der poplitealen Oberfläche des Femurs und dringt dann nach anterior in die Tiefe. Sie durchdringt die hintere Gelenkkapsel in der Fossa intercondylaris. Diese Arterie versorgt beide Kreuzbänder, die Synovia, die hintere Kapsel und die Epiphysen der Tibia und des Femurs mit Blut. Das synoviale Gewebe um das HKB ist eine wichtige Blutquelle für das Band. Die Basis des HKB wird auch durch Gefäße der Kapsel versorgt, die aus der

A. poplitea und A. geniculate inferior entspringen. Eine Vielzahl von Gefäßen dringt in das HKB ein und verläuft in ihm nach oben und unten ohne den knöchernen Ansatz zu penetrieren (7;77). Die Blutverteilung im HKB ist jedoch ungleich verteilt. So wird das HKB im Bereich der Ansatz- und Ursprungsstellen wesentlich stärker durchblutet als in den mittleren und zentralen Bereichen (68).

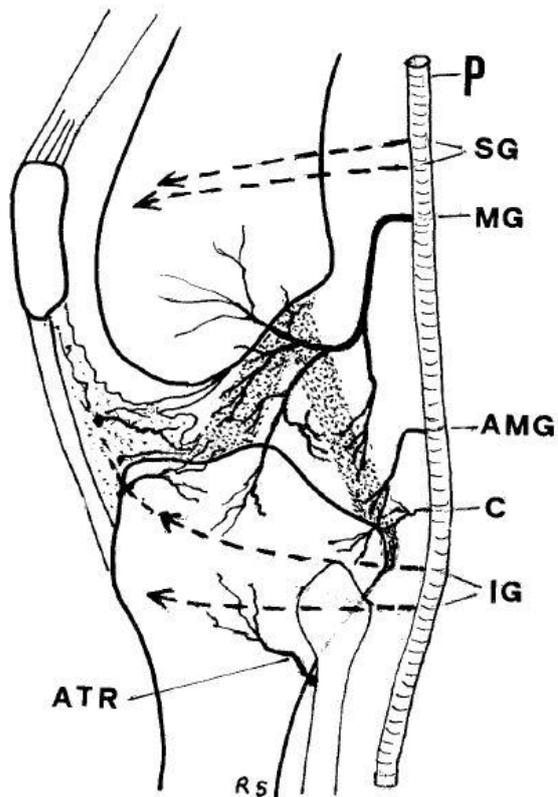


Abbildung 3: Schematische Zeichnung der sagittalen Ansicht. Es zeigt sich das häufigste Verteilungsmuster der Kniebinnenarterien. P: A. poplitea, SG: Aa. geniculate superior, MG: A. geniculate media, AMG: A. geniculate media accessoria, C: A. capsularis genu, IG: Aa. geniculate inferior, ATR: A. tibialis anterior recurrens (77).

Durch diese sehr gute Blutversorgung des hinteren Kreuzbandes besteht ein großes Heilungspotential. Im Gegensatz zu dem wesentlich schwächer vaskularisierten vorderen Kreuzband wird in einer Vielzahl von Fällen eine Heilung von Bandläsionen des HKB beobachtet (82;84).

Auch wurden im Bereich des hinteren Kreuzbandes Lymphgefäße gefunden. Diese haben hier, wie an anderen Orten des Körpers auch, die Funktion, die Homöostase aufrecht zu erhalten (68).

Auf den Kreuzbändern befinden sich neuronale Elemente, die Golgi – Sehnenorgane. Diese liegen auf der Oberfläche der Bänder. Sie sind nicht gleichmäßig über das gesamte Band verteilt, sondern verstärkt im femoralen Bandanteil zu finden (78). Sie sind dehnungsempfindliche Rezeptoren, die der Propriozeption dienen (7).

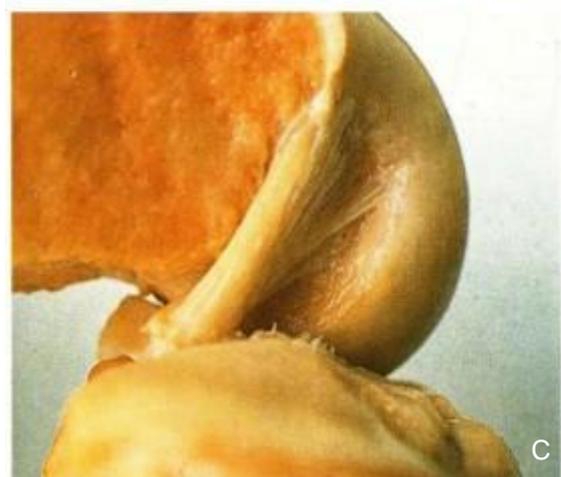
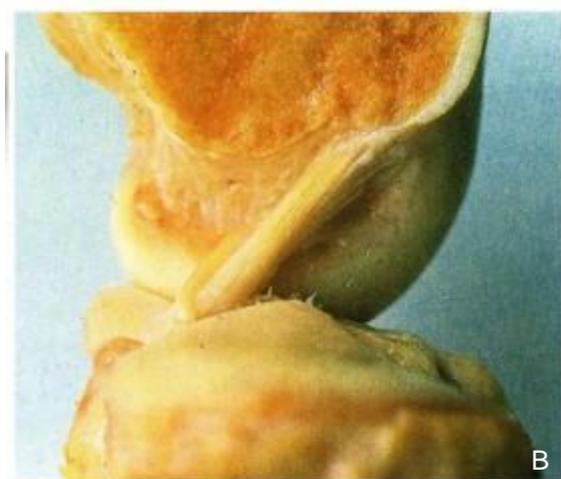
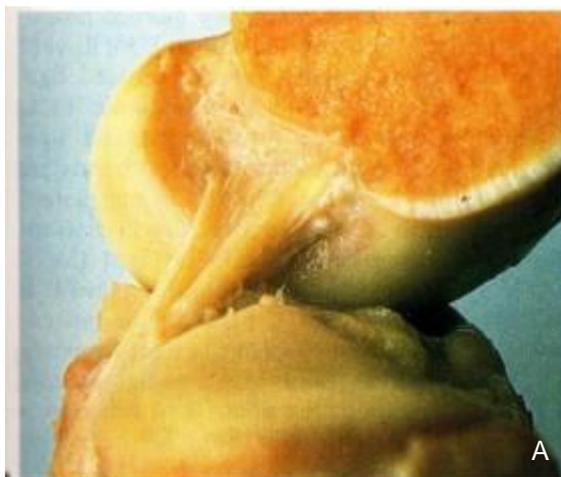


Abbildung 4: Blick von lateral auf das HKB. Der laterale Kondylus und der laterale Meniskus wurden entfernt. Es zeigen sich die Bündel des HKB bei verschiedenen Flexionsgraden. A: die anterolateralen und posteromedialen Fasern zeigen einen fächerförmigen Verlauf in Extension; Bei Flexion des Knies auf 45° (B) und 120° (C) kommt es zu einer Unterkreuzung der Fasern des posteromedialen Bündels unter die des anterolateralen Bündels (87).

2.3. Biomechanik und Pathobiomechanik

Das hintere Kreuzband funktioniert als primärer Stabilisator gegen die tibiale Verschiebung nach dorsal relativ zum Femur (8;71). Daher kommt es nach isolierter Durchtrennung des hinteren Kreuzbandes zu einer Zunahme der Dorsalverschieblichkeit der Tibia. Diese hintere Schublade fällt in 90° Beugung wesentlich stärker aus, als in Streckung des Knies (24;60;65;96). So werden in Beugung Werte von > 10 mm bis zu 13 mm erreicht (23;60;65;66). Daraus folgt, dass das hintere Kreuzband den größten Stabilisierungseffekt auf das Knie in gebeugter Stellung aufweist, denn in dieser Position sind sekundäre Stabilisatoren, wie das hintere Schrägband, die posteromediale Kapsel und die posterolaterale Gelenkecke entspannt. Sie können somit an der funktionellen Stabilität in gebeugter Position vor allem nach einer Schädigung des HKB mitwirken (16;72).

Die Reißfestigkeit des hinteren Kreuzbandes ist auch im Vergleich mit anderen tragenden Bändern hoch. Sie verteilt sich auf das anterolaterale Bündel mit 885 N bis 1620 N und auf das posteromediale Bündel mit 258 N (56;69). Damit ist die Reißfestigkeit des anterolateralen Bündels 6x höher als die des posteromedialen Bündels (71;90). Diese Werte wurden an Knien älterer Patienten gemessen. Das Durchschnittsalter dieses Kollektives betrug 75 Jahre. Noyes und Grood sowie Woo et al. zeigen, dass die Reißfestigkeit stark altersabhängig ist (61;102). Sie liegt bei jüngeren Patienten rund 2,5 fach höher als im Alter. Sie wird bei jungen Erwachsenen mit rund 4000 N angegeben (90). Auch die Steifigkeit, also die Reißfestigkeit pro mm Querschnitt, ist bei den beiden Bündeln unterschiedlich. Sie liegt bei 347 N/mm für das anterolaterale und bei 77 N/mm für das posteromediale Bündel (71). Andere Werte mit gleicher Tendenz der Kraftverteilung der einzelnen Bündel werden von Harner et. al. angegeben. Hier wird die Reißfestigkeit des anterolateralen Bündels mit 1120 N angegeben (31). Das posterolaterale Bündel riss durchschnittlich bei über 419 N. Die Steifigkeit wird von Harner et al. mit 120 N/mm für das anterolaterale beziehungsweise 97 N/mm für das posteromediale Bündel ermittelt (31).

Das hintere Kreuzband bildet eine funktionelle Einheit mit den umgebenden posterolateralen und posteromedialen Strukturen. Zu den posteromedialen Strukturen zählen das mediale Seitenband und die posteromediale Kapsel mit ihren muskulären Verstärkungen (Mm. semimembranosus und gastrocnemius).

Die zweite Stabilisierungsstruktur der hinteren Schublade ist die posterolaterale Gelenkecke. Diese besteht aus dem Lig. collaterale fibulae, dem Kopf des lateralen M. gastrocnemius, den Ligg. popliteum obliquum, popliteum arcuatum, popliteofibulare und der Ansatzsehne des M. popliteus. Das Lig. popliteofibulare spielt eine wichtige Rolle bei der passiven Rotationssicherung. Begleitverletzungen der posterolateralen und posteromedialen Strukturen müssen bei der Therapie von HKB – Läsionen unbedingt beachtet werden (67;90).

Durchtrennt man die posterolaterale Gelenkecke isoliert experimentell, kommt es zwar zu einer vermehrten lateralen Aufklappbarkeit und Außenrotation, jedoch nimmt die posteriore Translation in Beugung und Streckung nur minimal zu (96). Durchtrennt man jedoch zusätzlich noch das hintere Kreuzband, so kommt es zu einer massiven Vergrößerung der dorsalen Translation der Tibia auf Werte bis zu 24 mm (60;62;96). Dabei findet die maximale Schublade in Außenrotation statt. Eine Innenrotation führt zur relativen Stabilisierung des Knies (90).

Als Folge einer chronischen hinteren Kreuzbandinstabilität entwickeln sich Knorpelschädigungen. Dabei kommt es zu einer vorzeitigen sekundären Arthrose des Kniegelenks. Schon ein Jahr nach einem nicht operativ versorgten hinteren Kreuzbandschaden lassen sich bei 13,6 % der Patienten Chondromalazien nachweisen. Drei Jahre nach Instabilitätsbeginn fallen 39,1 % der betroffenen Patienten mit Knorpelschäden auf, und fünf Jahre nach einem HKB – Trauma liegt der Anteil der Patienten mit Knorpelschädigung bei 77,5 % (50;88).

Nicht nur die Knorpelstrukturen, auch das vordere Kreuzband wird durch den Verlust des hinteren Kreuzbandes geschädigt. So zeigen Ochi et al., dass sich bei chronischen hinteren Kreuzbandverletzungen die Bandstruktur des vorderen Kreuzbandes ändert (64). Durch die verlorene Grundspannung des VKB, welche durch die hintere Schublade bedingt ist und bei der Arthroskopie als „floppy ACL“ imponiert, werden die Bandstrukturen nicht mehr so belastet. Durch diese fehlende Beanspruchung geht die Zahl der Kollagenfibrillen pro Flächeneinheit des VKB zurück. Dies führt zu einer Schwächung des vorderen Kreuzbandes (64).

2.4. Die Verletzungsmechanismen

Das klassische Verletzungsmuster einer HKB – Läsion ist der Stoß an das Armaturenbrett, die sogenannte „Dashboard - injury“. Dabei kommt es zu einem prätibialen Anpralltrauma in 90° Kniebeugung. Das hintere Kreuzband ist in dieser Position gespannt und die posterioren Kapselanteile entspannt. Dadurch nimmt das hintere Kreuzband die Unfallenergie in vollem Umfang auf. So kommt es bei einem rasanten Dorsalvorschub der Tibia bei gespanntem hinteren Kreuzband und entspannten Kapselbändern zur Ruptur des hinteren Kreuzbandes. Die posterolaterale Gelenkecke rupturiert je nach Energie ebenfalls. Dieser Mechanismus wurde schon im Jahre 1937 von Lee und 1947 von Abbott beschrieben (1;48).

Sporttraumen stellen einen weiteren großen Komplex der Verletzungsursachen dar. Hier ist besonders folgendes Verletzungsmuster typisch für eine HKB – Läsion: Der Fall auf das auf ca. 90° gebeugte Knie bei plantar extendiertem Fuß. Hierbei wirkt die Kraft auf die Tibiavorderkante. Es kommt auch hier zu einem prätibialen Anpralltrauma.

Ist der Fuß flektiert, wird die Kraft auf das patellofemorale Kompartiment umgeleitet, um auf den Femur übertragen zu werden. So kann das hintere Kreuzband umgangen werden (11;15).

Als weitere häufige Ursache einer HKB – Verletzung wird ein Sturz auf das hyperflektierte Knie bei plantar gestrecktem Fuß beschrieben. Bei gebeugtem Knie ist der anterolaterale Teil des HKB gespannt. Kommt es nun zu einer plötzlichen und starken Hyperflexion, steigt die Spannung des hinteren Kreuzbandes über das elastische Verformungsmaximum hinaus an, und es wird entweder eine plastische Deformierung im Sinne eines elongierten HKB oder eine Ruptur des Bandes verursacht (21).

Auch eine isolierte Hyperextension kann zu einer hinteren Kreuzbandläsion führen. Dabei kommt es häufig neben der Schädigung des HKB zu einem Riss der hinteren Anteile der Gelenkkapsel (44;81).

Ein anderes häufiges Verletzungsmuster im Sport sind Traumen bei Sportarten mit schnellen Sprint-, Stopp- und Drehbewegungen. Hier wird beschrieben, dass es bei einer rasanten Gewichtsverlagerung von einem Fuß auf den anderen zu einem hinteren

Kreuzbandtrauma kommen kann. Der Fuß, der entlastet wird, ist anfangs aufgestellt und das Knie leicht gebeugt. Wenn der Körper nun schnell rotiert, kommt es zu einer Mitrotation des Femurs und zu einer nach anterior gerichteten Translation im Kniegelenk. So wird eine relative Außenrotation und nach posterior drückende Kraft erzeugt, die zu einer HKB – Schädigung führt. Daraus resultiert meist nicht nur eine isolierte HKB – Läsion, sondern ein kombinierter Bandschaden (75).

Auch bei einem starken Valgustrauma kann es neben der Ruptur der medialen Strukturen sogar zu einer kompletten Zerreißung der zentralen Stützpfiler, dem vorderen und hinteren Kreuzband, kommen (90).

Besonderes Augenmerk ist auch auf Verletzungen der Fußballtorhüter zu legen. Diese sind besonders gefährdet, da sie häufig von Gegenspielern am Unterschenkel mit einer nach dorsal gerichteten Kraft getroffen werden. Dies führt wiederum zum typischen prätibialen Anpralltrauma und somit zur Verletzung des hinteren Kreuzbandes (34).

2.5. Symptome der HKB Läsion

Die klinischen Symptome einer akuten HKB - Läsion sind unspezifisch. Leichte Schwellung, Schmerz und eine Instabilität können anamnestisch eruiert werden. Auch müssen indirekte Zeichen einer möglichen Verletzung des hinteren Kreuzbandes Beachtung finden. Sie äußern sich sowohl in einer Druckschmerzhaftigkeit im dorsalen Teil des Knies als auch in Prell- und Verletzungsmarken an der vorderen Tibiakante. Diese Prellmarken sind eventuell auch noch lange nach dem eigentlichen Trauma als narbige Hauterscheinungen sichtbar (88).

Bei chronischen HKB – Läsionen steht der Schmerz und das Instabilitätsgefühl im Vordergrund. Der Schmerz offenbart sich entweder als Knieschmerz bei langen Gehstrecken (70 % der Patienten) oder beim Treppenabsteigen (50 % der Patienten). Er wird häufig als retropatellarer Schmerz geschildert. Die Ursache gerade dieser Schmerzlokalisierung ist darin zu sehen, dass eine HKB – Insuffizienz zu einem erhöhten Kontaktdruck im patellofemorale Gelenk und in dem medialen Kompartiment führt (85). Vor allem auch nach kombinierter Verletzung des hinteren Kreuzbandes und der posterolateralen Gelenkecke nimmt der Druck im medialen und patellofemorale Gelenk signifikant zu (85). Der erhöhte patellofemorale Anpressdruck entsteht durch die

posteriore Subluxation des Tibiakopfes und dem daraus resultierenden reduzierten Winkel zwischen Quadrizeps- und Patellarsehne. Dieses Phänomen wird als umgekehrter Maquet - Effekt bezeichnet (85).

Infolge der Druckerhöhung kommt es zu einer Retropatellararthrose mit typischen Schmerzen (28;33;95). Auch bei Patienten mit therapierefraktärem, retropatellarem Schmerz und unbekanntem, mehrere Jahre zurückliegenden Knie Traumen muß an eine Schädigung des HKB gedacht werden.

Teilweise klagen die Patienten ausschließlich über ein Instabilitätsgefühl. Dieses tritt jedoch erst bei Kombinationen z.B. mit einer posterolateralen Eckverletzung auf. Sportler stellen außerdem oft fest, dass sie subjektiv schlechter Dreh- und Stoppbewegungen ausführen können (42).

Weitere klinische Zeichen existieren, wie zum Beispiel eine vermehrte Hyperextension während des Gehens und eine Varus- Recurvatum- Fehlstellung des Kniegelenks (88). Insgesamt sind die Symptome und anamnestischen Schilderungen sowohl bei der akuten als auch bei der chronischen HKB – Läsion wenig richtungsweisend oder deterministisch. Die klinische und apparative Untersuchung ist bei Verdachtsfällen deshalb unerlässlich.

2.6. Klassifikation der hinteren Kreuzbandläsionen

Es existieren neben der Unterscheidung in frische und chronische Läsionen eine Vielzahl weiterer Klassifikationen der Verletzungsschwere. Viele sind nur von wissenschaftlichem Interesse und nur eingeschränkt für die klinische Praxis einsetzbar. Es ist dennoch eine präzise Klassifikation zu fordern, um die Ausgangssituation vor einer entsprechenden Therapie eindeutig festlegen zu können. Der anzunehmende Therapieerfolg in Abhängigkeit von der Verletzungsschwere ist dadurch besser abschätzbar. Eine Unterteilung in vier Grade werden von Cooper et al. beschrieben. Diese reicht von der isolierten HKB – oder posterolaterale Ecken – Läsion mit entsprechender Klinik im Grad 1 bis zur kompletten Luxation des Kniegelenks im Grad 4. Unterklassifikationen beziehen Unterscheidungen in akut versus chronisch sowie eventuell vorhandene Knorpel- und Meniskusschäden mit ein (13;90).

Harner et al. stellten eine weitere klinisch gebräuchliche Klassifikation vor. Bei dieser stehen Kombinationsverletzungen aus HKB und posterolateraler Ecke sowie Therapieempfehlungen im Vordergrund (29;90).

2.7. Klinische Untersuchung

Es sind zur Diagnostik der hinteren Kreuzbandverletzungen eine Vielzahl von Tests und Untersuchungen beschrieben worden. Ziel dieser Tests ist es, im Seitenvergleich eine vermehrte posteriore Translation festzustellen und diese dann zu quantifizieren. Im folgenden Teil wird auf die wesentlichen und gängigen Untersuchungsmethoden eingegangen.

Bestehen proximale Tibia- oder distale Femurfrakturen, sollte die klinische Untersuchung der Bänder bereits nach der operativen Stabilisierung der Fraktur noch in Narkose erfolgen. Es wird empfohlen, diese Untersuchung unter Bildwandler- Kontrolle durchzuführen und zu dokumentieren (88).

Liegt die Verletzung mehr als 10 bis 14 Tage zurück, sollte auf gehaltene Röntgenaufnahmen verzichtet werden, da hiermit das heilende HKB eine erneute Schädigung erfährt. Alternativ können seitliche Röntgenaufnahmen beider Kniegelenke

in 90° Beugung angefertigt werden, so dass die Tibia entsprechend der Schwerkraft nach dorsal sinken kann (43).

2.7.1. Posterior Drawer Test

Der Posterior Drawer Test ist eine Untersuchungstechnik für das hintere Kreuzband. Hierbei sitzt der Untersucher auf dem Fuß des auf dem Rücken liegenden Patienten. Das zu untersuchende Patientenbein ist in der Hüfte und im Knie um 90° gebeugt. Nun wird die Tibia durch Druck von anterior in die hintere Schublade geleitet. Der Test soll in Innenrotation, Neutralstellung und Außenrotation der Tibia durchgeführt werden. Auch eine zusätzliche Testung bei 60° wird empfohlen.

Bei einer akuten HKB – Ruptur kann der Test jedoch negativ ausfallen. Dies lässt sich meist durch eine Kombinationsruptur der medialen oder posteromedialen Strukturen erklären. Man vermutet auch, dass ein intakter Arcuatus – Komplex ein hinteres Schubladenphänomen verhindert. In solchen Fällen kann eine hintere Kreuzbandruptur durch Öffnung des Gelenkspaltes nach medial im Rahmen eines Valgus- und Varus-Tests gezeigt werden (36).

Im Stadium einer chronischen HKB – Insuffizienz wird der Arcuatus – Komplex gedehnt, und es kommt meist zur positiven Auslösung des Posterior Drawer Tests, oft in Verbindung mit einem spontanen Fall in die hintere Schublade. Dies wird dann als „positive sag sign“ bezeichnet (87).

Vom Posterior Drawer Test gibt es noch weitere Varianten, die das Ziel verfolgen, das hintere Schubladenphänomen auszulösen.

2.7.2. Godfrey Test

Auch hier besteht das Ziel im Auslösen eines hinteren Schubladenphänomens. Der Patient liegt bei diesem Test auf dem Rücken und entspannt sich während der Untersucher beide Patientenbeine, die in der Hüfte und im Knie bei 90° flektiert sind, hält und stützt. Nun fällt das Bein mit dem rupturierten hinteren Kreuzband in die hintere

Schublade. Dies verstärkt der Untersucher, indem er Druck auf den Unterschenkel in Höhe der Tuberositas tibiae ausübt. Bei einer Ruptur fällt dann der Unterschenkel tief in die hintere Schublade, da die Tibia nicht mehr durch das hintere Kreuzband fixiert wird. Beurteilt wird neben einer Gradeinteilung auch das Vorhandensein eines festen Anschlages. Ein fester Anschlag ist Indiz für ein elongiertes hinteres Kreuzband (87).

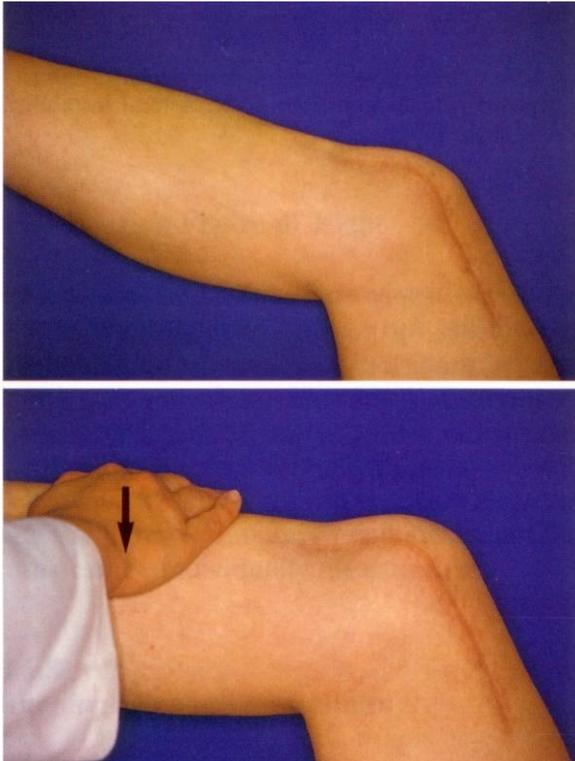


Abbildung 5: Godfrey Test. Schon ohne Druck auf die Tibia im oberen Bild kommt es zur hinteren Schublade, die sich durch Druck noch verstärkt. Die posteriore Verschiebung ist Ausdruck der Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes (87).

2.7.3. „Step off“ Test

Dieser Test, der ebenfalls die tibiale Dislokation nach posterior erfasst, kann vor dem Posterior Drawer Test durchgeführt werden und ist leicht auszuführen. Der Patient liegt bei diesem Test auf dem Rücken und flektiert das Knie um 90°. Normalerweise befindet sich das Tibiaplateau ca. 1 cm anterior zu der medialen Femurkondyle. Diese Position, der sogenannte „Step off“, ist regelmäßig bei hinteren Kreuzbandschäden reduziert, nicht vorhanden oder negativ.

Man ertastet die Stufe mit dem Daumen oder Zeigefinger, indem man von der medialen

Femurkondyle auf die Tibia streicht. Die posteriore Verschiebung wird nach dem Ausmaß der Subluxation in drei Schweregrade eingeteilt. Grad I stellt die Verschiebung zwischen 1 und 5 mm dar, wobei der „Step off“ noch tastbar ist, Grad II ist die Verschiebung um 6 bis 10 mm und aufgebogenem „Step off“ und Grad III würdigt die Verschiebung um mehr als 10 mm bei negativem „Step off“ (54).

2.7.4. Hyperextensionstest

Dem „Step off“ Test ähnlich ist der Hyperextensionstest. Auch hier liegt der Patient auf dem Rücken und flektiert das Knie um 90°. Der Untersucher legt nun seine flache Hand so auf das Knie, dass das Metacarpophalangealgelenk des Untersuchers über dem Gelenkspalt des Knies zum Liegen kommt. Dieses Gelenk ist sehr sensibel und kann Hyperextensionen sehr gut wahrnehmen. Eine im Vergleich zur gesunden, nicht verletzten Gegenseite stärkere Hyperextension in dem genannten Gelenk des Untersuchers ist stark hinweisgebend auf eine Schädigung des hinteren Kreuzbandes (88).



Abbildung 6: Hyperextensionstest: A in der Ausgangsstellung, B: in manueller hinterer Schublade (43).

2.7.5. Weitere Untersuchungstechniken

Es werden in der Literatur noch weitere bekannte Untersuchungstests, wie zum Beispiel der Quadrizeps – Neutralwinkeltest, der Reverse Pivot – und der Whipple – Ellis Test erwähnt (18;41;90;101). Diese sind jedoch für den klinischen Alltag weniger geeignet.

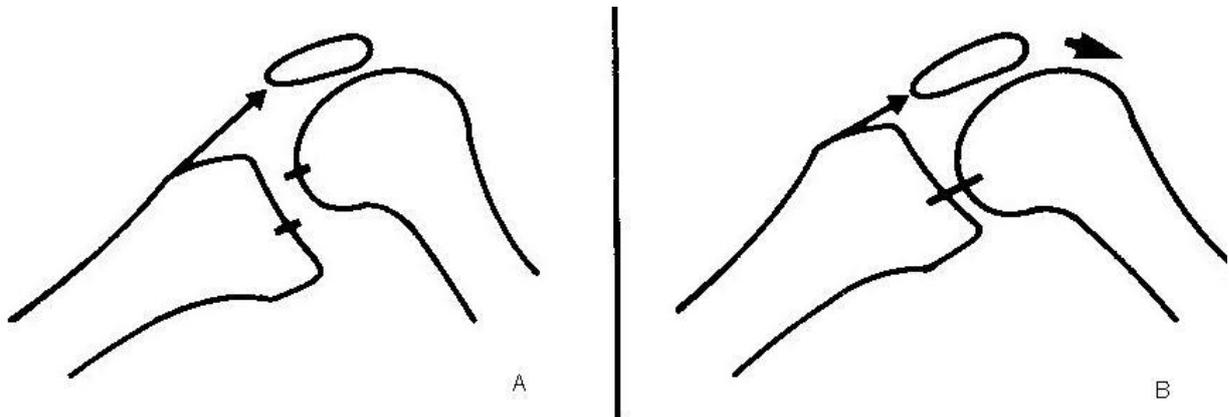


Abbildung 7: Quadrizeps- Neutralwinkeltest A: Normalzustand bei einer hinteren Kreuzbandruptur, die Tibia fällt in die hintere Schublade. B: Durch Kontraktion des M. Quadriceps femoris wird die Tibia aus der hinteren Schublade in die Normalposition gezogen. Diese Anteriorverlagerung der Tibia ist quantifizierbar (18;90).

2.8. Apparative Diagnostik

Im folgenden werden die für die Untersuchung der hinteren Kreuzbandschäden wichtigen apparativen Möglichkeiten der Diagnostik dargestellt.

2.8.1. Radiologische Diagnostik

Die Standardaufnahmen des Knies in zwei Ebenen sowie der Patella mit axialem Strahlengang dienen beim klinischen Verdacht auf eine Bandläsion dem Ausschluss eines knöchernen Ausrisses oder anderer knöcherner Beteiligungen (14). Dies würde eine andere therapeutische Versorgung nach sich ziehen. Da die Kniebinnen- und Bandstrukturen Röntgenstrahlen nicht absorbieren, sind Bandverletzungen auf nativen Röntgenbildern primär nicht beurteilbar.

Knorpelige Läsionen im medialen Kompartiment lassen sich mit der Röntgenaufnahme nach Rosenberg, dem „Rosenberg – View“, bewerten. Bei dieser posterior – anterioren Aufnahme steht der Patient mit um 45° gebeugtem Knie. Dabei wird die Größe des

medialen Gelenkspaltes erfasst. Gelenkspaltbreiten von 2 mm oder weniger deuten auf eine Chondromalazie II° bis III° hin. Hier lassen sich gute Korrelationen mit der arthroskopischen Untersuchung nachweisen. Auch ist der „Rosenberg – View“ spezifischer und sensitiver zur Diagnostik der Chondromalazie als die standardisierte posterior – anterior Aufnahme des Knies (74).

Die gehaltenen Röntgenaufnahmen der hinteren und vorderen Schubladen werden separat beschrieben.

2.8.2. Arthrometer, KT1000

Neben den klinischen Untersuchungstechniken ist auch die Arthrometrie im Gebrauch. Sylvin et al. beschrieben 1975 das erste Mal die quantitative, nichtradiologische, apparative Messung der antero – posterioren Translation der Tibia mittels eines Arthrometers (93). Dandy et al. entwickelten 1982 ein Gerät, welches die spontane hintere Schublade erfassen konnte. Die Entwicklung setzte sich in Richtung zu Geräten fort, die in der Lage sind, definierte Kräfte in definierte Richtungen zu applizieren. Der KT1000 oder das Nachfolgemodell KT2000 sind heute die am weitesten verbreiteten Modelle. Der KT1000 wurde 1982 das erste Mal vorgestellt, nachdem seine Entwicklung seit 1979 abgeschlossen werden konnte. Das benutzte Gerät besteht aus einem Kraftapplikator, einer Messvorrichtung und einer Halterung am Bein. Man fixiert dieses Gerät fest am Unterschenkel. Ein Messfühler sitzt der Patella auf. Nun bringt man, während der Patient liegt, bei einem Kniewinkel von 90° eine Kraft nach posterior auf. Das Gerät signalisiert per akustischem Signal, wenn die manuell aufgebrachte Kraft erreicht ist. Jetzt kann man das Ausmaß der hinteren Schublade recht genau an einer Messskala in Millimetern ablesen. Im Vergleich zum gesunden Bein ergibt sich nun eine Seitendifferenz. Diese korreliert gut mit der Stadieneinteilung, welche in der oben beschriebenen Posterior Drawer Untersuchung erhoben werden kann. Damit ist die Arthrometrie eine Ergänzung zur klinischen Diagnostik (12). Ähnliche Funktionsweisen zeigen der Rolimeter und der Knee Laxity Tester (KLT).

Probleme sind in der Definition des Null- oder Neutralpunktes zu sehen. Theoretisch soll dieser Punkt zuerst am gesunden Knie bestimmt und dann auf das verletzte Knie

übertragen werden. Da jedoch die Tibia unter ihrem Eigengewicht nach posterior kippt, und auch der Arthrometer durch sein Eigengewicht eine weitere nach dorsal gerichtete zusätzliche Kraft appliziert, bleibt das Problem noch ungelöst. Man versucht durch verschiedene Manöver wie der Bestimmung der totalen anterior – posterioren Distanz den Neutralpunkt zu ermitteln (18).

Hierzu stellten Daniel et al. 1988 einen Test vor, der die Neutralposition des gesunden Knies auf das Verletzte überträgt. Bei dem „Quadriceps neutral angle test“ wird die Neutralposition des gesunden mittels Kontraktion des M. quadrizeps femoris auf das verletzte Bein übertragen (18).

Es konnte jedoch schon 1986 von Strobel et al. gezeigt werden, dass die gehaltenen Stress – Aufnahmen bei der hinteren Schublade der Messung mit dem KT1000 überlegen sind (89). Dies wurde später auch von Hewett, Noyes et al. 1999 bestätigt (32).

2.8.3. Magnet Resonanz Tomographie (MRT)

Die MRT – Diagnostik ist eine sehr gute Möglichkeit, eine akute Ruptur der HKB zu diagnostizieren. Dabei werden weder Röntgenstrahlen noch ionisierende Strahlen benötigt (25;55).

Bei einer akuten hinteren Kreuzbandläsion kann man durch die MRT die Lokalisation des Risses erkennen. Man unterscheidet femorale, mittige und tibial gelegene Risse sowie komplette und subtotale hintere Kreuzbandrupturen. Auch ist es möglich, unter Einsatz von Kontrastmittel, in der Regel Gadolinium – DTPA, die Synovialschicht zu beurteilen. Eine solche erhaltene Schicht hat bessere Heilungsprognosen. Weiterhin ist es möglich, zwischen einer Beteiligung des anterolateralen und des posterolateralen Bündels zu unterscheiden (88). Jedoch erlaubt die MRT – Diagnostik nur eine anatomisch – morphologische Untersuchung des Bandes. Einer funktionellen Beurteilung entzieht sich jedoch das Ligament, und damit lassen sich hier nur indirekte Hinweise auf eine HKB – Insuffizienz aufzeigen (55).

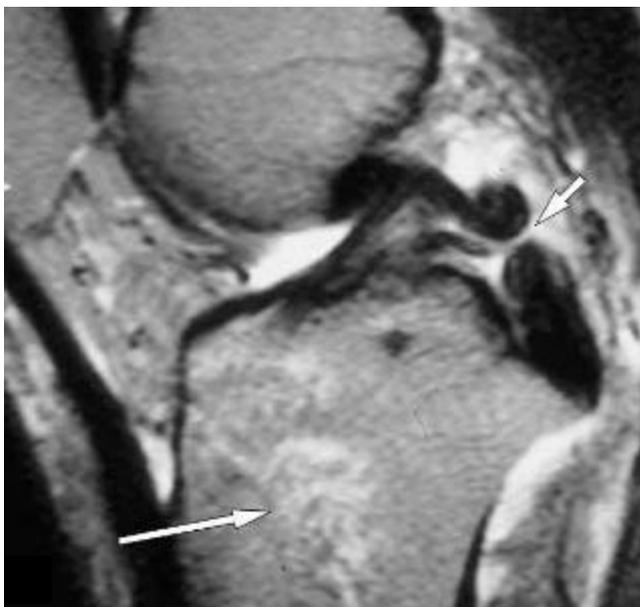


Abbildung 8: Ein T2 gewichtetes sagittales Schnittbild des Knies. Der kleine Pfeil zeigt das gerissene hintere Kreuzband im mittleren Teil. Der große Pfeil zeigt das Knochenmarködem infolge des prätibialen Anstoßtraumas bei einer Dashboard-Verletzung (76).

Weiterhin lassen sich häufig Hinweise auf das prätibiale Anpralltrauma finden. Unter dem sogenannten Bone Bruise oder Knochenmarködem wird eine subchondrale ossäre

Kontusion infolge eines Traumas verstanden, deren Nachweis nur magnetresonanztomografisch möglich ist. Der subkortikale epiphyseale Raum besteht in der Regel aus Knochenspongiosa, die normalerweise Fettmark enthält. Das normale Knochenmark zeigt in der MRT Signalwerte, die denen von subkutanem Fettgewebe entsprechen. Ein typischer Bone Bruise stellt sich als eine Zone verminderter Signalgebung im T1-Bild dar. Das T2-Bild weist erhöhte Signalwerte als Zeichen des vermehrten Wassergehalts des verletzten Knochens auf (45).

Vor allem im akuten Stadium des Traumas kann in der MRT sehr gut zwischen kompletten, partiellen und intraligamentären Rupturen sowie avulsiven Verletzungen unterschieden werden (57). Der Heilungsverlauf und die damit zusammenhängenden Risiken für Spätfolgen wie Arthrosen lassen sich in der MRT leider nur unzureichend darstellen.

In einer Studie von 2002 wurden mehrere Patienten mit hinteren Kreuzbandrupturen nach initialer MRT zu einem Recall aufgerufen (25). Hierbei zeigte sich in 87 % der Fälle bei der MRT ein morphologisch intaktes hinteres Kreuzband, welches aber in allen Fällen elongiert war. Diese Elongation wurde initial nicht vom untersuchenden Radiologen diagnostiziert. Es wurden initial 88 % der elongierten hinteren Kreuzbänder falsch gesund befundet. Die Elongation und die damit zusammenhängende Instabilität des Knies wurde mit klinischen Tests nachgewiesen. Eine MRT – Diagnostik zur funktionellen Aussage der möglichen Bandinstabilität ist somit nur sehr eingeschränkt möglich und setzt hinreichende Erfahrung des betreuenden Radiologen voraus (25).

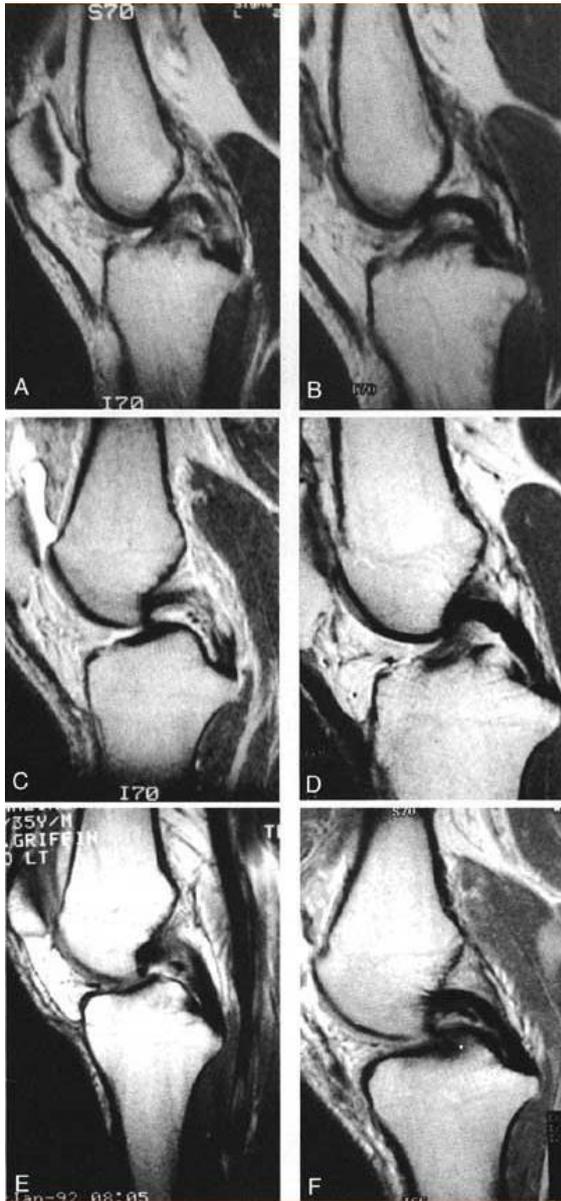


Abb 9.: Sagittale MTR – Aufnahmen eines verletzten Knies; es werden 3 Patienten mit heilender hinterer Kreuzbandverletzung gezeigt. (A,C,E) direkt nach Verletzung; (B,D,F) nach Heilung (25).

2.8.4. Arthroskopie

Die Arthroskopie ist die operative Untersuchung des Knies mittels kleiner Zugänge in die Gelenkhöhle und die Inspektion mittels optischer Instrumente.

Eine Indikation dazu im Falle einer frischen HKB – Verletzung ist jedoch selten gegeben. Da der Standardzugang der Arthroskopie von ventral erfolgt, ist die HKB – Diagnostik durch das vordere Kreuzband erschwert, und so erscheint das HKB oft nahezu unauffällig. Bei dem ventralen Zugang stellen Einblutungen in den das HKB überdeckenden Fettkörper oder Einrisse der Plica infrapatellaris erste Hinweise dar. Auch Blutungen oder Hämatome in den posteromedialen oder lateralen Rezessus oder eine vermehrte laterale Gelenköffnung geben indirekt Hinweise auf eine HKB – Schädigung. Es konnte gezeigt werden, dass bei 38 % der Patienten mit einem Hämarthros eine Läsion des hinteren Kreuzbandes vorliegt (81).

Die genauere arthroskopische HKB – Diagnostik verlangt allerdings einen dorsomedialen Zugang ins Knie. Jedoch ist auch hier die genaue Diagnostik recht schwer, da eine Unterscheidung zwischen kompletter und partieller Ruptur nur bedingt möglich ist.

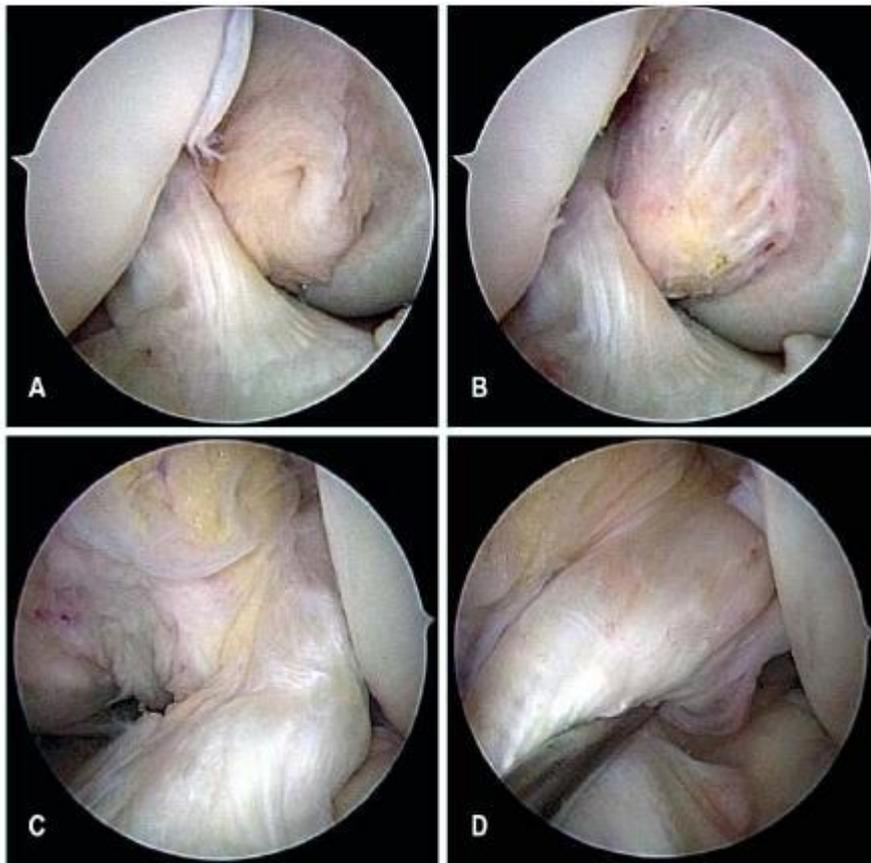


Abbildung 10: A: Arthroskopische Aufsicht auf VKB und HKB bei einer chronischen HKB-Insuffizienz. Das HKB erscheint unverletzt und in continuitatem erhalten. B: Selbst nach Entfernung des Fettkörpers zeigt sich eine intakte Bandstruktur, lediglich die leicht gewellte Struktur der VKB-Fasern deuten auf eine bestehende hintere Schublade hin. C, D: Arthroskopische Aufsicht auf VKB und HKB bei einer chronischen HKB-Insuffizienz. Das HKB erscheint unverletzt und in continuitatem erhalten. Das VKB imponiert deutlich elongiert („floppy ACL“) (43).

Auch die arthroskopische Beurteilung der chronischen HKB – Läsion gestaltet sich komplex. Das Band ist durch die Verdeckung vom VKB, dem das HKB umgebende Synovialgewebe und der sehr guten Gefäßversorgung nur eingeschränkt der Untersuchung zugänglich, und nur wenige Bandabschnitte lassen sich ohne weitere Manipulationen beurteilen. Die große Heilungspotenz des HKB lässt vor allem das elongierte Band als intakt erscheinen. Hier stellt sich dann das VKB, welches einen elongierten, eventuell sogar geschlängelten, sog. siphonartigen Verlauf, zeigt, hinweisgebend auf eine HKB Verletzung dar. Das sogenannte floppy ACL sign ist hinweisgebend auf eine HKB – Läsion und entsteht durch Verlagerung des Tibiakopfes in die hintere Schublade und damit einer Entspannung des vorderen Kreuzbandes,

welches dann im vorderen Gelenkanteil zum Liegen kommt.

Sehr wichtig ist die Beurteilung des Knorpelzustandes bei der chronischen HKB-Insuffizienz. Da sich durch die verschobenen biomechanischen Eigenschaften des Knies hier vermehrte Knorpelschäden gerade im medialen Femurkondylusbereich und im femoropatellaren Gelenk zeigen, ist hier die Inspektion sehr wichtig.

Auch sollte bei einer HKB – Läsion immer die posterolaterale Gelenkecke mitbetrachtet werden, da diese klinisch recht schwer durch eine vermehrte laterale Aufklappbarkeit zu untersuchen ist, sich jedoch gut arthroskopisch darstellen lässt (88).

2.8.5. Sonographie

Die Untersuchung des hinteren Kreuzbandes mittels Ultraschall ist ein weiteres sich etablierendes Verfahren. Es werden 5 bis 10 MHz Sonden im B-Bild Modus verwendet. Das HKB lässt sich im zentralen und tibialen Ansatz gut per Ultraschall beurteilen, im proximalen Teil jedoch nicht. Das Kreuzband erscheint hypodens im Ultraschall.

Das geschädigte hintere Kreuzband stellt sich im Sonogramm im Vergleich zum Gesunden verdickt und aufgetrieben dar.

Das normale HKB zeigt sich mit einer Dicke von durchschnittlich 0,52 cm und das geschädigte HKB mit einer Dicke von 0,71 cm (6;10).

2.8.6. Gehaltene Röntgenaufnahmen

Gehaltene Röntgenaufnahmen des Knies in 90° Beugung bilden ein Basisdiagnostikum bei Verletzungen des hinteren Kreuzbandes. Durch diese Röntgenbilder kann die posteriore Tibiaverschiebung dargestellt und quantifiziert werden (80).

Die ersten gehaltenen Röntgenaufnahmen des Kniegelenks wurden 1976 von Jacobson et al. beschrieben. Von ihnen wurde ein Gerät entwickelt, welches mit definierter Kraft das Knie in die vordere und hintere Schublade drückte. Jacobson entwickelte die heute benutzte Ausmesstechnik. Er definierte die Normalwerte für die radiologisch gemessenen Schubladen (40).

Im Jahr 1978 führte die Firma TELOS GmbH ein Diagnosegerät für Bandverletzungen am Knie- und Sprunggelenk ein. Dieses Gerät wurde vielfach weiterentwickelt und ist heute im klinischen Alltag im Gebrauch.

Weitere Untersuchungstechniken, die die hintere Schublade auslösen, wurden unter Zuhilfenahme von Muskelkontraktionen oder der Schwerkraft entwickelt. Die hier in der Arbeit benutzen Techniken werden im nächsten Kapitel, 3.2.1. Vergleich der Röntgentechniken, detailliert vorgestellt und mit Photos illustriert. Hier erfolgt zunächst eine kurze, orientierende Beschreibung.

Die Technik unter Verwendung des Telos Gerätes löst die hintere Schublade mittels eines Kraftapplikators aus, welcher an der Tuberositas tibiae die Tibia nach dorsal drückt.

Bei der weiterhin benutzten Technik, dem Gravity sag View, wird die Schublade mittels Schwerkraft bei fixiertem Fuß und 90° flektiertem Knie und Hüfte in Rückenlage erzeugt.

Der Chassaing View verwendet die aktivierte dorsale Unterschenkelmuskulatur und den aktivierten Musculus biceps femoris bei fixiertem Fuß und sitzender Position, um die hintere Schublade auszulösen.

Die Kneeling View Technik stellt die hintere Schublade dar, indem die Röntgenuntersuchung beim auf der Tuberositas tibiae knienden Patienten erfolgt.

Beim Puddu View wird die Röntgenaufnahme durch die durch Schwerkraft in die hintere Schublade gefallene Tibia in bezug auf den Femur im axialen Strahlengang durchgeführt.

Der Vorteil der gehaltenen Röntgenaufnahmen ist in der objektiven Funktionsprüfung zu erkennen, die, anders als bei der MRT – Untersuchung, den funktionellen Aspekt beschreibt und den morphologischen Zustand ausblendet. Unterschieden wird die Untersuchung der frischen und der chronischen HKB – Verletzung. Man ist bei der frischen Verletzung mit den Stress – Aufnahmen zurückhaltend und lässt nur eine Kraft von 5 kp oder die Schwerkraft wirken, wenn das Knie unmittelbar nach dem Unfall untersucht wird. Liegt der Unfall schon mehr als 14 Tage zurück, so sind keine gehaltenen Aufnahmen mehr indiziert, da man den Heilungsverlauf nicht durch zu großen Druck unterbrechen will. Bei chronischen HKB – Verletzungen erfolgen vier gehaltene Röntgenaufnahmen bei einem jeweiligen Stress von 15 kp, wobei man jeweils die vordere und die hintere Schublade untersucht, um eine fixierte hintere Schublade auszuschießen.

2.9. Fixierte hintere Schublade (FHS)

Eine fixierte hintere Schublade ist eine dauerhaft bestehende hintere Schublade, bei der die Neutralposition nicht mehr erreicht wird. Eine definierte posteriore Kraftapplikation von 15 kp reicht nicht aus, um die Tibia zu einer ventralen Position zurückzuschieben. Der Tibiakopf bleibt trotz der nach ventral gerichteten Kraftapplikation in der hinteren Schublade fixiert. Sie erreicht eine dorsale Subluxation von mehr als 3 mm gegenüber der Neutralstellung.

Strobel et. al. fanden in einer Serie von 248 Patienten mit chronischer HKB – Läsion bei 44 % eine fixierte hintere Schublade (91).

Risikofaktoren für die Ausbildung einer FHS sind:

1. eine chronische HKB-Läsion,
2. männliches Geschlecht,
3. gescheiterte HKB – Operationen und
4. zurückliegende Entnahme eines Patellarsehnentransplantates.

Bevor eine HKB – Rekonstruktion gegebenenfalls mit posterolateraler Stabilisierung geplant wird, muss eine FHS daher sicher ausgeschlossen sowie dann ggf. behandelt werden (91). Besteht zusätzlich ein Streckdefizit gilt es zunächst dieses Defizit zu beseitigen. Sind Voroperationen erfolgt oder besteht der Verdacht auf ein mechanisches Hindernis, was zu einem Streckdefizit führt, ist eine arthroskopische Arthrolyse mit Entfernung der mechanisch störenden Strukturen angezeigt. Anschließend erfolgt die Nachbehandlung mit der PTS – Schiene (Posterior-Tibial-Support – Schiene, Fa. Medi Bayreuth).

Bei Patienten ohne Streckdefizit und ohne Voroperationen ist die alleinige Aufdehnung der posterioren Strukturen mit der PTS – Schiene meist ausreichend (91). Die Patienten tragen die Schiene nachts und werden in sechswöchigen Abständen durch gehaltene Röntgenaufnahmen (vordere Schublade, 90° Beugung) kontrolliert. Unter dieser Therapie kommt es in den meisten Fällen zur Reduktion der fixierten hinteren Schublade. Die Patienten berichten sogar, dass die Therapie „nicht so erfolgreich ist“, da das Kniegelenk immer „lockerer“ wird. Genau das ist aber der präoperativ angestrebte und unbedingt zu erzielende Effekt. Das Kniegelenk sollte in einem

Zustand operiert werden, bei dem es „maximal instabil ist“. Der HKB – Ersatz muss dann nicht mehr gegen die fibrosierte und ungedehnte hintere Kapsel anarbeiten.



Abbildung 11: Klinisches Erscheinungsbild einer fixierten hinteren Schublade bei 6 Jahre bestehender chronischer HKB – Instabilität. Zustand nach transossärer Refixation des HKB. Selbst unter kräftigen, manuellen Zug gelingt die Reposition in die Neutralstellung nicht (43).

2.10. Therapie der hinteren Kreuzbandruptur

Generell gilt es bei schwerwiegenden Bandverletzungen, wie z.B. der hinteren Kreuzbandläsion mit ihren Begleitverletzungen, abzuwägen, ob eine konservative oder operative Therapie zu wählen ist. Diese Entscheidung sollte in Abhängigkeit verschiedener zu berücksichtigender Faktoren getroffen werden. Bei frischen, isolierten HKB – Läsionen ist zunächst ein konservatives Vorgehen angezeigt. Weist die gehaltene Röntgenaufnahme einen hinteren Schubladenwert von weniger als 10 mm auf, kann eine isolierte HKB – Läsion angenommen werden. In diesem Fall ist primär eine konservative Therapie zu bevorzugen.

2.10.1. Konservative Therapie

Auch für die Therapie der akuten, isolierten hinteren Kreuzbandverletzung bestehen zwei unterschiedliche Behandlungskonzepte. Um dem zumeist sportlich aktiven Patienten ein schnelles Wiedererlangen der früheren Beweglichkeit zu ermöglichen, wird eine frühe Mobilisierung ohne Schienenbehandlung angestrebt. Im Gegensatz dazu steht der weniger Aktive. In diesem Fall empfiehlt sich eine insgesamt 12-wöchige Schienenbehandlung. Dem Patienten wird für die ersten 6 Wochen eine PTS – Schiene angelegt, die er unablässig zu tragen hat. Sie besteht aus einer geraden Schiene, an der dorsal des Unterschenkels ein posteriores Inlay angebracht ist. Dieses bringt die Tibia in eine ventrale Position zum Femur, so dass es zu einer Entspannung des HKB bzw. zu einer Annäherung der rupturierten Bandanteile kommt. Zur Mobilisation werden passive Bewegungsübungen nach festem Schema empfohlen.

Ab der 6. Woche kann der Patient zunehmend voll belasten. Es wird dann tagsüber auf eine funktionelle HKB – Orthese (z.B. Don-Joy PCL – Schiene) umgestellt. Während der Nacht sollte hier nach Ausdehnung des Befundes die PTS – Schiene noch für weitere sechs Wochen getragen werden (43).

2.10.2. Operative Therapie

Beträgt die hintere Schublade mehr als 12 mm, muss von einer kombinierten HKB-Verletzung ausgegangen werden. Besteht zudem eine ausgeprägte laterale Aufklappbarkeit in Streckstellung, sollte auf jeden Fall eine primäre laterale Rekonstruktion rupturierter Bandanteile erfolgen. Rekonstruiert werden je nach Verletzungsschwere der Tractus ilio-tibialis, das laterale Seitenband, insbesondere aber die Sehne des M. popliteus. Eine primäre Naht, auch unter Zuhilfenahme von Fadenankern, stellt hier die Therapie der Wahl dar. Sollte sich auf Grund der ausgedehnten Kapselbandzerreiung ein arthroskopisches Vorgehen am hinteren Kreuzband nicht anbieten, besteht bei dieser Verletzungskombination (HKB + posterolaterale und laterale Strukturen) auch die Option, zunächst die lateralen und posterolateralen Strukturen zu versorgen. Das Gelenk ist anschließend wie bei der konservativen HKB – Therapie nachzubehandeln. Bedingt durch die gute Gefssituation im hinteren Kreuzband besteht auch hierbei die Möglichkeit, dass sich eine ausreichend stabile HKB – Reststruktur bildet (43).

Kombinierte frische HKB – und VKB – Ruptur

Im Gegensatz dazu wird bei fast allen frischen, kombinierten HKB – / VKB – und posterolateralen Verletzungen und allen Knieluxationen, neben der Rekonstruktion der betroffenen Bandstrukturen, dem arthroskopischen Ersatz des HKB und des VKB in einem operativen Schritt empfohlen. Das Gelenk ist anschließend wie bei der konservativen HKB – Therapie nachzubehandeln. Generell ist bei Knieluxationen ein besonderes Augenmerk auf mögliche Begleitverletzungen der Gef- / Nervenbahnen zu richten (43).

Chronische Läsionen

Generell gilt, dass geringe Instabilitäten nicht der operativen Versorgung zugeführt werden müssen. Als Grenzwert wird in der Literatur eine posteriore Tibiaverschiebung von 8 bis 10 mm beschrieben (38;88). Dennoch klagen manche Patienten, die eine posteriore Tibiaverschiebung von 8 mm oder weniger haben über ein Instabilitätsgefühl

und / oder über Schmerzen. Bei diesen Patienten ist ein besonders differenziertes Vorgehen angezeigt. Hierbei sollte zunächst ein „Brace – Test“ erfolgen. Der Patient erhält eine funktionelle Orthese für das HKB und wird nach vier bis sechs Wochen kontrolliert. Beschreibt er in dieser Schiene eine deutliche Instabilitäts- und / oder Schmerzreduktion, so ist eine HKB – Rekonstruktion zu diskutieren. Bei Schmerzen, besonders patellofemoral, wird die Anlage einer PTS – Schiene empfohlen. Kommt es auch hierunter zu einer deutlichen Beschwerdebesserung, ist die HKB – Rekonstruktion auch bei dieser Patientengruppe in Erwägung zu ziehen. Gerade bei einer posterioren Tibiaverschiebung mit einer Seitendifferenz (SSD) von 10 mm in der gehaltenen Röntgenaufnahme ist auf rotatorische Instabilitäten zu achten. Das Ausmaß der Außenrotation ist bei dieser Patientengruppe sorgfältig zu prüfen.

Besteht eine Instabilität von mehr als 10 mm SSD und liegen gleichzeitig Beschwerden vor, empfiehlt sich ein operatives Vorgehen. In diesem Zusammenhang ist zu entscheiden, ob es ausreicht, das HKB isoliert zu rekonstruieren oder zusätzlich lateral beziehungsweise posterolateral zu stabilisieren. Die alleinige HKB – Rekonstruktion reicht bei diesen Patienten nicht aus, über eine längere Zeit Stabilität im Kniegelenk zu erreichen. Patienten mit ausgeprägter Instabilität von mehr als 12 mm SSD und bereits erfolgter HKB – Stabilisierung klagen über ein schnelles Wiederauftreten der Instabilität, wenn lediglich eine HKB – Rekonstruktion durchgeführt wurde.

Bei sehr ausgeprägten Instabilitäten mit mehr als 20 mm SSD muss auch mit einer Begleitläsion des VKB gerechnet werden. In derartigen Situationen ist es für die Operationsplanung von großer Bedeutung, schon präoperativ zu wissen, ob in gleicher Sitzung eine VKB – Rekonstruktion erfolgen soll (43).

Transplantatmaterial

Präoperativ ist zu entscheiden, welches Rekonstruktionsmaterial Verwendung findet. Insbesondere bei gleichzeitig erfolgenden peripheren Stabilisierungen ist hier in vielen Fällen die Sehnenentnahme z.B. der Semitendinosussehne von der intakten Gegenseite erforderlich. Als Rekonstruktionsmaterial für das HKB sind verschiedene Materialien bekannt: Mittleres Patellarsehnedrittel (ipsilateral oder kontralateral), Semitendinosussehne, Kombination Semitendinosussehne und Gracilissehne, Quadrizepssehne und eine Vielzahl von Allotransplantaten, wie Achillessehne, Patellarsehne, Hamstringsehnen, Quadrizepssehne oder die Tibialis anterior Sehne.

Es wird heute wegen der deutlich geringeren Entnahmemorbidität im Vergleich zur Patellarsehne die primäre Verwendung der Hamstringsehnen (Semitendinosus/Gracilis) empfohlen. Zusätzlich ist zum HKB – Ersatz zu erwähnen, dass gerade patellofemorale Probleme durch die bestehende HKB – Insuffizienz nach der Entnahme des Patellarsehnedrittels weiter zunehmen können. Des weiteren konnte gezeigt werden, dass die Patellarsehnenentnahme als eindeutiger Risikofaktor für die Entstehung einer fixierten hinteren Schublade zu werten ist. Dies ist sicherlich auf die damit einhergehende iatrogene Schwächung des Streckapparates zurückzuführen, also einer zusätzlich Schädigung des wichtigsten HKB – Agonisten (43).

Bevorzugte Operationstechniken

In der Literatur wurde bisher eine Vielzahl verschiedener Techniken zur HKB-Rekonstruktion unter Verwendung der verschiedensten Transplantate vorgestellt. Hierzu gehören als wichtigste die typischen Zwei – und Ein – Inzisionstechniken und die „tibial inlay“ Technik. Es wird sich jedoch hier auf die Vorstellung der bevorzugten Technik beschränkt.

Da die HKB – Ruptur in vielen Fällen mit einem kräftigen und in continuitatem erhaltenen aber elongierten Band ausheilt, präferiert man heute für die Rekonstruktion das im Folgenden näher dargestellte Konzept.

Ist das HKB noch kräftig vorhanden und in Elongation ausgeheilt, ersetzt man nur das anterolaterale Hauptbündel, welches wesentlich das Gelenk in Beugestellung stabilisiert. Hierbei bleibt der größte Teil des HKB, besonders aber das in Streckung

stabilisierende und meist nur wenig elongierte posteromediale Bündel erhalten. Die Anlage des singulären tibialen Tunnels erfolgt in typischer Weise über ein tibiales Zielgerät, wobei der Tunnelausgang dorsal etwa 1,5 cm unterhalb des Tibiaplateaus im nativen Ansatz des HKB zu suchen ist. Die tibiale Fixation erfolgt dann in der sog. „Hybridtechnik“, also durch eine kräftige extrakortikale Transplantat-Verankerung, z.B. mittels Knopf, kombiniert mit Kompression des Transplantates durch eine biodegradierbare Interferenzschraube oder einen Spongiosazyylinder.

Entsprechend der biomechanischen Erkenntnisse zur funktionellen Einheit zwischen HKB und den posterolateralen Strukturen ist die Indikation zur zusätzlichen posterolateralen Stabilisierung großzügig zu stellen (43).

2.11. Fragestellung und Ziel der Arbeit

Da im internationalen Schrifttum verschiedene gehaltene Röntgentechniken angewandt werden, ist der Vergleich hinsichtlich Grad der hinteren Schublade erschwert. Daher war es Ziel der Arbeit, verschiedene aktuelle Techniken miteinander zu vergleichen und Stärken sowie Schwächen der einzelnen Verfahren aufzuzeigen. Es soll eine Technik gefunden werden, die sowohl in der Handhabbarkeit als auch in der Reproduzierbarkeit geeignet ist, die Größe der hinteren Schublade als Maß der Schädigung der dorsalen Stützweiler des Kniegelenkes zu beurteilen. Es wurden hierzu an insgesamt 40 Patienten umfangreiche Röntgenuntersuchungen und Patientenbefragungen durchgeführt.

Zunächst erfolge die Untersuchung von 30 Patienten, um häufig genutzte, prinzipiell verschiedene, gehaltene Röntgenaufnahmen zu vergleichen. Anschließend wurde an 10 Patienten untersucht, inwieweit sich die unterschiedlichen Fixationsvarianten der Technik unter Zuhilfenahme des Telos Gerätes auswirken.

Die Auswertung wurde ebenfalls zeitversetzt durchgeführt und begann mit der Auswertung des 30 Patienten umfassenden Kollektivs hinsichtlich hinterer Schublade, Seitenunterschiede, Femurkondylenabstand, Röntgenzeit und Schmerz. Anschließend wurden gleiche Auswertungen separat bei dem 10 Patienten umfassenden zweiten Kollektiv durchgeführt.

3. Material und Methoden

Im folgenden Abschnitt werden einerseits das Patientenkollektiv und die benutzten Materialien zusammenfassend beschrieben. Andererseits werden die Röntgenmethoden systematisch dargestellt.

3.1. Material

3.1.1. Patienten

Wir untersuchten in dieser Studie zunächst 30 Patienten, die zur operativen Versorgung einer unilateralen, chronischen und kombinierten hinteren Kreuzbandläsion in der Klinik für Muskuloskelettale Chirurgie aufgenommen wurden. Am Tag nach der Untersuchung wurden sie operativ mit einer hinteren Kreuzbandplastik und zusätzlich häufig mit einer posterolateralen Stabilisierung versorgt. Alle Patienten wurden ausführlich über den Sinn und das Ziel der Studie informiert und erklärten sich mit einer Reihe von radiologischen Untersuchungen einverstanden. Es wurden 6 Frauen und 24 Männer in die Studie einbezogen.

Das durchschnittliche Patientenalter betrug 30 Jahre, wobei der älteste 51 und der jüngste Patient 17 Jahre alt war. Das Unfallereignis lag durchschnittlich 2,3 Jahre zurück. Die längste Zeit zwischen Unfall und Röntgenuntersuchung betrug 18 Jahre, die kürzeste Zeit 2 Monate. Es waren 12 rechte und 18 linke Knie betroffen.

Patienten, die zur Studie zugelassen wurden, hatten ein unilaterales Knie Trauma. Patienten, die zwei pathologische hintere Schubladenbefunde aufwiesen, wurden nicht in die Studie eingeschlossen. Auch Patienten mit knöchernen Bandausrissen wurden ausgeschlossen. Bei drei Patienten wurde ein zusätzlicher vorderer Kreuzbandschaden operiert. Eine posterolaterale Gelenkstabilisierung fand bei 20 Patienten statt.

Alle Patienten wurden nach dem gleichen Schema geröntgt. Die Abfolge der Techniken war Gravity sag, Puddu, Telos, Chassaign View und Kneeling.

Weiterhin wurden anschließend 10 Patienten untersucht, bei denen die Technik unter Benutzung des Telos Gerätes mit zwei verschiedenen Durchführungsvarianten, die im Kapitel 3.2.1.2. Telos beschrieben werden, angewandt wurde. Bei diesem Patientenkollektiv waren vier linke und sechs rechte Knie betroffen. Einschlusskriterien waren ebenfalls ein unilateraler, hinterer Kreuzbandschaden. Patienten, die einen knöchernen Bandausriss oder zwei pathologische hintere Schubladenbefunde aufwiesen, wurden nicht einbezogen.

Hier wurde zunächst mit der älteren und anschließend mit der neueren Variante der Technik unter Benutzung des Telos Gerätes untersucht.

3.1.2. Röntgengerät

Die Untersuchungen fanden in der radiologischen Abteilung der Rettungsstelle des Universitätsklinikums Charité, Campus Virchow Klinikum statt. Es wurde der Röntgenraum für Knochenaufnahmen genutzt. Zur Verfügung stand eine Röntgenanlage der Firma Siemens. Das Multix Top Aufnahmesystem bot sich für diese Studie an, weil der Röntgenstrahler in allen Ebenen des Raumes frei bewegbar ist. So waren die Voraussetzungen für die verschiedenen von uns verwendeten Aufnahmetechniken geschaffen, die auch ein schnelles und unkompliziertes Umrüsten mit einschlossen.



Abbildung 12: Röntgenraum der Rettungsstelle der Universitätsklinik Charité, Campus Virchow Klinikum mit der verwendeten Röntgenanlage Multix Top.

Zur Entwicklung der digitalen Röntgenbilder wurde der vorhandene Röntgenentwickler Fujifilm FCR 5000 eingesetzt. Dieser realisiert eine Auflösung von 10 Pixel pro Millimeter und produziert damit sehr genaue Röntgenbilder.



Abbildung 13: Fujifilm FCR 5000. Eingesetztes Entwicklungsgerät zum Auslesen der digitalen Röntgenbilder.

3.2. Methoden

3.2.1. Vergleich der Röntgentechniken

Die radiologischen Methoden der Stress – Aufnahmen kann man nach:

1. manuellen Tests zur Auslösung der Schublade,
2. Tests, bei denen die Schwerkraft (2a) oder Muskelkraft (2b) die Schublade hervorruft und
3. Tests mit mechanischen Geräten zur Auslösung der Schublade unterscheiden (19).

Zur ersten und zweiten Gruppe zählt Gravity sag, da hier die Einstellung der Lateralität vom radiologischen Untersucher übernommen wird. Zu 2a zählen ebenfalls Gravity sag, aber auch Puddu und Kneeling. In die Gruppe 2b fällt Chassaing View. Telos repräsentiert die Gruppe 3.

3.2.1.1. Auswertungstechniken der lateralen Knieaufnahmen

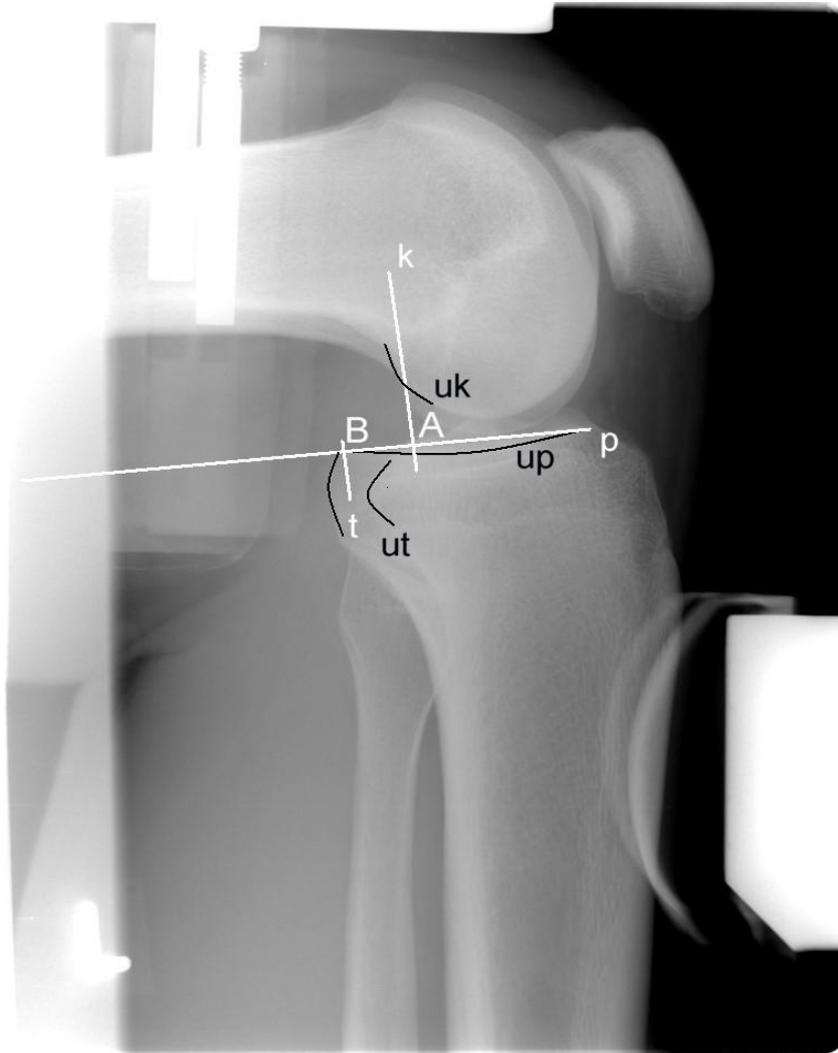


Abbildung 14: Stress – Aufnahme des linken Kniees zur Bestimmung der hinteren Schublade; hier beispielhaft mittels des TELOS Gerätes. Beschreibung der Messtechnik im Text.

Die lateralen Röntgenbilder, die durch die angewandten unten beschriebenen Techniken entstanden, wurden der Methode Jacobson aus dem Jahr 1976 folgend, ausgewertet (40). Diese Analyse bedarf der Definition peripherer knöcherner Punkte, um das Ausmaß der Verschiebung in die Schublade zu objektivieren. Dabei wird in das laterale Tibiaplateau, gekennzeichnet durch die Kurve up, eine Ebene p gelegt. Die posterioren Tibiakondylen, auf dem Schaubild ut, werden, rotativ gemittelt, als Punkt des hintersten Tibiakopfes definiert. Von diesem Punkt ist eine Senkrechte auf die gezeichnete Ebene zu fällen. Der Schnittpunkt B entsteht. Der zweite Schnittpunkt A wird von den dorsalen Femurkondylen gebildet. Hier werden beide Kondylen identifiziert

und markiert wie auf dem Beispielröntgenbild mit uk und dann der Punkt zwischen den projizierten Kondylenmarkierungen bestimmt. Bei dem definierten Femurkondylenpunkt ist nun eine weitere Senkrechte auf die Tibiaplateauebene zu fällen, deren Schnittpunkt die Bezeichnung A erhält. Der Abstand der Schnittpunkte A und B auf dem Tibiaplateau dient als Maß für die hintere Schublade, gemessen in Millimetern.

3.2.1.2. Telos

Bei der Untersuchung der hinteren Schublade mit dem Telos Gerät befindet sich der Patient in Seitenlage. Das zu untersuchende Bein wird, wie in den Abbildungen zu erkennen, in die Einheit eingebracht. Hierbei unterscheiden wir zwischen der älteren Technik mit einer Kraftapplikation von 200 N und rigiderer Kniefixation und einer neueren Technik mit einer Kraftapplikation von 150 N und einer weniger starken Kniefixierung.



Abbildung 15: Gehaltene laterale Röntgenaufnahme des Knies mit dem Telos Gerät. Über den Stempel wird die Kraft auf die Tuberositas tibiae übertragen. Rigide Fixation des Knies mit dem Stempel hinter der Femurkondyle. Der Strahlengang erfolgt von medial nach lateral.

a) Die ältere Technik wird, wie in der Abbildung 15 zu sehen, mit dem Telos Gerät durchgeführt. Das Knie wird hier mit einem gepolsterten Pflock und einer abgewinkelten, gepolsterten Rolle fixiert. Der Pflock wird an dem Gerät befestigt und hinter dem Fuß in Höhe der Achillessehne positioniert. Die Rolle wird nun am anderen Ende der Einheit angebracht und vor dem Condylus medialis femori so justiert, dass dieser, auch bei größerer Kraffteinwirkung, nicht mehr unter der Rolle hinweg, von anterior durchzugleiten vermag. Hierzu ist eine weitere Polsterung unter dem Knie erforderlich, da das Festklemmen der Rolle als recht schmerzhaft beschrieben wird.

Nun erfolgt die Applikation der Kraft auf die Tibiavorderkante mit Hilfe eines gepolsterten Kraftapplikators in Höhe des Pes anserinus. Die ausgeübte Kraft beträgt 200 N. Es ist darauf zu achten, dass die Kraft für mindestens 5 Sekunden bereits vor der Aufnahme auf das Knie einwirkt. So lösen sich eventuelle muskuläre Verspannungen. Die Röntgenplatte befindet sich unter dem Knie; der Röntgenstrahl erfolgt von medial nach lateral.



Abbildung 16: Gehaltene laterale Röntgenaufnahme des Knies mit dem Telos Gerät. Über den Stempel wird die Kraft auf die Tuberositas tibiae übertragen. Der Patient hält die Einheit mit der Hand selbst fixiert. Der Strahlengang erfolgt von medial nach lateral.

b) Bei der neueren Technik wird das Knie nicht mehr mit der beschriebenen Rolle fixiert. Stattdessen wird hier ein weiterer Pflock, wie in Abbildung 16, eingesetzt. An diesem hält der Patient die Einheit fest, um ein Weggleiten zu verhindern. Der andere Pflock bleibt an der Achillessehne. Auch der Kraftapplikator behält seine Position am Pes anserinus. Die Kraft wird hier mit 150 N verabreicht. Es ist ebenfalls darauf zu achten, dass die Kraft mindestens 5 Sekunden vor Tätigkeit der Aufnahme einwirken kann. Die Röntgenplatte befindet sich ebenso unter dem Knie, der Röntgenstrahl erfolgt auch hier von medial nach lateral.

3.2.1.3. Gravity sag

Bei dieser Technik handelt es sich, wie bei der zuvor beschriebenen, um eine laterale Knieaufnahme. Der Patient liegt auf dem Rücken. Er beugt das Bein in Knie und Hüfte um 90°. Der Untersucher hält das Bein des Patienten. Er bittet den Patienten, sich so weit wie möglich zu entspannen und das Gewicht des zu untersuchenden Beines in die Hand des Untersuchers fallen zu lassen. Somit wird der Unterschenkel durch die Schwerkraft bei Läsion des hinteren Kreuzbandes in die hintere Schublade gedrückt. Um eine exakte laterale Darstellung der Knochen des Knies zu erreichen, kann der Untersucher meist durch Innenrotation des Fußes eine mögliche Achsfehlstellung korrigieren. Die Röntgenplatte wird hier durch den Untersucher gehalten. Sie findet direkt im rechten Winkel zum Strahlengang Anlehnung an das Knie. Der Abstand der Strahlenquelle zum Röntgenfilm beträgt immer 1,05 m. Die Auswertung der Bilder erfolgte durch die oben beschriebene Technik (83).



Abbildung 17: Die Technik Gravity sag, Beschreibung im Text.

3.2.1.4. Kneeling View

Auch bei dieser Röntgentechnik erfolgt eine laterale Knieaufnahme. Hier wird das Knie des Patienten geröntgt, während dieser auf der Tuberositas tibiae kniet. Der Patient kniet sich auf zwei ca. 15 cm hohe Stapel röntgendurchlässiger Laken. Dadurch wird erstens der Schmerz auf den Druckpunkt der Tuberositas tibiae gemindert und zweitens eine stabile Einschiebeschiene für die Röntgenplatte gebildet. Zwischen die Laken und die Knie wird nun, wie in der Abbildung zu sehen, die Röntgenplatte eingeschoben. Der Patient kniet dabei aufrecht, damit der Winkel zwischen Femur und Tibia 90° beträgt. Er darf sich hierbei an einer Halterung mit einer oder zwei Händen abstützen, um das Gleichgewicht zu wahren. Außerdem muss der Patient darauf achten, dass er das Körpergewicht auf beide Beine gleich verteilt. Auch wenn dies zusätzliche Schmerzen verursacht, ist diese Kraft nötig, um die Tibia in die hintere Schublade zu drücken. Weiterhin ist dies für die seitengleiche Kraftapplikation erforderlich.



Abbildung 18: Kneeling View. Der Patient kniet auf der Tuberositas tibiae. Mit der Hand wird die Röntgenplatte fixiert.



Abbildung 19: Kneeling View. Der Patient kniet auf der Tuberositas tibiae. Mit der Hand wird die Röntgenplatte fixiert. Laterale Ansicht. Röntgenschrürze.

Die Kraft, mit der das Knie in die hintere Schublade geschoben wird, ist abhängig vom Gewicht des Patienten. Legt man ein Patientengewicht von 70 kg zugrunde, ergibt sich

für jedes Bein eine Kraft von ca. 250 bis 300 N. Das Körpergewicht verteilt sich auf zwei Beine, und das Gewicht der Unterschenkel von je ca. 5 bis 10 kg muss herausgerechnet werden.

Da die Röntgenplatte zwischen den Beinen ruht und der Patient die Beine aneinander hält, liegt der Röntgenfilm medial am zu untersuchenden Knie an. Der Abstand zwischen Strahlenquelle und Röntgenplatte beträgt 1,05 m.

Auf dem Röntgenbild, welches ebenfalls nach den oben beschriebenen Techniken ausgewertet wird, sieht man neben dem knöchernen Skelett auch die Laken durchscheinen. Nach korrekter Durchführung der Aufnahme bietet sich so zusätzlich die Gewissheit, dass der Patient nicht auf der Patella, was nicht zu einem Schubladenphänomen führen würde, sondern auf der Tuberositas tibiae kniete. Da die Schmerzen hier gerade bei frischeren Knieverletzungen erheblich sein können, muss auf die richtige Auflage der Knie geachtet werden (52).

3.2.1.5. Chassaing View

Hier wird der Patient sitzend untersucht. Um das Schubladenphänomen in dieser Position auszulösen, ist eine Kontraktion der dorsalen Unterschenkelmuskulatur und des Musculus biceps femoris nötig. Daraus könnte eine Flexionsbewegung des Unterschenkels resultieren. Diese unerwünschte Bewegung wird jedoch durch Reibung des nackten Fußes über den Boden, oder zur Schaffung eines Winkels von 90° zwischen Femur und Tibia auf einer Bank, zurückgehalten. So lässt sich durch die Hebelwirkung, unter Fixierung des Fußes, das Schubladenphänomen bei defektem hinteren Kreuzband am Knie ausgelösen.



**Abbildung 20: Chassaing View.
Der Patient hält die Röntgenplatte.
Kontraktion der
Unterschenkelmuskeln und des M.
biceps femoris.**

Die Röntgenplatte fixiert der Patient selbst zwischen den Knien. Zwischen Röntgenplatte und Strahlenquelle wird ein Abstand von 1,05 m gewählt. Der Strahlengang erfolgt von lateral nach medial. Während des Röntgens ist zu kontrollieren, dass der Patient die erwähnten Muskelgruppen kontrahiert (9).

3.2.1.6. Puddu View

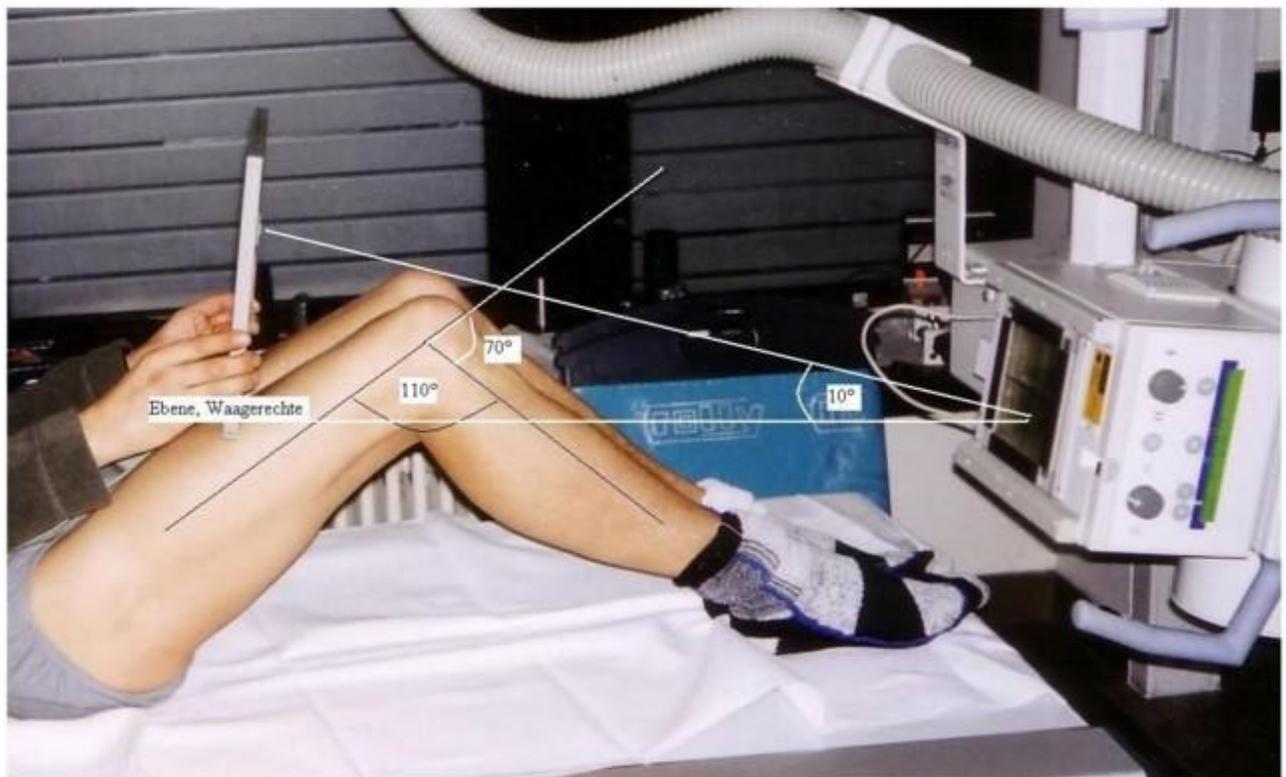


Abbildung 21: Puddu View. Lagerung des Patienten und Winkel des Röntgenstahls sowie Beugung der Beine. Fixierung der Röntgenplatte durch den Patienten. Bei dieser Technik wird das Knie nicht wie bei allen anderen beschriebenen Techniken von lateral sondern von anterior nach posterior geröntgt. Die Einstellung entspricht einer axialen Patella Untersuchung.

Das Gewicht des Unterschenkels drückt hierbei das Knie in die hintere Schublade. Ist das HKB geschädigt, oder fehlt es ganz, so kann die Last des Unterschenkels das hintere Schubladenphänomen auslösen. Dieses wird nun radiographisch erfasst. Prinzipiell will man die zurückgefallene Tibia durch den distalen Femurkopf hindurch betrachten und im Seitenvergleich den Abstand zwischen der zentralen Tibiakopfrinne und der durch den Femur durchscheinenden Tibia beurteilen.

Die obere Abbildung zeigt den Aufbau der Untersuchung. Der Patient liegt auf dem Rücken und beugt die Knie in einem Winkel von 70°. Der Röntgenstrahl wird in einem Winkel von 10° zum Röntgentisch auf das Knie gerichtet. Die Röntgenplatte wird dabei vom Patienten selbst, und zwar rechtwinklig zum auftreffenden Röntgenstrahl, gehalten. Während der Aufnahme soll der Patient die Beinmuskulatur entspannen, um das Einsinken des Unterschenkels in die hintere Schublade zu erlauben.

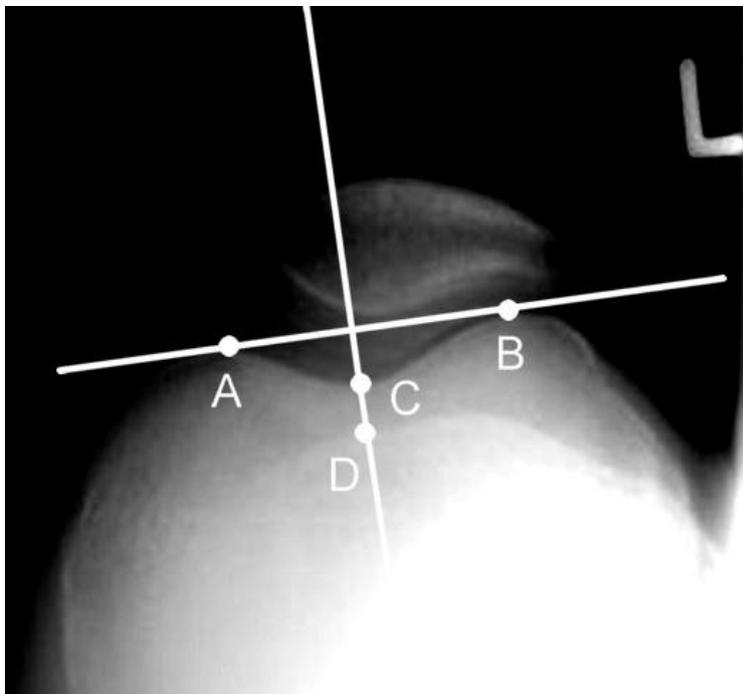
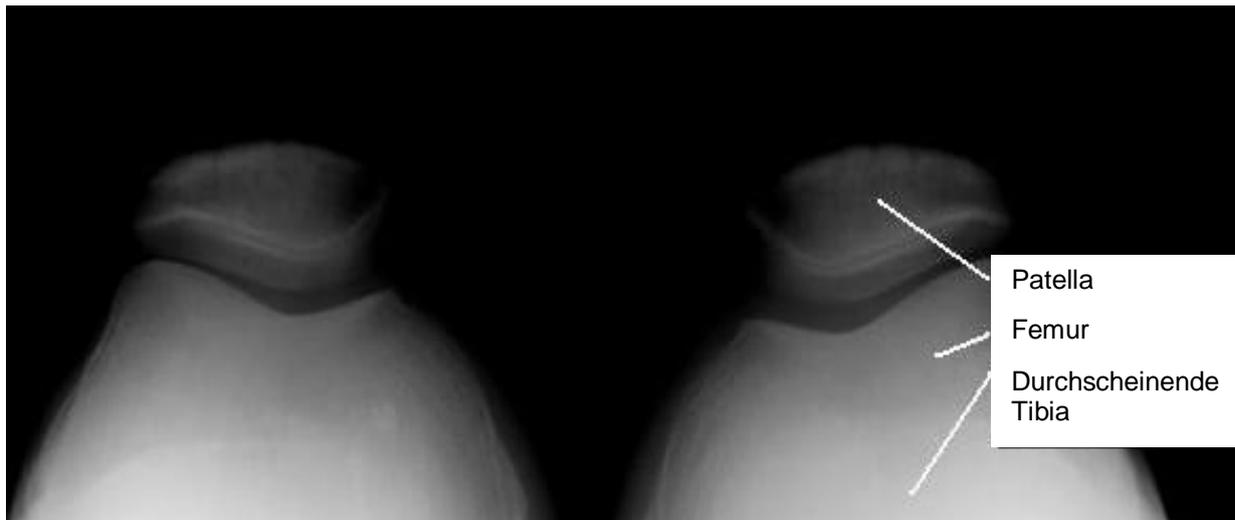


Abbildung 22: Technik zum Ausmessen des Tibiarückfalls als hintere Schublade. Auswertung im Seitenvergleich

Abbildung 23: Röntgenbild des Puddu View. Es zeigt sich die Patella, der Femur und die durch den Femur hindurchscheinende Tibia.

Die Abbildung zeigt das entstandene Röntgenbild: Die Patella, den Femur und die

durch den Femur durchscheinende Tibia. Im Seitenvergleich wird ersichtlich, dass die Tibia auf dem linken Knie im Vergleich zum rechten weiter nach distal gesunken ist. Nun gilt es, dieses Absinken genau zu quantifizieren.

Das untere Bild skizziert die messtechnische Auswertung exemplarisch an dem linken Knie. Durch den Punkt A, den höchsten Punkt auf dem medialen Kondylus, und den Punkt B, den höchsten Punkt des lateralen Kondylus, zieht man eine Strecke. Der Punkt C markiert die tiefste Stelle der Fossa intercondylaris. Nun errichtet man eine Senkrechte zu der Strecke AB, die durch den Punkt C verläuft. Der Punkt D beschreibt dabei den oberen Rand der Tibia. Nun misst man die Strecke CD. Diese stellt im Vergleich der Knie den Seitenunterschied dar (70).

3.2.2. Vergleich der Techniken mit dem Telos Gerät.

Es erfolgte eine Auseinandersetzung mit beiden Durchführungstechniken des oben beschriebenen Telos Gerätes mit dem Zweck, einen Vergleich zu erzielen. Hier wurden nun an einem weiteren, 10 Patienten umfassenden Kollektiv die beiden Varianten vergleichend analysiert.

Die über den Sinn und Zweck der Studie informierten Patienten erklärten sich bereit, an der Studie teilzunehmen. Sie wurden mit beiden Techniken an beiden Knien untersucht und beantworteten gleiche Fragebögen nach Schmerz, Verständnis und Mitarbeit. Es wurde zunächst mit der älteren und anschließend mit der neueren Variante der Technik unter Benutzung des Telos Gerätes untersucht.

3.2.3. Subluxationsindex nach Rosenberg et al.

Rosenberg et al. beschreiben für die vordere Schublade eine neue Variante, welche die Schublade mit der Größe der Femurkondylen ins Verhältnis setzt (73). Wir haben diesen Subluxationsindex (SI) aufgegriffen und modifiziert, um ihn auf die hintere Schublade zu übertragen. Eine Abbildung und die notwendige Formel findet sich im Kapitel 3.9.

3.2.4. Femurkondylenabstand

Auf jedem Röntgenbild mit lateralem Strahlengang wurde ein virtueller Femurkondylenabstand als Maß der Rotationsungenauigkeit bestimmt.

Der virtuelle Femurkondylenabstand, der als Maß der Einstellungsungenauigkeit dient, lässt sich folgendermaßen auf dem Röntgenbild bestimmen: Man legt die posterioren Femurkondylenbereiche fest. Am Wendepunkt der Kondylusgelenkfläche werden die Punkte a und b eingezeichnet. Der Abstand der Punkte a und b gibt den Wert des virtuellen Femurkondylenabstandes in Millimetern wieder.

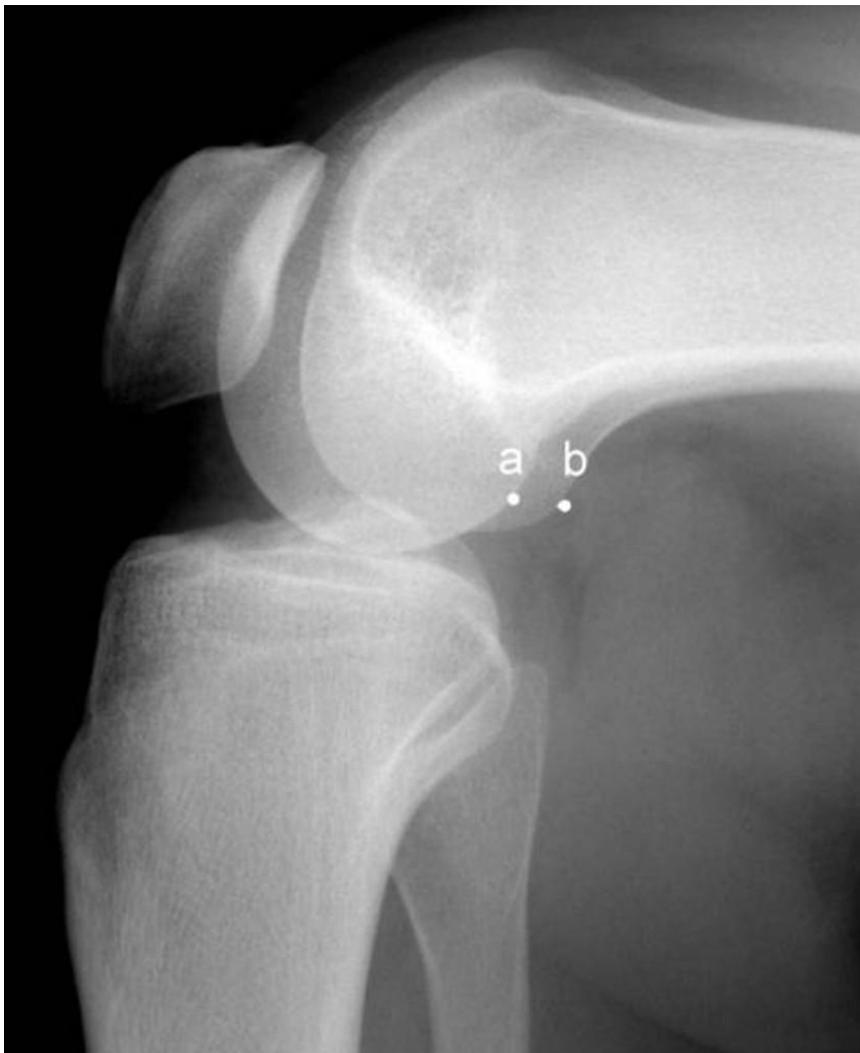


Abbildung 24: Rotationsungenauigkeit bei lateralem Strahlengang.

Der so ermittelte Femurkondylenabstand gilt als Maß für die unexakte Einstellung der Knie durch die Röntgenassistenten. Er wurde auf jedem Bild routinemäßig bestimmt. Da auch bei unsicher einzustellender Technik hin und wieder sehr exakte Aufnahmen

zustande kommen, ist dieser Wert nicht patientenspezifisch und kann nur als Durchschnittswert betrachtet werden. Der Wert ist typisch für die jeweilige Technik, die Röntgenassistenten arbeiten nach bestem Wissen und bestmöglicher manueller Einstellung nach Abschluss einer Lernkurve.

3.2.5. Datenerfassung, Datenanalyse, Statistik

Alle radiologischen Aufnahmen wurden von zwei erfahrenen orthopädischen Röntgenassistenten ausgeführt.

Die Werte der hinteren Schublade der vier lateralen Stress – Aufnahmen in 90° Beugung im Knie wurden mit der Technik nach Jacobson und Stäubli ausgewertet, bei der knöcherne Punkte zu definieren sind, die die tibiale Verschiebung gegenüber des Femurs darstellen (40).

Um die Röntgenzeit zu bestimmen, haben wir die Zeit gemessen, zwischen der der Patient sich vor der Untersuchungseinheit befand und die Röntgenbilder beider Knieaufnahmen angefertigt wurden.

Der Schmerz wurde anhand einer visuellen Analogskala von 1 bis 10 angegeben, wobei 1 keinen Schmerz und 10 den schlimmsten vorstellbaren Schmerz bedeutete, um das Befinden des Patienten während der Untersuchung nachzuvollziehen. Die Frage der Schmerzintensität ließen wir nach der Durchführung aller Aufnahmen vom Patienten beantworten.

Zur statistischen Analyse verwendeten wir den Mann-Whitney- and Wilcoxon rank sum test. Des Weiteren nutzten wir die SPSS software package version 10.0 (SPSS, Chicago, Illinois) und setzten als Wahrscheinlichkeitsintervall $p \leq 0.05$.

4. Ergebnisse

4.1. Gesamter Seitenunterschied

Die eruierten Seitenunterschiede (SSD) der einzelnen Techniken finden sich in folgender Graphik. Der SSD wird in Millimetern gemessen. Er ergibt sich aus der hinteren Schublade des verletzten Knies minus der hinteren Schublade des gesunden Knies entsprechend der Auswertetechnik nach Jacobson et al. (40).

Hierbei zeigt sich, dass die Technik Telos den größten SSD mit durchschnittlich $10,3 \pm 3,2$ mm liefert. Kneeling View mit $10,1 \pm 3,5$ mm, Gravity sag mit $9 \pm 2,3$ mm, Chassaing View mit $8,4 \pm 3,3$ mm und Puddu View mit $8,3 \pm 4,1$ mm folgen in absteigender Reihenfolge.

Signifikante Unterschiede lassen sich für Telos gegen Chassaing View mit $p = 0,03$ sowie Telos gegen Puddu View mit $p = 0,04$ herausstellen. Alle anderen Techniken unterscheiden sich voneinander nicht signifikant.

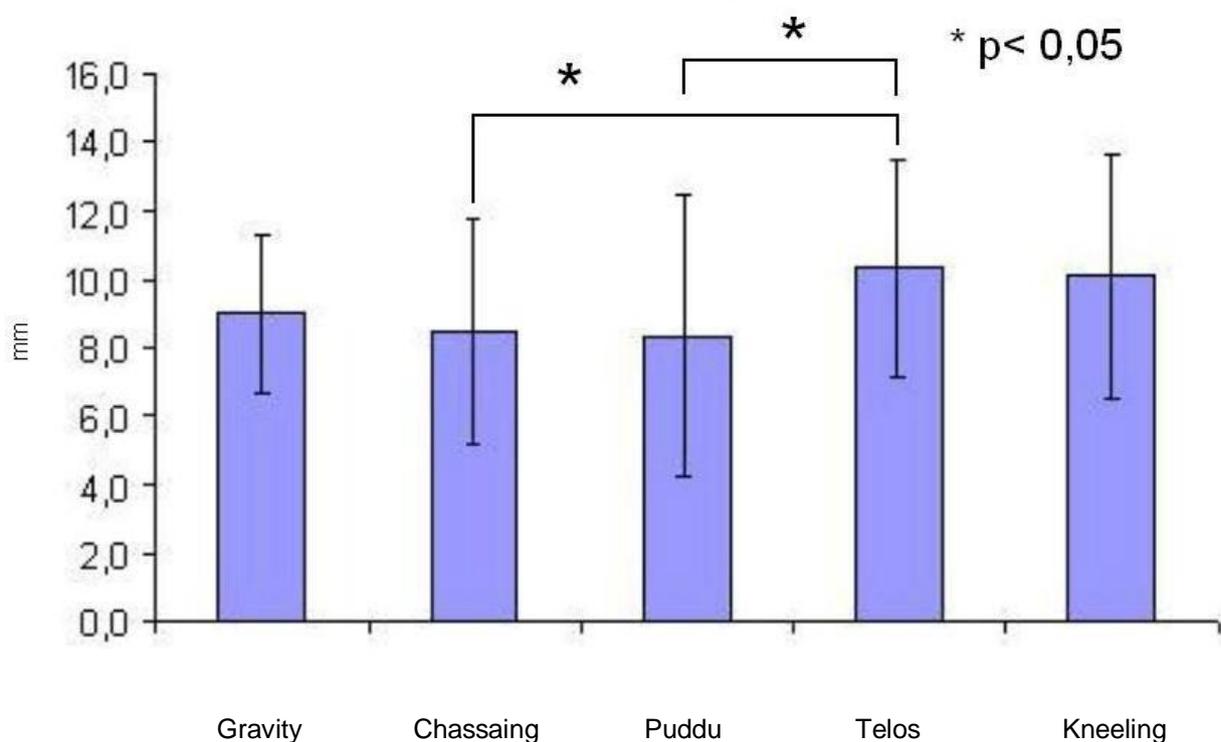


Abbildung 25: Mittelwerte der Seitenunterschiede der einzelnen Techniken und Standardabweichung als Fehlerindikator.

Gravity sag, Chassaing View und Puddu View reproduzieren einen SSD von weniger

als 10 mm. Telos und Kneeling View bilden den SSD mit durchschnittlich über 10 mm am besten ab.

4.2. *Absolut gemessene Schublade*

In folgendem Diagramm sind die gemessenen durchschnittlichen Absolutwerte und die sich ergebenden Standardabweichungen dargestellt. Gemessen wurden die absoluten hinteren Schublade der Technik von Jacobson et al. folgend in Millimetern separat für beide Knie in den Röntgentechniken mit lateralem Strahlengang.

Es zeigt sich, dass Techniken, die eine hohe hintere Schublade im verletzten Knie reproduzieren, auch eine größere Schublade im gesunden Knie erzeugen. Die Schublade werden von unterschiedlich starken Kräften und Kraftapplikationen verursacht.

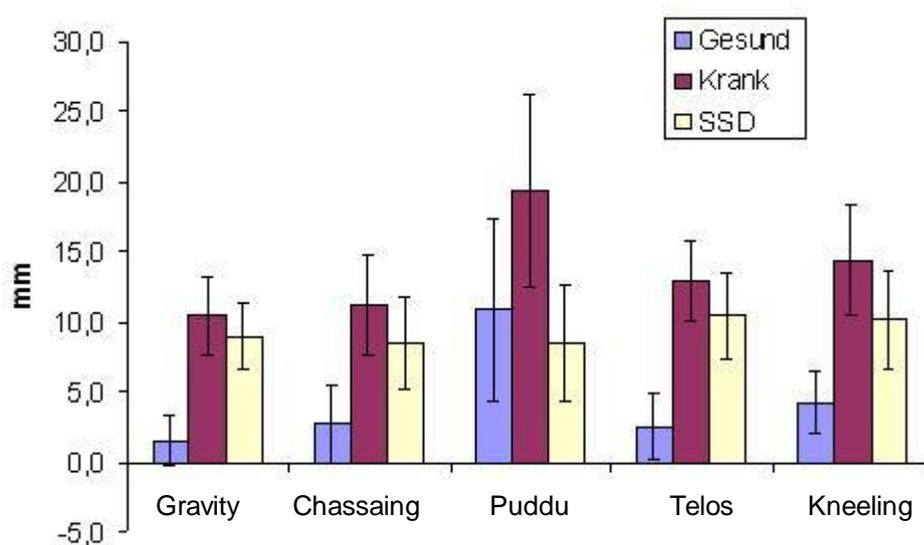


Abbildung 26: Absolutwerte der durchschnittlichen hinteren Schublade der geschädigten und gesunden Knie sowie die Seitenunterschiede. Fehlerindikator als Standardabweichung.

Die Technik nach Puddu fällt durch den veränderten axialen Strahlenverlauf und durch die axiale Auswertetechnik aus der Betrachtungsweise und kann hier nur bedingt mitbeurteilt werden. Denn obwohl hier für die einzelnen Seiten sehr hohe Werte mit großen Standardabweichungen zustande kommen, bildet der SSD mit 8 mm den niedrigsten Wert. Puddu liefert sehr große interindividuelle Unterschiede, weshalb hier die große Standardabweichung erscheint.

4.3. Rotationsabhängiger Seitenunterschied

Für die rotationsabhängige Darstellung des SSD teilten wir die Patienten in 3 Gruppen ein. Dazu wurden zunächst die Rotationsinstabilitäten, die wir präoperativ im Rahmen der klinischen Untersuchung nach IKDC (International Knee Documentation Committee) bei 30° und 90° Flexion eruierten, zu einem Faktor zusammengefasst. Dieser entstand aus dem Produkt der gemessenen Rotationsinstabilität in 30° und in 90° Flexion. Der sich ergebende Faktor war die Grundlage der Gliederung der Patienten in die folgenden 3 Gruppen:

- 4.2.1.3. keine oder leichte Rotationsinstabilität bis 10° (+),
- 4.2.1.4. mäßige Rotationsinstabilität von über 10° bis 20° (++) und
- 4.2.1.5. starke Rotationsinstabilität von mehr als 20° (+++).

Es wurden 13 Patienten in die 1. Gruppe, 11 Patienten in die 2. Gruppe und 4 Patienten in die 3. Gruppe eingeteilt. Bei einem Patienten konnten keine Messungen vorgenommen werden. Ein weiterer Patient hatte eine so stark ausgeprägte Rotationsinstabilität, dass er keiner Gruppe zugeordnet werden konnte.

Es zeigt sich, dass bei den Techniken, die in lateralem Strahlengang aufgenommen werden, die größte rotatorische Instabilität immer auch mit dem größten Seitenunterschied (SSD) vergesellschaftet ist. Signifikant ist der SSD in der Technik Gravity sag zwischen der ersten und dritten Gruppe, sowie zwischen der zweiten und dritten Gruppe. Weiterhin kann im Kneeling View eine Signifikanz zwischen der 1. und der dritten Gruppe aufgezeigt werden. Weitere Signifikanzen ergeben sich nicht.

Im Puddu View stellt sich die Rotationsabhängigkeit gegenteilig dar. Die Patienten mit der geringsten rotatorischen Instabilität zeigen auf niedrigem Niveau die größten Seit zu Seit Unterschiede. Signifikanzen lassen sich hier nicht nachweisen.

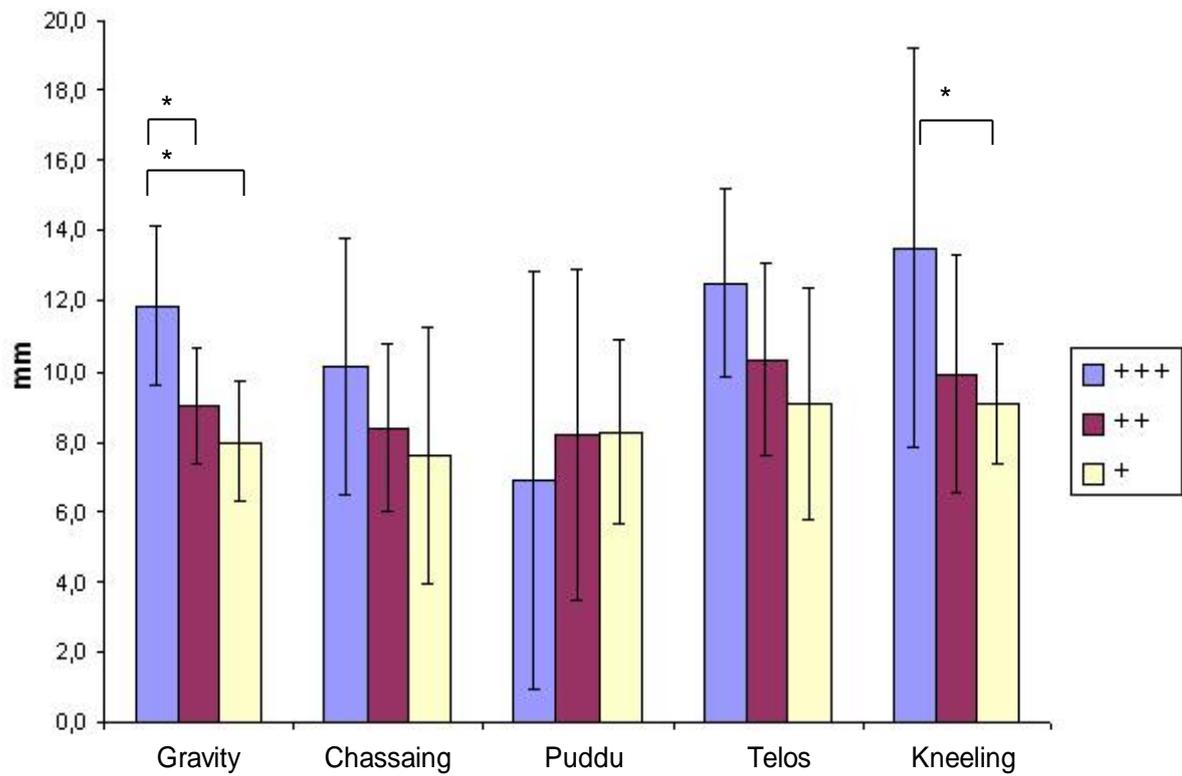


Abbildung 27: Einfluss der posterolateralen Gelenkecke (Rotation) auf die hintere Schublade; [+] bis 10° Rotation, [++] bis 20° Rotation, [+++] mehr als 30° Rotation; *: $p > 0,05$

4.4. Femurkondylenabstand

Bei den Röntgenuntersuchungen fielen aufgrund von Rotationsfehlern im Oberschenkel leichte Abweichungen von der streng lateralen Aufnahmeweise der Technikvorgaben auf. Diese Abweichungen wurden für jedes Röntgenbild genau nach in Kapitel 3.2.4. beschriebenem Verfahren quantifiziert.

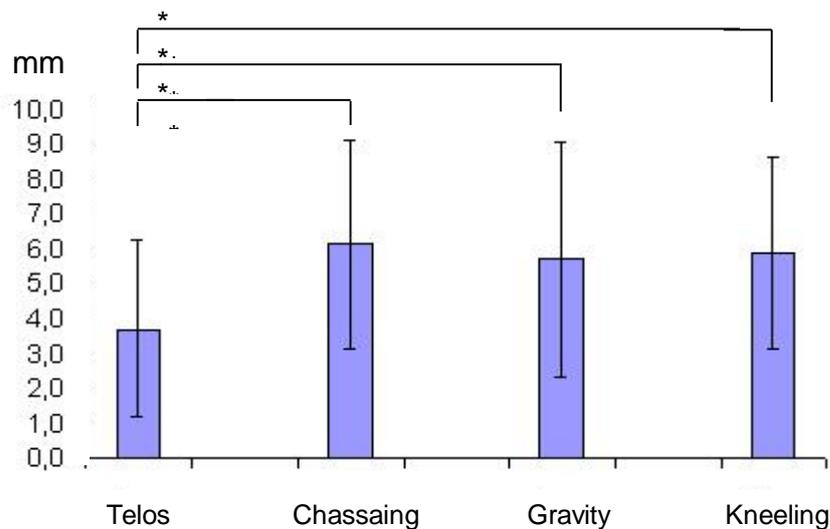


Abbildung 28: Femurkondylenabstand der lateralen Techniken im Vergleich mit Standardabweichung; *: $p > 0,05$

Es zeigt sich, dass die Technik Telos den geringsten FKA aufweist. Sie ist damit in diesem Punkt den anderen Techniken überlegen. Durchschnittlich sind die Femurkondylen 3,7 mm zueinander verschoben. Bei den anderen drei Techniken liegt dieser Wert um 6 mm. Telos unterscheidet sich hier signifikant von den anderen drei Techniken und kann so als rotationsunanfällig eingestuft werden. Es stellt sich heraus, dass sich durch die Fixierung mit dem Telos Gerät eine Stabilisierung des Knies erreichen lässt. Der Ausbruch in eine Rotation wird dadurch massiv eingeschränkt.

Die Frage, ob die Schädigung des Knies einen Einfluss auf die rotatorische Bildeinstellungenauigkeit hat, kann bei Telos, Gravity sag und Chassaing View verneint werden. Wie das hier abgebildete Diagramm darstellt, gibt es bei den genannten Techniken keine signifikanten Unterschiede zwischen dem FKA des gesunden und des geschädigten Knies.

Bei Kneeling zeigt sich jedoch ein nicht signifikanter Unterschied des FKA vom

verletzten zum gesunden Knie von 0,6 mm. Der FKA ist im gesunden Knie unsignifikant etwas kleiner als im verletzten. Dies kann mit der schmerzbedingten Muskelverspannung und der damit verbundenen Destabilisierung erklärt werden.

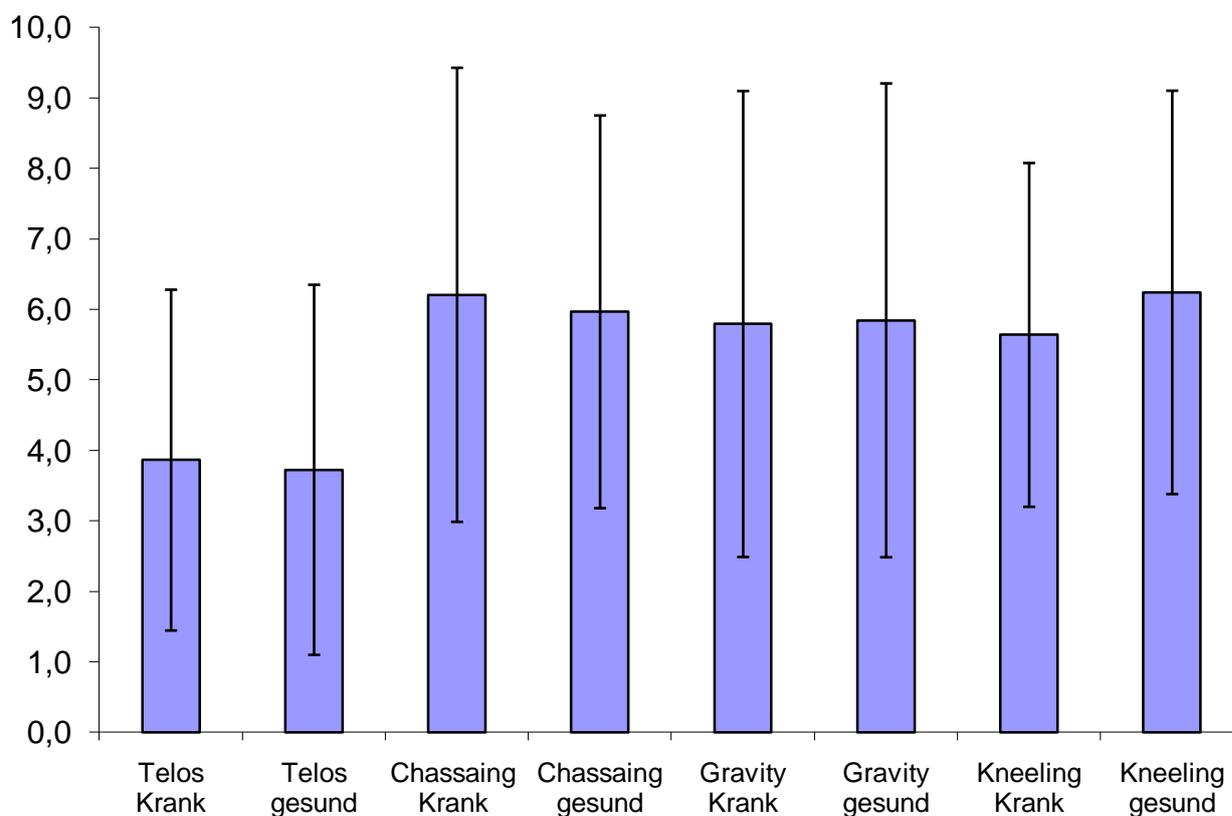


Abbildung 29: Femurkondylenabstand: bezogen auf das geschädigte oder das gesunde Knie

Puddu wird hier nicht mitbetrachtet. Durch die axiale Aufnahmetechnik kommt es nicht zu Rotationsungenauigkeiten. Das erleichtert die Auswertung dieser Röntgenbilder. Es muss auch kein Mittelwert für die Femurkondylen gebildet werden.

4.5. Röntgenzeit

Einen weiteren wichtigen Parameter stellt die Zeit dar, die die Medizinisch – Technischen Assistenten für die einzelne Röntgenuntersuchung benötigen. Hier ist als Beginn der Zeitpunkt definiert, zu dem sich der Patient vor dem Röntgentisch oder Röntgenstuhl befindet und die MTA-R dem Patienten entsprechende Anweisungen gibt. Die Messung gilt als beendet, wenn die Röntgenplatte in die Entwicklungseinheit eingebracht ist.

Die Untersuchungen wurden bei jeder Zeitmessung von zwei eingearbeiteten Medizinisch – Technischen Röntgenassistenten durchgeführt, die mit den Techniken vertraut waren. Es konnten somit 15 Zeitmessungen durchgeführt werden.

Deutlich erkennbar ist, dass die Technik nach Puddu die geringste Zeit mit 115 ± 21 s benötigt. Dies lässt sich damit erklären, dass bei Puddu nur ein Bild angefertigt werden muss. Bei allen anderen Techniken wird jedes Knie separat geröntgt und somit die Röntgenzeit nahezu verdoppelt. Die erste der einzelnen Aufnahmen der jeweiligen Technik dauert konstant länger, da der Patient erst instruiert werden muss und sich auf die Anweisungen einstellen soll. Die Röntgenuntersuchungen mit dem Telos Gerät benötigen aufgrund der langen Einstellungsmodalitäten die längste Zeit mit durchschnittlich 305 ± 63 s. Die anderen Techniken unterscheiden sich kaum und liegen um 220 ± 61 s. für die Durchführung der beiden Aufnahmen.

Puddu unterscheidet sich signifikant als kürzeste Röntgenuntersuchung von den anderen Techniken mit $p < 0,0007$. Telos ist signifikant als die zeitintensivste Technik mit $p < 0,006$ hervorgetreten. Die Techniken Kneeling View, Chassaing View und Gravity sag unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

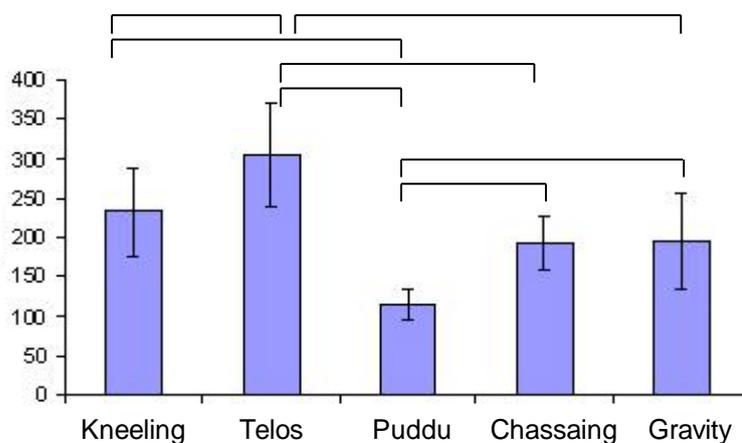


Abbildung 30: Röntgenzeit für die einzelnen Techniken mit Standardabweichung in Sekunden, Signifikanzen $p > 0,05$ eingezeichnet

4.6. Schmerz

Nach jeder Röntgensitzung wurden allen Patienten zu jeder Technik Fragen gestellt. Ziel war es, die Schmerzen, die der Patient während der Untersuchung erlebte, anhand

einer visuellen Analogskala von 1 bis 10 zu erfassen. Folgende Frage wurde formuliert: „Hatten Sie bzw. wie stark waren die Schmerzen bei der Röntgenaufnahme? (1 = keine Schmerzen bis 10 = nicht aushaltbare Schmerzen)“. Die Techniken Gravity sag und Puddu verursachten praktisch keine Schmerzen. Gelegentlich beschrieben einige Patienten ein gewisses Unwohlsein. Bei Kneeling View und Chassaing View kam es bei einigen Patienten zu leichten Schmerzen. Die meisten Schmerzen wurden bei Telos empfunden. Signifikant unterscheiden sich Telos und Kneeling als schmerzhaft von Gravity sag, Chassaing und Puddu als nicht schmerzhaft mit je $p < 0,001$. Zwischen den schmerzhaften Untersuchungsmethoden Kneeling und Telos sowie den anderen nicht schmerzhaften Techniken Gravity sag, Chassaing und Puddu gibt es keinen signifikanten Unterschied mit $p > 0,1$.

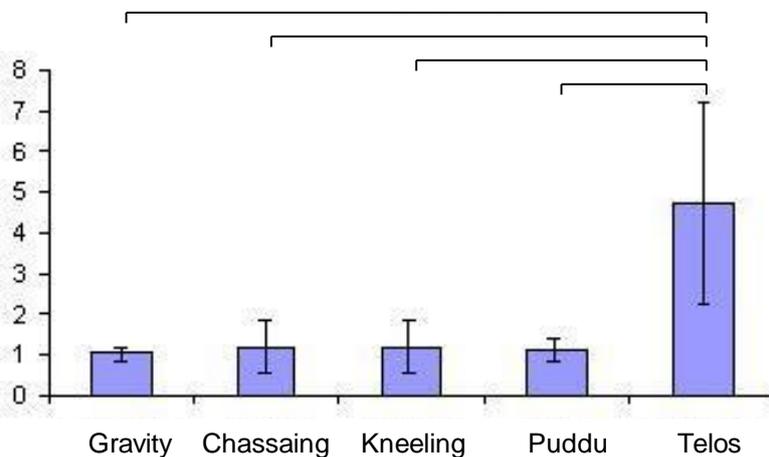


Abbildung 31:
Schmerzepfinden als
visuelle Analogskala, von 1:
keine Schmerzen bis 10:
maximale Schmerzen,
Signifikanzen $p > 0,05$
eingezeichnet

4.7. Einfluss von Größe und BMI auf den Seitenunterschied

Bei Aufnahme wurden die Patienten im Rahmen der allgemeinen Anamnese zu Gewicht und Größe befragt, und es wurde der BMI nach bekannter Formel ermittelt.

Ein Zusammenhang zwischen Größe und SSD oder BMI und SSD konnte jedoch nicht gefunden werden und scheint auf die Größe des SSD keinen Einfluss zu haben.

4.8. Vergleich der Telos Techniken

Wir verglichen die Röntgenuntersuchung mit dem Telos Gerät nach der älteren Technik mit dem Femurkondylenstempel und einer Kraftapplikation von 20 kp mit der neueren Technik, bei der ohne Femurkondylenstempel gearbeitet wurde und deren Kraftapplikation 15 kp betrug. Die Durchführungstechniken sind im Abschnitt „Material und Methoden“ genau beschrieben. Wir verglichen die Techniken bezüglich des Seitenunterschiedes (SSD), der rotatorischen Ungenauigkeit (FKA), und des Schmerzempfindens.

Der SSD zeigt ähnliche Werte für beide Protokolle. Sie liegen für die alte Technik bei $11,23 \pm 3,6$ mm und für die neue bei $11,46 \pm 4,4$ mm. Eine Signifikanz lässt sich nicht nachweisen.

Die durch den Femurkondylenstempel vor Rotation geschützte ältere Technik zeigt einen signifikant geringeren FKA mit $5,3 \pm 2,4$ mm im Vergleich zu der neueren Technik ohne den Stempel mit $8,1 \pm 4,8$ mm bei $p < 0,03$.

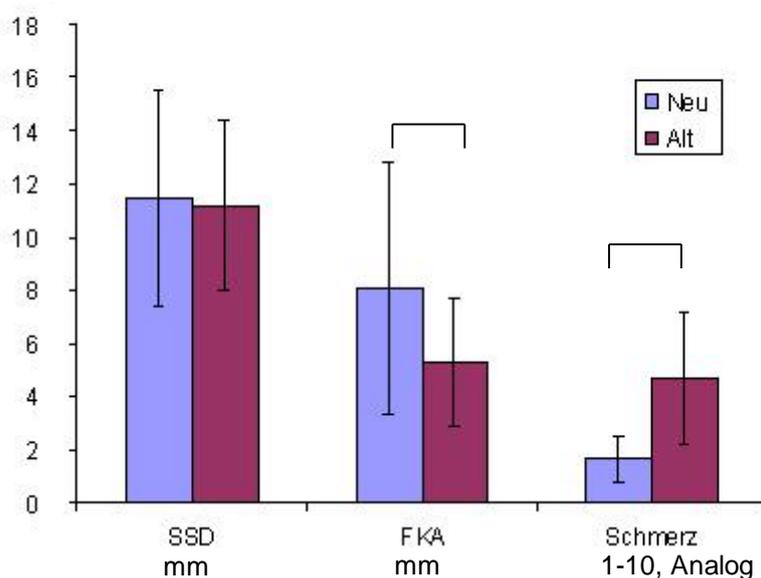


Abbildung 32: Vergleich der Telos- Untersuchungsvarianten „neu“ versus „alt“ hinsichtlich Seitenunterschied, Femurkondylenabstand und Schmerzempfinden, Signifikanzen $p > 0,05$ eingezeichnet

Da der Stempel in der älteren Technik eine der Hauptquellen der Schmerzen ist, finden sich bei der Beurteilung der Schmerzen für die ältere Technik höhere Werte von

durchschnittlich 4,71 zu 1,65 auf der visuellen Analogskala bei der neuen Technik mit einer Signifikanz von $p < 0,001$.

4.9. *Der Subluxationsindex nach Rosenberg*

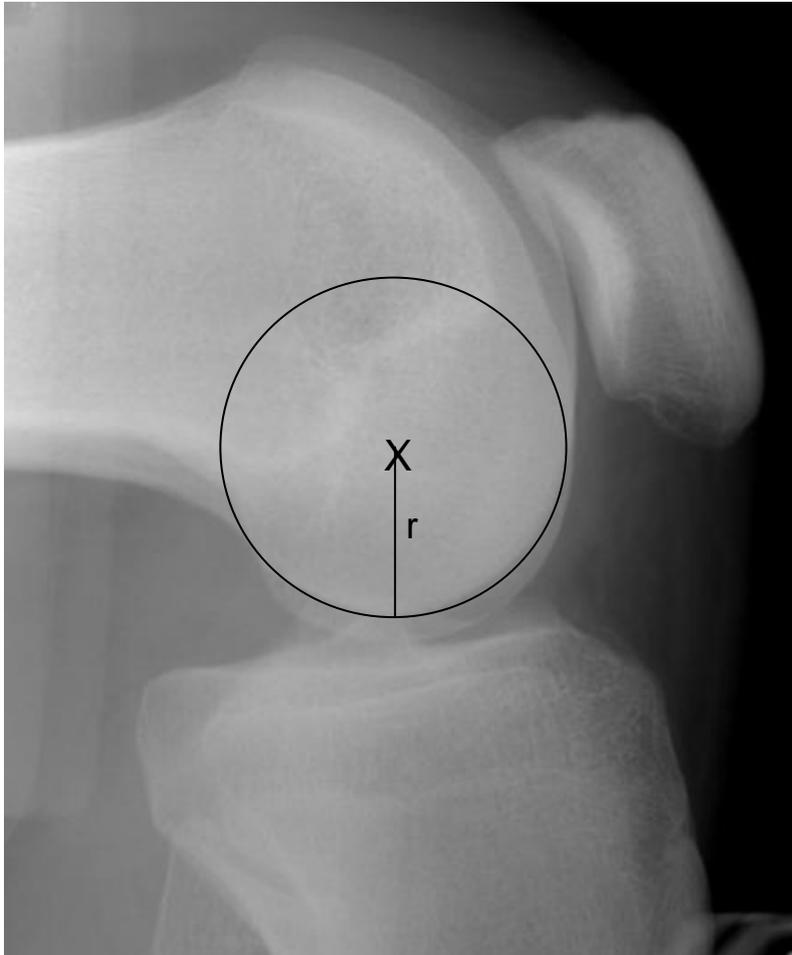


Abbildung 33: Ermittlung des Rosenbergindex. Hier Kreisbogen um die Femurkondyle. Der Radius r wird gemessen.

Es wurden auf allen lateralen Telos – Röntgenaufnahmen die Femurkondylen-Durchmesser eruiert. Wir legten dazu einen Kreisbogen um die Kondylen und bestimmten den Durchmesser ($2 \times r$) dieses Kreises.

Rosenberg et al. schlagen vor, den SSD in Abhängigkeit zu dem Kondylendurchmesser zu setzen, um klinisch einen individuellen SSD zu errechnen. Wir übertrugen das Konzept, welches von Rosenberg et al. für die vordere Schublade vorgestellt wurde, auf

die hintere Schublade.

Nun setzten wir, Rosenberg et al. folgend, die Kondylendurchmesser mit der hinteren Schublade ins Verhältnis. Die hieraus ermittelten Werte liegen bei $2,88 \pm 0,75$ für das verletzte Knie. Es lässt sich somit ein indizierter SSD nach Rosenberg von $2,33 \pm 0,76$ errechnen. Damit unterscheiden sich die Werte von denen mit Telos bestimmten Schubladen um den Faktor $4,34 \pm 0,37$.

Um einen realen Millimeterwert zu reproduzieren und diesen in einem zur gemessenen Schublade vergleichbaren Zahlenwert darzustellen, multiplizierten wir das Verhältnis mit dem Kondylendurchschnitt. Wir unterschieden bei der Berechnung die Geschlechter.

Wir bestimmten nun die Durchschnittswerte für die Kondylendurchmesser getrennt für Männer und Frauen. Die Berechnung ergab, dass Frauen mit $4,01 \pm 0,31$ cm einen geringeren durchschnittlichen Kondylendurchmesser als Männer mit $4,45 \pm 0,32$ cm besitzen. Der Unterschied ist mit $p < 0,0001$ signifikant.

Nebenstehende Formel war Grundlage der Berechnungen für den modifizierten Subluxationsindex (SI(mod)):

$$\text{SI(mod)} = \frac{\text{(Hintere Schublade)}}{\text{(Kondylendurchmesser)}} \times \frac{\text{Durchschnittlicher Kondylendurchmesser}}{\text{Kondylendurchmesser}}$$

Abbildung 34: Gleichung zur Berechnung des modifizierten Subluxationsindex nach Rosenberg SI(mod).

Es konnte für Männer ein SI(mod) von 12,39 mm für die verletzte Seite berechnet werden. Die durchschnittliche Schublade in Telos beträgt bei Männern für die verletzte Seite 12,31 mm. Berechnet man nun den Seitenunterschied (SSD), kommt man zu einem ähnlichen Bild. So misst der SSD der SI(mod) 10,16 mm und der SSD von Telos 10,17 mm. Damit unterscheiden sich die errechneten Werte nicht.

Für die untersuchten Frauen zeigt sich ein vergleichbarer Sachverhalt. So liegen die Werte bei alleiniger Betrachtung des verletzten Knies bei 12,92 mm für SI(mod) und bei 12,75 mm für Telos. Hinsichtlich der Seitenunterschiede liegen die Werte bei 10,04 mm für SI(mod) und bei 10,0 mm für Telos.

Es konnte somit kein statistischer Unterschied zwischen der Schublade und dem modifizierten Rosenberg Index herausgearbeitet werden.

5. Diskussion

Bei der Diagnostik von hinteren Kreuzbandverletzungen ist eine zügige Diagnostik und Therapie für die weitere Mobilität des Patienten entscheidend.

Obwohl frühere Studien belegen, dass gehaltene Röntgenaufnahmen die hintere Schublade genau darstellen, werden diese Verfahren nur von wenigen Kliniken in der Routinediagnostik eingesetzt, um eine genaue Analyse der hinteren Kreuzbandverletzungen durchzuführen (40).

Die umfassende Evaluation und Einschätzung der Laxizität des Knies ist eine wesentliche Voraussetzung, um den Grad der Instabilität erfassen zu können. Hierzu wurden verschiedene Untersuchungsmethoden entwickelt, die die Binnenstrukturen des Knies in den entsprechenden Funktionsstellungen analysieren. Für das hintere Kreuzband stellen der hintere Schubladentest und der Stepp off Test die wichtigsten klinischen Untersuchungstechniken dar (11;16;100).

Obwohl die genaue Beurteilung der vorderen Schublade bei einem am vorderen Kreuzband geschädigten Knie gut gelingt, ist dies bei der hinteren Schublade eines hinteren Kreuzbandschadens viel schwieriger. So kommt es nicht selten zu Fehlinterpretationen einer Schädigung des vorderen Kreuzbandes durch die vermeintliche Annahme einer vorderen Schublade (33).

Aktuelle epidemiologische Studien zeigen, dass hintere Kreuzbandverletzungen weitaus häufiger vorkommen, als erwartet. Sie liegen bei bis zu 44 % der schweren Knieverletzungen in bestimmten Unfallpopulationen vor (20;30;49;82).

Viele dieser Verletzungen des hinteren Kreuzbandes werden nicht in der ersten klinischen Untersuchung nach dem Unfallereignis diagnostiziert. Hier sind vor allem die isolierten hinteren Kreuzbandläsionen zu erwähnen (21;33;82). Sie fallen dann erst später bei Routineuntersuchungen in der Nachsorge auf. Oft sind es erst die Folgeschäden, die den Patienten zur Abklärung führen. Dieses Fehlen der frühzeitigen Diagnosestellung verhindert nicht selten eine zeitgerechte therapeutische Versorgung. Dieser vermeidbare Zeitverlust zieht degenerative Folgeschäden, wie die Arthrose des Kniegelenks oder auch degenerative Schäden der umgebenden Weichteile nach sich (92).

Bei der deutlich häufigeren vorderen Kreuzbandläsion ist eine Beteiligung des hinteren

Kreuzbandes bei persistierender Laxizität nicht selten. Eine Untersuchung des hinteren Kreuzbandes vor geplanter Therapie einer vorderen Kreuzbandläsion im Rahmen von Stress – Röntgenuntersuchungen wird hier empfohlen (98).

Wir untersuchten 30 Patienten mit einer gesicherten einseitigen hinteren Kreuzbandläsion mit fünf verschiedenen Stress – Röntgentechniken und ließen die Patienten anschließend einen detaillierten Fragebogen über die Untersuchungen und Untersuchungsbedingungen ausfüllen.

Es ließen sich signifikante Unterschiede in den ermittelten Seitendifferenzen (SSD) der einzelnen Techniken herausarbeiten. So kann der größte SSD mit Telos gemessen werden. In absteigender Reihenfolge des SSD zeigen sich Kneeling View, Gravity sag, Chassaing View und Puddu View.

Die Werte der absolut gemessenen Schubladen der einzelnen Techniken weisen deutliche Unterschiede auf. So fällt bei Kneeling View auch im gesunden Knie eine ausgeprägte hintere Schublade auf, wohingegen bei Gravity sag nur eine wesentlich kleinere Schublade im gesunden Knie gemessen werden kann. Telos und Chassaing View erreichen mittlere Werte für die gesunde hintere Schublade. Puddu View fällt hier durch die axiale Röntgentechnik aus dem Vergleich.

In allen Techniken außer Puddu lässt sich ein positiver, teils signifikanter Zusammenhang zwischen Außenrotation und hinterer Schublade darstellen. Je größer die Außenrotation, desto größer ist auch die hintere Schublade.

Der virtuelle Femurkondylenabstand zeigt als Maß für Rotationsungenauigkeiten, dass Telos signifikant die beste Aufnahmequalität liefert. Alle anderen Techniken im seitlichen Strahlengang sind ungenauer einzustellen. Puddu als Aufnahme mit axialem Strahlengang kann hier nicht mitbetrachtet werden.

Weiterhin wurden die Zeit für die Aufnahmen sowie die verursachten Schmerzen analysiert. Puddu, als Aufnahmetechnik beider Knie in axialem Strahlengang, kann am schnellsten durchgeführt werden. Durch den Geräteaufbau beansprucht Telos die längste Zeit. Schmerzen bereiten vor allem Telos – Aufnahmen. Hier zeigt insbesondere die ältere Technik mit dem Kondylenstempel einen deutlichen Schmerzanstieg. Die anderen Techniken verursachen allenfalls ein unangenehmes Druckgefühl.

Im Vergleich der Telos Techniken stellt sich dar, dass sich bei nahezu gleicher Seitendifferenz der Schmerz mit der neuen Variante um mehr als die Hälfte reduzieren lässt, was jedoch zu Lasten eines höheren Femurkondylenabstandes, als Maß für den

Rotationsfehler, geht.

Im Vergleich mit der von Rosenberg et al. vorgeschlagenen Modifizierung der Seitendifferenz in Abhängigkeit des Kondylendurchmessers lassen sich keine eindeutigen Unterschiede oder Vorteile reproduzieren.

Die gehaltenen Röntgenaufnahmen erlauben eine Gliederung in verschiedene, grundlegende Durchführungsmodalitäten. So schlagen Deltour et al. eine Einteilung nach: 1. manueller Einstellung, 2. Einstellung mittels a. Gravitationskraft oder b. Muskelkraft und 3. maschinelle Einstellung vor (19;54).

Manuelles Einstellen erfolgte in unserer Studie bei dem Gravity sag View. Hier wurde jedoch nur die rotationsgenaue Einstellung durch den Untersucher durchgeführt, so dass diese Technik auch der gravitationsbezogenen, 2a, zugeordnet worden ist. Der generelle Vorteil des manuellen Einstellens liegt darin begründet, dass hier individuell vom Untersucher die Kräfte bestimmt werden können, die zur Schublade führen. Auch kann der Untersucher durch Rotation des Knies die Schädigung der lateralen und medialen Bandstrukturen objektiver als in der klinischen Untersuchung beurteilen. Als Nachteil ist zu nennen, dass die Anwesenheit des Untersuchers während der Aufnahme erforderlich ist, der sich somit der Röntgenstreustrahlung aussetzt. Weiterhin werden diverse Untersucher im Sinne einer interobserver variability unterschiedliche individuelle Kräfte ausüben und dadurch verschiedene Werte ermitteln, was zu einer eingeschränkten Präzision und Reproduzierbarkeit führt.

Der zweiten Gruppe der Schubladenauslösung haben wir den Gravity sag View, Kneeling View und Puddu View als Vertreter des schwerkraftvermittelten Stresses, und Chassaing View als Vertreter des muskelkraftvermittelten Stresses zugeordnet. Der Vorteil ist in der relativ zum Körpergewicht zugeordneten Kraftzufuhr für die Schubladenauslösung zu sehen. Damit kommt es zu einer individuell angepassten Kraftdosierung. Die Durchführung der Aufnahme ohne den Untersucher stellt einen strahlenschutztechnischen Vorteil dar. Die Nachteile liegen hier in der Patientenabhängigkeit. So ist gerade bei Kneeling durch Schmerzen eine gleichmäßige Gewichtsverteilung auf beide Knie nicht immer gegeben und lässt sich schwer kontrollieren. Hier sind vor allem die Patienten mit persistierenden Knieschmerzen und mit frischen Rupturen betroffen. Weiterhin kann es bei fehlender Entspannungsfähigkeit bei Puddu oder Gravity sag z. B. bei muskulären Verspannungen zu Verminderungen der tatsächlich zu ermittelnden Schublade kommen.

Chassaing View wird durch die Muskelkraft des Patienten ausgelöst und so auch zur zweiten Gruppe zugeordnet. Bei dieser Technik steht die Frage nach der gleichseitigen muskulären Konstitution des Patienten im Fordergrund. Vor allem chronische HKB – Läsionen können dazu führen, dass nach Schonhaltungen oder dem Tragen von Schienen muskuläre Defizite auf der verletzten Seite entstehen. Diese äußern sich in einer schlechteren Kraftentwicklung und damit geringeren hinteren Schublade. Durch die Kontraktion kam es bei unseren Untersuchungen regelmäßig zu Schwierigkeiten und Abweichungen bei der genauen lateralen Einstellung, was sich in einem hohen virtuellen Femurkondylenabstand deutlich zeigt.

Die dritte Gruppe wird von der mechanischen Technik gebildet. Telos stellt hier unseren Vertreter dar. Es lassen sich viele Vorteile erkennen. So ist die Technik unabhängig vom Untersucher und kann an verschiedenen Zentren durchgeführt, verglichen und gleichgesetzt werden. Die definierte Kraft und die genormte Durchführungsweise schaffen gleiche Voraussetzungen bei der Beurteilbarkeit von Läsionen. Der Strahlenschutz für den Untersucher ist gegeben, da er nicht bei der Durchführung der Röntgenaufnahme anwesend sein muss. Nachteilig sind die durch die Stempelkräfte ausgelösten zum Teil erheblichen Schmerzen.

Es lässt sich sagen, dass die mechanischen Tests den anderen überlegen sind. Die gravitationsbezogenen Röntgenuntersuchungen, vor allem Kneeling, haben bei Nichtvorhandensein der entsprechenden Geräte eine nur leicht verminderte Aussagekraft.

In der Literatur wird vielfach auf die guten Heilungstendenzen des hinteren Kreuzbandes verwiesen (82;84). Ursächlich hierfür ist die gute Durchblutungssituation des Bandes (7;68;77). Um diese Heilungschance nicht zu beeinträchtigen, sollten gehaltene Aufnahmen in der Akutphase bis zum 10. bzw. maximal 12. Tag nach dem Unfall angefertigt werden (43). Sollte eine Untersuchung des Kreuzbandes später nötig sein, wird die MRT oder die Sonographie empfohlen (33;43;99).

Die einzelnen Techniken wurden über einen Zeitraum von 8 Jahren vorgestellt.

Die Durchführung von Telos funktioniert unter Zuhilfenahme eines Kraftapplikators und Fixation des Knies in 90° Flexion und erlaubt so die konkrete Einstellung einer exakten, definierten und reproduzierbaren Kraft und genauer Winkel im Knie. Verschiedene Studien zeigen, dass man mit unterschiedlichen Winkeln verschiedene Schubladen bestimmen kann. So untersuchten Stäubli et al. posteriore Instabilitäten bei nahezu gestrecktem Knie. Sie zeigen, dass bei dieser Streckhaltung der Einfluss der

posterolateralen und posteromedialen Bandstrukturen recht hoch ist (86). Zur Beurteilung der Funktion des hinteren Kreuzbandes eignet sich jedoch die Untersuchung bei 70 – 90° Flexion (53). Hier wird bei posteriorem Stress fast ausschließlich das hintere Kreuzband gespannt. Schulz et al. zeigen, dass Stress – Röntgenaufnahmen in 90° Flexion unter Benutzung der Telos Einheit eine hohe Reliabilität zur Evaluation der hinteren Schublade bei Knien mit einer hinteren Kreuzbandläsion haben (79). In dieser Einstellung wird auch von Hewett et al. gezeigt, dass sich komplette von teilweisen Rupturen des hinteren Kreuzbandes signifikant um ein SSD von 6,5 mm unterscheiden (32).

Wir wählten dementsprechend für unsere Studie die Untersuchung bei 90° Flexion, da diese verschiedene Vorteile hat. So lässt sich zum einen der Winkel gut einstellen, und zum anderen ist die direkte Vergleichbarkeit mit den anderen Techniken gegeben. Es resultiert eine Seitendifferenz von $8,6 \pm 2,8$ mm bei isolierten HKB – Läsionen und $11,4 \pm 3,0$ mm bei kombinierten HKB – und posterolateralen Läsionen. Damit lassen sich die Werte von Margheritini et al. von $5 \pm 3,5$ mm für isolierte HKB – Verletzungen und $10,9 \pm 4,1$ mm für kombinierte HKB – und PL – Läsionen ungefähr reproduzieren (53). Auch die von Schulz et al. 2007 erhobenen Werte von $11,58 \pm 4,31$ mm decken sich weitgehend mit unseren Ergebnissen (80).

Bartlett et al. stellten 2003 die Röntgentechnik Kneeling View vor. Hier wird die hintere Schublade durch das Gewicht des Patienten ausgelöst (5). Der Patient kniet auf der Tuberositas tibiae und belastet so das HKB. Dadurch drückt er die Tibia in die hintere Schublade. Bei dieser Technik wirken hohe Kräfte. Es können große Schubladen gemessen werden. Die Werte liegen im Bereich derer, die sich auch für Telos bestimmen lassen. Es werden für die isolierte HKB – Läsion $9,7 \pm 1,7$ mm und für die kombinierte HKB – und posterolaterale Läsion $10,3 \pm 3,9$ mm gemessen. Eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von Bartlett et al. ist nicht möglich. Diese Studie, die die Röntgentechnik vorstellt, beschäftigt sich mit der Knieendoprothetik (5). Jackman et al. zeigen, dass Kneeling View eine gut reproduzierbare Methode ist, die hintere Schublade konstant darzustellen. Jedoch fallen teilweise signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Untersuchern bei der Auswertung der Röntgenbilder auf (39).

Kneeling ist jedoch gerade bei frischen Knieverletzungen schmerzbedingt kaum möglich. Diese Technik ist auch bei der akuten Verletzung zu vermeiden, um die Heilungspotenzen des hinteren Kreuzbandes nicht zu mindern. Auch bei den

chronischen HKB – Läsionen wird diese Technik neben Telos als sehr schmerzhaft eingeschätzt. So liegen die Schmerzen durchschnittlich bei 3,0 und bei Telos bei 3,3 auf einer Skala von 1 – 10. Größere Schmerzen führen wieder zu einer stärkeren muskulären Anspannung des Patienten, welche die Bandbeurteilung erschwert.

Da die Schublade ähnlich groß ist, wie die bei Telos, kann diese Technik bei Tolerierung des Patienten empfohlen werden.

Die im Jahre 2000 von Puddu et al. vorgestellte axiale Knie-Röntgenuntersuchung, Puddu View, wird als einfach, günstig und schnell beschrieben (70). Dies konnte bestätigt werden. So benötigt eine Aufnahme nach Puddu, in der beide Knie untersucht werden können, nur eine Röntgenaufnahme. Dadurch werden sowohl die Röntgenkosten als auch die Strahlendosis niedrig gehalten. Auch die Aufnahmezeit ist signifikant kürzer als bei allen anderen untersuchten Techniken. Wir benötigten durchschnittlich 115 Sekunden für die Untersuchung beider Knie, bei den anderen Techniken lagen die Werte zwischen 192 und 309 Sekunden.

Jedoch zeigt der Puddu View die niedrigste Seitendifferenz für die hintere Schublade. Die Werte liegen bei $7,2 \pm 2,8$ mm für isolierte HKB – Läsionen und bei $8,6 \pm 3,6$ mm für kombinierte HKB – und posterolaterale Läsionen. Die Werte entsprechen für die kombinierten Verletzungen ungefähr denen, die Puddu et al. und Margheritini et al. in ihren Studien veröffentlichten (53;70). Bei isolierten hinteren Kreuzbandläsionen konnten wir höhere Werte als von Margheritini et al., die in seiner Studie bei $4 \pm 2,2$ mm lagen, ermitteln (53).

Die gemessenen Zahlen zeigen aber auch, dass der Puddu View nicht für präoperative Planungen einer Indikation zum Bandersatz geeignet ist und deshalb nicht in der Routine empfohlen werden kann.

Shino et al. stellten 2000 eine radiologische Technik vor, den Gravity sag View. Dies ist eine hintere Schublade – Stressaufnahme ohne direkte Stressapplikation in 90° Flexion (83). Wir nutzten diese Technik in Anlehnung an die Beschreibung Shinos. Jedoch beugten wir den Patienten in der Hüfte um 90° und hielten den Fuß und die Röntgenkassette mit der Hand. Wir ließen den Patienten im Knie entspannen und trugen das Gewicht des Patientenunterschenkels an der Ferse in der Hand. Dadurch konnten wir erstens kontrollieren, ob der Patient wirklich entspannt, und zweitens ließen sich die Rotationsungenauigkeiten durch Drehungen des Fußes teilweise ausgleichen. Es zeigt sich eine Seitendifferenz von $8,4 \pm 1,9$ mm bei isolierten hinteren Kreuzbandläsionen und $9,3 \pm 2,4$ mm bei kombinierten HKB – und posterolateralen

Läsionen. Damit können wir die von Shino et al. ermittelten Werte nicht ganz reproduzieren, die bei chronischen isolierten HKB – Läsionen bei $10,6 \pm 3,4$ mm liegen (83). Das Problem der Rotationsinstabilität, welches Shino et al. beschreiben, können wir hingegen durch die Fußgegenrotation teilweise ausgleichen.

Wie Shino stellen auch wir fest, dass die Patienten keine Schmerzen bei der Untersuchung haben und sich durch das Liegen gut entspannen können. Da jedoch die Seitendifferenzen, die wir ermittelten, nicht den hohen Werten von Telos und Kneeling entsprechen, ist die Technik zur präoperativen Evaluation nicht geeignet. Zur radiologischen Untersuchung bei Verdachtsfällen, auch bei schmerzhaften, akuten hinteren Kreuzbandtraumen, ist diese Aufnahme, die ohne Stressapplikation auskommt, geeignet. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der Verwendung der Technik während der Heilungsphase durch die nur sehr leichte Belastung des hinteren Kreuzbandes.

1996 zeigten Chassaing et al. mit einer radiologischen Technik, dem Chassaing View, eine Möglichkeit, die Tibia mittels Kontraktion des M. quadrizeps in die hintere Schublade zu bringen (9). Anders als in der Originalarbeit führten wir die Untersuchung sitzend durch und fixierten den Fuß des Patienten auf dem Boden. Es zeigt sich eine Seitendifferenz von $7,5 \pm 2,8$ mm bei isolierten HKB – Läsionen und $9,0 \pm 3,5$ mm bei kombinierten HKB – und posterolateralen Läsionen. In einer Studie von Margheritini et al. wird eine Seitendifferenz von 7.9 ± 4.9 mm bei einem Patientenkollektiv ermittelt, das sich aus Personen mit isolierten und kombinierten hinteren Kreuzbandläsionen zusammensetzt (53). Damit kann unsere Studie die Werte von Margheritini et al. bestätigen. Die Werte von Chassaing et al. von 12.3 ± 4.6 mm können wir nicht reproduzieren.

Wir stellen fest, dass bei dieser Technik eine sehr große rotatorische Ungenauigkeit entsteht. Verursacht wird diese durch die Muskelkontraktion nach der exakten Einstellung. Wir quantifizierten diese Rotationsungenauigkeit durch den projektiven, virtuellen Femurkondylenabstand. Diese Muskelkontraktionen erschweren die Einstellung und Auswertung der Röntgenbilder. Das Halten und mögliche Verwackeln der Röntgenplatte durch den Patienten verstärkt diese Einstellungsschwierigkeiten.

Der relativ geringe Seitenunterschied, der die gemessenen hinteren Schubladen von Telos oder Kneeling nicht zu reproduzieren vermag, und die rotatorischen Einstellungsschwierigkeiten zeigen, dass die Technik nicht in der Lage ist, einen validen Beitrag zum Funktionszustand des Kreuzbandes und somit zur Operationsindikation zu leisten.

Die Genauigkeit der Stress – Röntgenaufnahmen wird maßgeblich beeinflusst von verschiedenen Variablen, wie der mangelhaften Relaxation des Knies, meist verursacht durch Schmerz oder durch Rotationsungenauigkeiten und Einstellungsschwierigkeiten entweder des Femurs in der Hüfte oder des Röntgenstrahles. Diese und andere Faktoren können zu Rotationsfehlern führen, die dann in einen Informationsverlust oder eine Verzerrung der Ergebnisse münden. Vergleichende Untersuchungen zwischen verschiedenen Techniken zu den Bias lassen sich in der Literaturrecherche nicht finden. Wir können die unterschiedlichen Einstellungsungenauigkeiten jeder Technik quantifizieren, indem wir den beschriebenen virtuellen Femurkondylenabstand bestimmen. So sind wir in der Lage zu zeigen, dass Telos sich im Vergleich zu den anderen Techniken sehr gut einstellen lässt. Dadurch ist gewährleistet, dass eine hohe Aufnahmequalität konstant besteht. Die virtuellen Femurkondylenabstände der Techniken Gravity sag, Kneeling View und Chassaing View liegen dicht beieinander und unterscheiden sich signifikant von Telos.

Das Schmerzempfinden während der Röntgenuntersuchung wurde bisher in der internationalen Literatur ebenso wenig untersucht, wie die Zeit, die eine komplette Röntgenuntersuchung jeweils in Anspruch nimmt. Es zeigt sich, dass Telos zwar die größten Schmerzen bei der Aufnahme verursacht und die meiste Zeit benötigt, jedoch den geringsten Rotationsfehler und die größte Seitendifferenz reproduziert. Puudu als Technik mit nur einer Aufnahme kann signifikant schneller als die Vergleichstechniken durchgeführt werden. Als untergeordneter Faktor ist die Röntgenzeit jedoch nur von nachrangiger Bedeutung. Bei qualitativ deutlich besseren Aufnahmen ist auch eine geringe bis mäßige Schmerzbelastung hinzunehmen.

In der Literatur wird weithin akzeptiert, dass man die frische isolierte HKB – Läsion zunächst konservativ behandeln soll. Ab einem bestimmten Wert der Seitendifferenzen, meist bei 8 – 10 mm oder mehr, sollte jedoch eine operative Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes erwogen werden (7). Wird eine noch ausgeprägtere posteriore Seitendifferenz gefunden, welche zum Beispiel bei Telos 12 mm oder mehr ergibt, so ist eine kombinierte Bandverletzung des hinteren Kreuzbandes und der posterolateralen Ecke zu erwägen. Dies verlangt dann eine ausgedehntere chirurgische Rekonstruktion. Deshalb ist es bei den gehaltenen Röntgenaufnahmen wichtig, dass bei diesen die posteriore Seitendifferenz nicht unterschätzt wird, da maßgeblich davon die Entscheidung über ein operatives oder konservatives Vorgehen in dem am hinteren Kreuzband verletzten Knie abhängt. Trotz der Schmerz- und Zeitkomponente sind nur

die Telos und die Kneeling Stress – Röntgenaufnahmen in der Lage, die deutliche und große posteriore tibiale Verschiebung zu erreichen.

Wir können zeigen, dass bei vermehrter Schädigung weiterer Bandstrukturen und dadurch verbundener Zunahme der Rotation die Größe der hinteren Schublade bei den lateralen Aufnahmen zunimmt. So geben größere hintere Schubladen einen Hinweis auf größere rotatorische Instabilität wieder. Dies kann unter anderem auch von Stäubli et al. gezeigt werden (86). Dieser theoretische Vorteil der gehaltenen Aufnahmen jedoch, gleichzeitig mehrere Bandschäden in der Summation zu erkennen, wird durch die inter- und intraindividuelle Varianz der Patienten aufgehoben und lässt sich klinisch kaum verwerten. Große Seitenunterschiede sollten deshalb Anlass zu weitergehender Diagnostik geben. Der Trend, dass sich rotatorische Instabilitäten in einem größeren Seitenunterschied niederschlagen, wird von allen lateralen Aufnahmetechniken, nicht aber von Puddu, reproduziert.

Von entscheidender Bedeutung für das richtige Therapiemanagement eines Knies mit einem HKB – Defizit ist es erforderlich, eine fixierte hintere Subluxation (FHS) auszuschließen (40;91). Die FHS verhindert die Zurücklagerung des Kniegelenks in die normale Ruheposition und wird als dauerhaft bestehende hintere Schublade definiert, bei der eine spontane Rückverlagerung in die Neutralposition nicht mehr erreicht wird. Einer Studie von Strobel et al. zufolge zeigt sich bei 32,1 % der Patienten mit fehlgeschlagener HKB – Operation eine fixierte hintere Schublade (91). Da nur Telos von den beschriebenen Techniken auch für standardisierte anteriore Stressaufnahmen geeignet ist und diese hier essentiell nötig sind, ist hier nur Telos in der Lage, eine FHS sicher zu erkennen.

Die Möglichkeit mit Arthrometern wie dem KT1000 oder dem Rolimeter, die hintere Schublade zu ermitteln, birgt im Vergleich zu den gehaltenen Aufnahmen Unterschiede. Die Bestimmung des Neutralpunktes zur Beurteilung des SSD fällt schwer. Sowohl in der Auswertung der gehaltenen Aufnahmen, als auch mit der apparativen Untersuchung mit dem KT1000 wird die gesunde Gegenseite herangezogen.

Die Diagnostik der hinteren Schublade mit dem KT1000 stellt sich Grood et al. zufolge, anders als die Diagnostik der vorderen Schublade, als schwierig dar (26).

Auch die Bestimmung des Nullpunktes oder der Neutralposition als Ausgangspunkt für die Definition einer hinteren Schublade mit den Arthrometern gilt als kompliziert und störungsanfällig (35). So passiert es gelegentlich, dass statt einer hinteren Laxizität eine

vordere Schublade antizipiert wird. Somit kommt fälschlicherweise eine vordere Kreuzbandverletzung in Betracht (4;46).

Huber et al. zeigen, dass gerade die Bestimmung der hinteren Schublade durch das KT1000 durch verschiedene Einflussfaktoren beeinflusst und damit verfälscht werden kann (35). Hier wird auf die Stellung des Fußes, die Entspannung der Oberschenkelmuskulatur (Trizeps und Quadrizeps) während der Untersuchung hingedeutet (35). Diese Faktoren zeigen sich teilweise auch bei einigen der Röntgenuntersuchungen und können nicht immer kompensiert werden. Sehr deutlich werden die Einstellungs- und Entspannungsprobleme bei den Techniken Chassaing View und Gravity sag. Bei Gravity sag kann durch Drehung des Fußes der Rotationsfehler teilweise ausgeglichen werden. Muskuläre Relaxation ist sehr patientenabhängig und in der angespannten Untersuchungssituation nicht selten nur mit viel Empathie und Zeit erreichbar. So gelingt es teilweise nur schwer, den Patienten zum Entspannen zu bewegen. Hier sind vor allem Gravity sag und Puddu zu nennen. Die teilweise sehr guten Darstellungen der hinteren Schublade bei einigen Patienten stehen im Widerspruch zu anderen, bei denen diese Techniken nur mäßige Schubladen reproduzieren können. Eine große Rolle spielt hier die individuelle Fähigkeit zur Entspannung

Huber et al. schlussfolgern, dass das KT1000 nur eine mäßig verlässliche Technik ist, die die hintere Schublade zu quantifizieren, da die beschriebenen Fehlerquellen bei der KT1000 – Untersuchung häufiger auftreten und schwerer wichten als bei den gehaltenen Aufnahmen (35).

Ebenfalls fällt bei der klinischen Untersuchung die eindeutige Bestimmung des Nullpunktes schwer. So können Rubinstein et al. zwar zeigen, dass bei der klinischen Untersuchung der hinteren Schublade zur Diagnostik der hinteren Kreuzbandläsion der „posterior drawer test“ der sensitivste (90 %) und spezifischste (99 %) ist, jedoch stellt sich die Bestimmung des Neutralpunktes als schwierig dar und lässt Unsicherheiten aufkommen (75).

Da man bei den gehaltenen Aufnahmen immer das gesunde und das verletzte Knie röntgt, wird versucht, den Nullpunkt im Vergleich mit der Gegenseite zu bestimmen. Patienten mit beidseitiger hinterer Kreuzbandruptur wurden aus der Studie ausgeschlossen. Der Störfaktor, dass das verletzte Knie mehr Schmerzen verursachen und damit mehr muskuläre Gegenspannung erzeugen kann, beeinflusst in gewissem Maße Kneeling View und Telos.

Auch müssen bei hinteren Kreuzbandverletzungen die Veränderungen der Messergebnisse von Arthrometern und klinischer Untersuchung über die Zeit differenziert betrachtet werden, da die Einflussfaktoren zwischen den Untersuchungsterminen variieren können (35). Hier zeigt sich eine bessere Reproduzierbarkeit durch die gehaltenen Aufnahmen (79).

Ein Grading des hinteren Kreuzbandschadens kann Daniel und Stone et al. zufolge mit dem KT1000 nicht vorgenommen werden (17). Der ähnlich funktionierende Rolimeter und der Knee laxity tester (KLT) als weitere Vertreter der Arthrometer zeigen gleiche Nachteile (35;63;87;88). Die gehaltenen Aufnahmen lassen jedoch ein Grading des hinteren Kreuzbandschadens zu (22). So kann das Ausmaß der Instabilität durch die Größe der hinteren Schublade bestimmt werden.

Probleme bei der klinischen Untersuchung und der Verwendung der Arthrometer sind bei der Untersuchung frischer Traumen zu sehen. So wird empfohlen, das hintere Kreuzband nach der Verletzung nicht zu belasten (88). Hier würde man mit zu großer Krafteinwirkung auf das Band mögliche Heilungspotentiale reduzieren. Da das hintere Kreuzband gute Heilungspotenzen aufweist, sollten die Untersuchungen mit Kraftapplikationen von mehr als 5 kp für 6 Wochen nicht stattfinden. In dieser Zeit stehen alternative Untersuchungen, wie solche, die gegen die Schwerkraft arbeiten oder bestimmte bildgebende Verfahren wie das MRT und die Sonographie für die Diagnose zur Verfügung (88). Hier stoßen die Techniken Telos, Kneeling View und auch Chassaign View an ihre Grenzen. Da auch Arthrometer und klinische Untersuchungen mit größeren Kräften als empfohlen arbeiten, können diese in dem Intervall der Heilungschance nicht eingesetzt werden. Alternativen bieten Gravity sag und Puddu View. Diese können auch bei Belastungsbeschränkungen eingesetzt werden und beeinflussen den Heilungsverlauf durch die schwachen Kräfte, die auch in der täglichen Routine entstehen würden, nicht.

Die Vorteile der gehaltenen Aufnahmen gegenüber des Arthrometers oder der klinischen Untersuchungen bei der Diagnostik werden in Studien hinreichend belegt (32;89).

Die Magnetresonanztomographie ist bei der Beurteilung von akuten hinteren Kreuzbandverletzungen nützlich. So kann eine komplette Bandruptur mit einer Sensitivität von 100 % dargestellt werden (27). Die MRT wird dann besonders wichtig, wenn die klinischen Untersuchungen zweideutige Befunde ergeben oder es zu Unstimmigkeiten zwischen Anamnese und klinischem Befund kommt. Sie ist auch

geeignet, die Lokalisation der Ruptur und möglicher Begleitverletzungen zu beschreiben. Jedoch, und das ist der entscheidende Nachteil der MRT, beschreibt sie keine funktionelle, sondern nur eine anatomische Schädigung des Bandes (94). Aus diesem Grund wird eine routinemäßige MRT – Untersuchung bei Verdacht auf eine HKB – Läsion nicht empfohlen (88).

In dieser Phase der potentiellen Heilung bietet auch die Sonographie gerade bei der Beurteilung eines akuten Knie Traumas eine weitere Möglichkeit, die Kniegelenksbinnenstrukturen zu beurteilen. Die Abhängigkeit des klinisch relevanten Befundes ist gerade in der Sonographie untersucherabhängig (6;58;59;103). Jedoch ist die Aussagekraft der Sonographie bei der Diagnostik der hinteren Kreuzbandverletzung auf den medialen und distalen Anteil des hinteren Kreuzbandes beschränkt. Der proximale Teil in der Fossa intercondylaris ist verdeckt und kann so nicht suffizient untersucht werden. Beurteilbar im Ultraschall sind der Verlauf und die eventuell vorhandenen Kontinuitätsunterbrechungen des hinteren Kreuzbandes. Es ist möglich, Schwellungen und einen welligen Rand des Risses darzustellen. Sonographisch können auch eine Vermehrung der Gelenkflüssigkeit, Ödeme oder ein Hämarthros nachgewiesen werden. Chih-Chin et al. zeigen, dass ein geschädigtes und elongiertes hinteres Kreuzband dicker erscheint. So stellt sich das normale hintere Kreuzband mit einer Dicke von durchschnittlich 0,52 cm und das geschädigte HKB mit einer Dicke von 0,71 cm in Bandmitte dar (10;58). Der sonographische Befund spiegelt jedoch ein anatomisches und kein funktionales Bild des Kreuzbandschadens wieder. Für die Indikation zum operativen Kreuzbandersatz ist es jedoch unerlässlich, den funktionellen Zustand der Kreuzbänder zu kennen (10). So ist der Ultraschall zwar geeignet, Verletzungen der hinteren Kreuzbandstruktur anatomisch zu erkennen, eine Aussage über den Zustand der Instabilität kann der Ultraschall aber nicht liefern.

Der Zweck dieser Studie war es, eine radiologische Methode zu finden, die die hintere Schublade auf lateralen oder axialen Aufnahmen sicher darstellen kann und gleichzeitig einfach anzuwenden, sowie nicht übermäßig anfällig für vermeidbare Fehler ist. Nur Telos und Kneeling View erreichen vergleichbare und große Seitendifferenzen bei der posterioren tibialen Translokation und sind damit beide die sensitivsten Techniken. Nichtsdestotrotz haben diese Techniken auch Nachteile. So imponieren sie als die mit Abstand schmerzhaftesten und, vor allem Telos, zeitaufwendigsten Techniken. Die Kneeling View Aufnahmetechnik bietet eine verlässliche Alternative zu der Methode mit

der Telos Einheit. Kneeling ist zugleich weniger aufwendig und kostengünstiger, sowie weniger zeitintensiv, kann aber nicht genutzt werden, um die vordere Schublade zu quantifizieren und damit eine fixierte hintere Schublade auszuschließen.

Es empfiehlt sich deshalb, entweder Kneeling oder Telos zu wählen, wenn es zur Quantifikation der hinteren Schublade bei isolierten oder kombinierten hinteren Kreuzbandläsionen kommt. Bei der operativen Versorgung einer hinteren Kreuzbandverletzung ist der Ausschluss einer fixierten hinteren Schublade notwendig. Im Hinblick auf die hohen Misserfolgsraten bei der fixierten hinteren Schublade muss deshalb die Untersuchungstechnik nach Telos an allen Zentren der hinteren Kreuzband Chirurgie verfügbar sein.

Die gehaltenen Röntgenaufnahmen mit dem Telos Gerät können in verschiedenen Modi vorgenommen werden. Wir stellten zwei verschiedene Möglichkeiten, die hintere Schublade mittels des Telos Gerätes zu quantifizieren, einander gegenüber.

Wir verglichen bei 10 Patienten die Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen, die mit den beiden oben beschriebenen Methoden unter Benutzung der Telos Gerät – Technik untersucht wurden. Dabei zeigt sich, dass die neue Technik mit der geringeren Kraftapplikation von 15 kp auf die Tuberositas tibiae und weniger stringent fixiertem Knie bei gleichen Seitendifferenzen deutlich weniger Schmerzen verursacht, als die andere Technik, die das Knie mit dem Stempel fixiert und 20 kp Kraft appliziert.

Strobel et al. beschreiben in dem Buch „Diagnostic Evaluation of the Knee“ die Grundvoraussetzungen für gehaltene Aufnahmen (87). Der Patient soll sich erstens entspannen können, zweitens müssen Schmerzen vermieden werden, und drittens soll zuerst das gesunde Knie untersucht werden. Hieraus ergeben sich die Gründe für das bessere Abschneiden der neuen Technik. Durch das Weglassen des fixierenden Kondylenstempels kann der Patient besser relaxieren und gab auf der visuellen Analogskala wesentlich weniger Schmerzen an. Dadurch sind hier die Bedingungen für gehaltene Aufnahmen besser erfüllt. Obwohl nur 25 % der Druckkraft weggelassen wurde, konnte der gleiche Seitenunterschied reproduziert werden, wie mit der schmerzhaften, älteren Technik. In der aktuellen Literatur zeigt sich, dass mehr und mehr auf die fixationsfreie Variante ohne Kondylenstempel zurückgegriffen wird (64;81). Ein gewisser Nachteil der neuen Technik ist die größere Rotationsvarianz in den Aufnahmen. Diese spiegelt sich in einem größeren Femurkondylenabstand im Vergleich zu der älteren Technik wieder. Diese Rotationsvarianz lässt sich allerdings sehr gut mittels der Auswertetechnik nach Jacobson herausrechnen (40). Es zeigt sich daher,

dass die Methode der gehaltenen Aufnahmen, unter Benutzung des Telos Gerätes zur hinteren Kreuzbanddiagnostik ohne Femurkondylenstempel mit einer definierten Kraft auf die Tuberositas tibiae, der fixierenderen Ausführungsvariante überlegen ist.

Verschiedene Techniken zur Auswertung der Schubladen der lateralen Kniegelenksaufnahmen wurden entwickelt. Die Auswertungstechnik nach Rosenberg et al. setzt die Schublade ins Verhältnis zum Kondylendurchmesser. Dadurch soll versucht werden, eine genauere Aussagekraft zur Schublade, bezogen auf die individuellen Voraussetzungen, zu treffen (73). Die Idee, die Schublade relativ zur Knochengröße zu ermitteln, lässt sich in der Literatur wiederfinden. So setzen Kobayashi et al. die anterior – posteriore Ausdehnung des Tibiaplateaus ins Verhältnis zur Schublade (46). Sowohl Rosenberg et al. als auch Kobayashi et al. beziehen sich auf die vordere Schublade (46;73). Hier jedoch versuchen wir, die Idee auf die hintere Schublade zu übertragen. Die genauen Durchführungsschritte wurden oben beschrieben. Da Frauen durchschnittlich kleinere Tibiaplateaus und Kondylen haben, stellt sich die nach Rosenberg modifizierte hintere Schublade größer dar als bei Männern.

Zur Zeit wird die OP – Indikation für eine konservative oder operative Therapie der hinteren Kreuzbandläsion unter anderem anhand der Seitendifferenz entschieden. Beträgt diese je nach Klinik und positiver Begleituntersuchungsbefunde 10 mm oder mehr, wird eine operative Versorgung empfohlen (88). Der Bezug der Schublade auf individuelle Knochenmerkmale, sei es der Subluxationsindex nach Rosenberg et al. oder die Auswertung, die Kobayashi et al. nutzen, können den Vorteil der genaueren OP – Indikation erbringen, da hier für jeden Patienten eine genaue Beurteilung der individuellen Schubladengröße gegeben ist (46). Voraussetzung ist natürlich die Erstellung von Studien, die den Profit des Patienten von einem operativen oder konservativen Vorgehen bei bestimmten Schubladen – Indizes aufzeigen.

Allerdings stellt sich hierbei nur ein sehr kleiner Unterschied zur gemessenen absoluten Schublade oder zur Seitendifferenz dar.

Die von Rosenberg et al. vorgeschlagene Anwendung des Subluxationsindex als Indikator für das weitere therapeutische Vorgehen scheint im Hinblick auf die sehr ähnlichen Ergebnisse mit den Seitendifferenzen keinen zusätzlichen Nutzen zu bringen (73). Allenfalls als individueller Verlaufsparemeter, oder im Rahmen der Forschung sind Anwendungen aktuell sinnvoll.

6. Zusammenfassung

Es wurden 5 häufig verwendete Stress – Röntgenaufnahmen hinsichtlich der absoluten hinteren Schublade, der Seitendifferenz (SSD), des Schmerzes, der benötigten Zeit und des Rotationsfehlers (FKA) im Rahmen hinterer Kreuzbandläsionen verglichen. Wir untersuchten zwei verschiedene Durchführungsmethoden mittels des Telos Gerätes.

Zwischen 11/03 und 10/04 wurden insgesamt 30 Patienten mit einer einseitigen chronischen HKB – Insuffizienz in die Studie eingeschlossen. Dies waren 4 HSL – Aufnahmen bei 90° flektiertem Knie (Telos, Chassaing View = CV, Kneeling View und Gravity sag) und eine axiale Aufnahme (nach Puddu), jeweils beider Knie. Die Auswertung erfolgte nach der Technik von Jacobson. Alle Techniken konnten die HKB – Insuffizienzen sicher darstellen. Der SSD von Telos und Kneeling wurde jedoch von Puddu, Gravity und CV um ≥ 2 mm unterschätzt. Telos und Kneeling waren signifikant schmerzhafter ($p < 0,001$). Puddu benötigte die kürzeste Zeit (115 s, $p < 0,001$), Telos die längste (305 s, $p < 0,001$). Der geringste FKA fand sich bei Telos mit einem signifikanten Unterschied zu CV und Kneeling ($p < 0,003$).

Verglichen mit den Einschränkungen der klinischen Untersuchung oder denen der instrumentellen Messungen, ist die HSL – Aufnahme eine einfache, nicht invasive und reproduzierbare Messmethode, die sich für standardisierte Nachuntersuchungen eignet. Schulz et al. zeigen, dass Telos mit Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit die Einschätzung der HSL in Knien mit HKB – Läsionen ermöglicht. Die Genauigkeit der HSL – Aufnahmen wird durch verschiedene Variablen, wie fehlende Relaxation durch Schmerz, Beindrehung oder Ungenauigkeiten während der Röntgenaufnahmen beeinflusst. Telos verursacht die größten Schmerzen, zeigt aber den geringsten FKA.

Es ist entscheidend, den genauen SSD nicht zu unterschätzen, um das richtige therapeutische Vorgehen zu wählen. Ungeachtet der Schmerz- und Zeitkomponente kann nur Kneeling den hohen SSD von Telos zuverlässig reproduzieren.

Weiterhin ist es zur Therapieentscheidung unerlässlich, eine fixierte hintere Schublade auszuschließen. Nur Telos ist für standardisierte vordere Schubladen – Aufnahmen geeignet, die nötig sind um die fixierte HSL zu identifizieren.

Anhand der gezeigten Daten ist zum Screening entweder die Kneeling- oder Telos-Technik geeignet, da nur diese zwei Arten der HSL – Aufnahmen den maximalen SSD nachweisen konnten. In Zentren mit routinemäßiger HKB – Chirurgie sollte auf Grund einer möglichen fixierten HSL die Telos Technik zusätzlich verfügbar sein.

7. Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. med. Andreas Weiler, danke ich herzlich für die freundliche Überlassung des Themas. Besonderer Dank gilt auch meinem Betreuer Tobias Jung für die ruhige, sachliche und geduldige Hilfe.

Für die Unterstützung meiner Arbeit möchte ich mich ganz herzlich bei dem Team der radiologischen Abteilung der Unfallchirurgie für die tatkräftige und überaus geduldige Hilfe bedanken. Auch in Stresssituationen wurde immer schnell eine für alle Seiten gute Lösung gefunden.

Mein besonderer Dank gilt vor allem den Patienten, die mich tatkräftig und trotz ihres Unfalls geduldig unterstützen.

8. Literatur

- (1) Abbott, LC; Saunders, JB; Bost FC: Injuries to the ligaments of the knee joint. In: *J Bone Joint Surg* 26 (1944), S. 503-21
- (2) Amis, AA; Bull, AM; Gupte, CM: Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and meniscomfemoral ligaments In: *Knee surg sports Traumatol Arthrosc* 11 (2003) Nr 5, S. 271-81
- (3) Amis, AA; Gupte, CM; Bull, AM; Edwards, A: Anatomy of the posterior cruciate ligament and the meniscomfemoral ligaments. In: *Knee surg sports Traumatol Arthrosc* 14 (2006) Nr. 3, S. 257-63
- (4) Andersson, C; Gillquist, J: Instrumented testing for evaluation of sagittal knee laxity. In: *Clin Orthop* 256 (1990), S. 178-84
- (5) Bartlett, J; Osti, L; Porteous, A: Stress radiography for documentation of posterior instability of the knee. Vorgestellt im *ISAKOS Kongress Neuseeland* (2003)
- (6) Bergenthal, G; Schwarz, W; Gerngross, H; Friemert, B: Functional ultrasound examination of the posterior cruciate ligament -- a new method of detecting ligament instability in the knee joint. In: *Ultraschall Med* 26 (2005) Nr. 2, S. 120-6
- (7) Bruce, A; Van Dommelen, MD: Anatomy of the posterior cruciate ligament – a review. In: *Am J Sports Med* 17 (1989) Nr.1, S. 24-9
- (8) Carlin, GJ; Livesay, GA; Harner, CD: In-situ forces in the human posterior cruciate ligament in response to posterior tibial loading. In *Ann Biomed Eng* 24 (1996) Nr. 2, S. 193-7
- (9) Chassaing, V; Deltour, F; Tourzard: Étude radiologique du LCR à 90 de flexion. In *Rev Chir Orthop* 81 (1995), S. 35-8
- (10) Chih-Chin, H; Wen-Chung, T; Carl Pai-Chu, C: Ultrasonographic Examination of the Normal and Injured Posterior Cruciate Ligament. In: *J Clin Ultrasound* 33 (2005), S. 277-82
- (11) Clancy, WG; Shelbourne, KD; Zoellner, GB: Treatment of knee joint instability secondary to rupture of the posterior cruciate ligament. Report of a new procedure. In: *J Bone Joint Surg AM* 65 (1983) Nr. 3, S. 310-22
- (12) Colin, L; Eakin, MD: Arthrometric Evaluation of Posterior Cruciate Ligament Injuries. In: *American J of sports med* 26 (1998) Nr. 1, S. 96-102
- (13) Cooper, DE: Classification of PCL injury patterns. Vorgestellt in: *PCL study group*, Dijon, Frankreich (1995)

- (14) Cooper, DE: Clinical evaluation of posterior cruciate ligament injuries. In: *Sports Med Arthro Rev* 7 (1997), S: 243-52
- (15) Cooper, DE; Warren, RF; Warner, JP: The posterior Cruciate ligament and posterolateral structures of the knee: Anatomy; function and pattern of injury. Vorgestellt in der: *Am Acad Orthop Surg.* (1991)
- (16) Covey, DC; Sapega, AA: Anatomy and function of the posterior cruciate ligament. In: *Clin Sports Med* 13 (1994) Nr. 3, S. 509-18
- (17) Daniel, DM; Stone, ML; Barnett, P: Diagnosis of knee ligament injuries: Tests and measurements of the joint laxity. In: *The cruciat ligaments. Diagnosis and treatment of ligamentous injouries about the knee.*New York: Churchill Livingstone, (2006), S. 287-300
- (18) Daniel, DM; Stone ML; Barnett, P; Sachs, R: Use of the quadriceps active test to diagnose posterior cruciate-ligament disruption and measure posterior laxity of the knee. In: *J Bone Joint Surg AM* 70 (1988) Nr. 3, S.386-91
- (19) Deltour, F; Ceccaldi, JP; Delin, C: La radiographie dynamique dans l'etudes des ruptures du lca et du lcp. In: *Faculté Pitiè Salpetrière* (2005)
- (20) Fanelli, GC; Edson, CJ: Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients: Part II. In: *Arthroscopy* 11 (1995) Nr. 5, S. 526-9
- (21) Fowler, PJ; Messish, SS: Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes. In: *AM J Sports Med* 15 (1987), S. 553-7
- (22) Garavaglia, G; Lubbeke, A; Dubois-Ferriere, V: Accuracy of stress radiography techniques in grading isolated and combined posterior knee injuries: a cadaveric study. In: *AM J Sports Med* 35 (2007) Nr. 12, S. 2051-6
- (23) Girgis, FG; Marshall, JL; Monajem, A: The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. In *Clin Orthop Relat Res* 1975 January;(106):S. 216-31
- (24) Gollehon, DL; Torzilli, PA; Warren, RF: The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. In: *J Bone Joint Surg AM* 69 (1987) Nr. 2, S. 233-42
- (25) Griffin, LY: Previously Injured Posterior Cruciate Ligaments. In: *South Med J* 95 (2002) Nr. 10, S. 1153-7
- (26) Grood, ES; Stowers, SF; Noyes, FR: Limits of movenemt in the human knee: Effect of sectioning the posterior cruciate ligament und posterolateral structures. In: *J Bone Joint Surg AM* 70 (1988), S. 88-97
- (27) Gross, ML; Grovers, JS; Bassett, LW: Magnetic resonance imaging of the posterior cruciate Ligament: Clinical unse to improve diagnostic accuracy. In: *AM J Sports Med* 20 (1992) S. 732-7

- (28) Hagens, FW; Plitz, W; Muhlberger, G; Carl, C: Retropatellar forces after rupture of the PCL and patello-tibial transfixation: an in vitro study. In: *Knee surg sports Traumatol Arthrosc* 2 (1994) Nr. 1, S. 31-7
- (29) Harner, CD: The posterior cruciate Ligament overview. In: *Am Academy Orthop Surg* (1996)
- (30) Harner, CD; Hoher J: Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. In: *AM J Sports Med* 26 (1998) Nr. 3, S: 471-82
- (31) Harner, CD; Xerogeanes, JW; Livesay, GA: The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. In: *AM J Sports Med* 23 (1995) Nr. 6, S. 736-45
- (32) Hewett, TE; Noyes, FR; Lee, MD: Diagnosis of complete and parcial posterior cruciate ligament ruptures: stress radiography compared with KT-1000 arthrometer and posterior drawer testing. In: *AM J Sports Med* 25 (1997), S. 648-55
- (33) Hochstein, P; Schmickal, T; Grutzner, PA; Wentzensen, A: Diagnostic and incidence of the rupture of the posterior cruciate ligament. In: *Unfallchirurg* 102 (1999) Nr. 10, S. 753-62
- (34) Hoffmann, F; Graf, R; Kohn, D: Hintere Knieinstabilität. In: *Orthopäde* 33 (2004), S. 87-104
- (35) Huber, FE; Irrgang, JJ; Harner, C: Intratester and intertester reliability of the KT 1000 arthrometer in the assessment of posterior laxity of the knee. In: *AM J Sports Med* 25 (1997), S. 479-85
- (36) Hughston, JC: The absent posterior drawer test in some acute posterior cruciate ligament tears of the knee. In: *AM J Sports Med* 16 (1988), Nr. 1, S. 39-43
- (37) Inderster, A; Benedetto, KP; Klestil, T: Fiber orientation of posterior cruciate ligament: an experimental morphological and functional study, Part 2. In: *Clin Anat* 8 (1995), Nr. 5, S. 315-22
- (38) Ittvej, K; Prompaet, S; Rojanasthien, S: Factors influencing the treatment of posterior cruciate ligament injury. In: *J Med Assoc Thai* 88 (2005), Suppl 5, S. 84-88
- (39) Jackman, T; Laprade, RF; Pontinen, T; Lender, PA: Intraobserver and Interobserver Reliability of the Kneeling Technique of Stress Radiography for the Evaluation of Posterior Knee Laxity. In: *AM J Sports Med* 36 (2008), Nr. 8, S. 1571-6
- (40) Jacobson, K: Stress radiographical measurement of the anteroposterior; medial and lateral stability of the knee joint. In: *Acta Orthop Scand* 47 (1976), S. 335-44

- (41) Jakob, RP; Hassler, H; Staeubli, HU: Observations on rotatory instability of the lateral compartment of the knee. Experimental studies on the functional anatomy and the pathomechanism of the true and the reversed pivot shift sign. In: *Acta Orthop Scand Suppl* 191 (1981), S.1-32
- (42) Andrews, JR: Isolated Posterior Cruciate Ligament Injuries- - History; Mechanism of Injury; Physical Findings; and Ancillary Tests. In: *Clin Sports Med* 12 (1994) Nr.5, S. 519-30
- (43) Jung, T; Strobel, M; Weiler, A: Diagnostik und Therapie von Verletzungen des hinteren Kreuzbandes. In: *Unfallchirurg* 109 (2006) Nr. 1 S. 41-60
- (44) Kannus, P; Jarvinen, M: Knee instabilities and their clinical examination. In: *Finnish Sports and Exerc Med* 4 (1985), S. 79-89
- (45) Kellner, S: Bone Bruise MRT- Befund mit klinischer Relevanz? In: *Orthopädie und Rheuma* 4 (2003), S. 38-41
- (46) Kobayashi, S; Terayama, K: Quantitative stress radiography for diagnosis of anterior cruciate ligament deficiency. In: *Arch Orthop Trauma surg* 112 (1993), S. 109-12
- (47) Krudwig, WK: Die funktionelle Anatomie des hinteren Kreuzbandes. In: *Unfallchirurgie* 22 (1996) Nr. 2, S. 49-56. 1996
- (48) Lee, HG: Avulsion fracture of the tibial attachments of the crucial ligaments. In: *J Bone Joint Surg* 19, (1937), S. 460-8
- (49) Lobenhoffer, P; Lattermann, C; Krettek, C: Rupture of the posterior cruciate ligament: status of current treatment. In: *Unfallchirurg* 99 (1996) Nr. 6, S. 382-99
- (50) Logan, M; Williams, A; Lavelle, J: In: The effect of posterior cruciate ligament deficiency on knee kinematics. *AM J Sports Med* 32 (2004) Nr. 8 S. 1915-22
- (51) DeFrate, L: In Vivo Function of the posterior cruciate ligament during weightbearing knee flexion. In: *AM J Sports Med.* 32 (2004) Nr. 8, S. 1923-8
- (52) Louisia, S; Siebhold, R; Canty, J; Bartlett, RJ: Assessment of posterior stability in total knee replacement by stress radiographs. Prospective comparison of two different types of mobile bearing. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13 (2005) Nr. 6, S. 476-82
- (53) Margheritini, F; Mancini, L; Mauro, CS: Stress Radiography for quantifying posterior cruciate ligament deficiency. In *Arthroscopy* 19 (2003) Nr. 7, S. 706-11
- (54) Margheritini, F; Mariani, PP: Diagnostic evolution of posterior cruciate ligament injuries. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11 (2003), S. 282-8

- (55) Mariani, PP; Margheritini, F; Christel, P; Bellelli, A: Evaluation of posterior cruciate ligament healing: a study using magnetic resonance imaging and stress radiography. In: *Arthroscopy* 21 (2005) Nr. 11, S. 1354-61
- (56) Marinozzi, G; Pappalandro, S: Human knee ligaments: mechanical tests and ultrastructural observations. In: *Ital J Orthop Traumatol* 9 (1983), S. 231-40
- (57) Aiello, MR: Knee, Posterior Cruciate Ligament Injuries (MRI). Web Adresse: <http://emedicine.medscape.com/article/400845-overview>, (2008)
- (58) Miller, TT: Sonography of injury of the posterior cruciate ligament of the knee. In: *Skeletal Radiol* 31 (2002) Nr. 3, S. 149-54
- (59) Naredo, E; Moller, I; Moragues, C: Interobserver reliability in musculoskeletal ultrasonography: results from a "Teach the Teachers" rheumatologist course. In: *Ann Rheum Dis* 65 (2006) Nr. 1, S. 14-9
- (60) Nielsen, S; Helmig, P: Posterior instability of the knee joint. An experimental study. In: *Arch Orthop Trauma surg* 105 (1986) Nr. 2, S. 121-5
- (61) Noyes, FR; Grood, ES: The strength of the anterior cruciate ligament in humans and rhesus monkeys: age-related and species-related changes. In: *J Bone Joint Surg AM* 58 (1976), S. 1074-82
- (62) Noyes, FR; Stowers, SF; Grood, ES: Posterior subluxations of the medial and lateral tibiofemoral compartments. An in vitro ligament sectioning study in cadaveric knees. In: *AM J Sports Med* 21 (1993) Nr. 3, S. 407-14
- (63) O'Donoghue, DH: Surgical treatment of injuries to ligament of the knee. In: *Am Med Assoc* 169 (2006), S. 1423-31
- (64) Ochi, M; Tamotsu, M; Sumen, Y: Isolated posterior cruciate ligament insufficiency induces morphological changes of anterior cruciate ligament collagen fibrils. In: *Arthroscopy* 15 (1999) Nr. 3, S. 292-6
- (65) Ogata, K; McCarthy, JA; Dunlap, J; Manske, PR: Pathomechanics of posterior sag of the tibia in posterior cruciate deficient knees. An experimental study. In: *AM J Sports Med* 16 (1988) Nr. 6, S. 630-6
- (66) Pearsall, AW; Pyevich, M; Draganich, LF: In vitro study of knee stability after posterior cruciate ligament reconstruction. In: *Clin Orthop Relat Res* 327 (1996), S. 264-71
- (67) Petersen, W; Zantop, T, Tillmann, B: Anatomie des hinteren Kreuzbandes sowie der posterolateralen und posteromedialen Strukturen. In: *Arthroskopie* 19 (2006) Nr. 3, S. 198-206
- (68) Peterson, W; Tillmann, B: Blood and lymph supply of the posterior cruciate ligament; a cadaver study. In: *Knee surg sports Traumatol Arthrosc* 7 (1999), S. 42-50

- (69) Prietto, MP; Bain, JR; Stonebrook, SN: Tensile strength of the human posterior cruciate ligament. In: *Trans Orthop Res Soc* 13 (1988), S. 195
- (70) Puddu, G; Gianni, E; Chambat, P: The Axial view in Evaluating tibial translation in cases of insufficiency the posterior cruciate ligament. In: *Arthroscopy* 16 (2000) Nr. 2, S. 217-20
- (71) Race, A; Amis, AA: The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. In: *J Biomech* 27 (1994) Nr. 1, S. 13-24
- (72) Ritchie, JR; Bergfeld, JA; Kambic, H; Manning, T: Isolated sectioning of the medial and posteromedial capsular ligaments in the posterior cruciate ligament-deficient knee. Influence on posterior tibial translation. In: *AM J Sports Med* 26 (1998) Nr. 3, S. 389-94
- (73) Rosenberg TD: Designation of an Anterior 'Subluxation Index' for ACL Disrupted Knees. Vorgelegt in: ACL Study Group, Beaver Creek, Vail, Colorado (1998)
- (74) Rosenberg, TD; Paulos, LE; Parker, RD: The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. In: *J Bone Joint Surg AM* 70 (1988) Nr. 10, S. 1479-83
- (75) Rubenstein, RA; Shelbourne, KD: Diagnosis of posterior cruciate Ligament injuries and indications for nonoperative and operative treatment. In: *Oper Techniques Sports Med* 1 (1993), S. 99-103
- (76) Sanders, TG; Miller, M: A Systematic Approach to Magnetic Resonance Imaging Interpretation of Sports Medicine Injuries of the Knee. In: *Am J Sports Med* 33 (2005) Nr. 1, S. 131-48
- (77) Scapinelli, R: Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. In: *Clin Anat* 10 (1997) Nr. 3, S. 151-62
- (78) Schultz, RA; Miller, DC; Kerr, CS; Micheli, L: Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. In: *J Bone Joint Surg AM* 66 (1984) Nr. 7, S. 1072-6
- (79) Schulz, MS; Russe, K; Lampakis, G; Strobel, MJ: Reliability of stress radiography for evaluation of posterior knee laxity. In: *AM J Sports Med* 33 (2005) Nr. 4, S. 502-6
- (80) Schulz, MS; Steenlage, ES; Russe, K; Strobel, MJ: Distribution of posterior tibial displacement in knees with posterior cruciate ligament tears. In: *J Bone Joint Surg AM* 89 (2007) Nr. 2, S. 332-8
- (81) Schulz, MS; Russe, K; Weiler, A: Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. In: *Arch Orthop Trauma surg* 123 (2003), S. 186-91
- (82) Shelbourne, KD; Davis, TJ; Patel, DV: The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. In: *AM J Sports Med* 27 (1999) Nr. 3, S. 276-83

- (83) Shino, K; Mitsuoka, T; Horibe, S: A simple radiographic technique to show posterior laxity of the knee. In *Arthroscopy* 16 (2000), S. 670-2
- (84) Shino, K; Horibe, S; Nakata, K: Conservative treatment of isolated injuries to the posterior cruciate ligament in athletes. In: *J Bone Joint Surg Br* 77 (1995) Nr. 6, S. 895-900
- (85) Skyhar, MJ; Warren, RF; Ortiz, GJ; Schwartz, E; Otis, JC: The effects of sectioning of the posterior cruciate ligament and the posterolateral complex on the articular contact pressures within the knee. In: *J Bone Joint Surg AM* 75 (1993), S. 694-9
- (86) Stäubli, HU; Jakob, RP: Posterior instability of the knee near extension: A clinical and stress radiographic analysis of acute injuries of the posterior cruciate ligament. In: *J Bone Joint Surg Br* 70 (1990), S. 225-30
- (87) Strobel, MJ; Stedtfeld, HW: Diagnostic evaluation of the knee. Erschienen im: *Springer Verlag* (1990)
- (88) Strobel, MJ; Weiler, A: Management of the Posterior Cruciate Ligament-Deficient Knee; Tips and Pearls. In: *Tech Orthop* 16 (2001) Nr. 2, S. 167-94
- (89) Strobel, MJ; Stedtfeld, HW: Stress roentgen study of the knee joint--an evaluation of status: In: *Unfallchirurg* 89 (1986) Nr. 6, S. 272-9
- (90) Strobel, MJ; Weiler, A; Eichhorn, HJ: Diagnostik und Therapie der frischen und chronischen hinteren Kreuzbandläsion. In: *Chirurg* 71 (2000) Nr. 9, S. 1066-81
- (91) Strobel, MJ; Weiler, A; Schulz, MS: Fixed posterior subluxation in posterior cruciate ligament-deficient knees: diagnosis and treatment of a new clinical sign. In: *AM J Sports Med* 30 (2002) Nr. 1, S. 32-8
- (92) Strobel, MJ; Weiler, A; Schulz, MS: Arthroscopic evaluation of articular cartilage lesions in posterior-cruciate-ligament-deficient knees. In: *Arthroscopy* 19 (2003) Nr. 3, S. 262-8
- (93) Sylvin, LE: A more exact measurement of the sagittal stability of the knee joint. In: *Acta Orthop Scand* 46 (1975) Nr. 6, S. 1008-11
- (94) Tewes, DP; Fritts, HM; Fields, RD: Chronically injured posterior cruciate Ligament: Magnetic resonance imaging. In: *Clin Orthop* 335 (1997), S. 224-323
- (95) Torg, JS; Barton, TM; Pavlov, H; Stine, R: Natural history of the posterior cruciate ligament-deficient knee. In: *Clin Orthop Relat Res* 246 (1989), S. 208-16
- (96) Veltri, DM; Warren, RF: Anatomy, biomechanics, and physical findings in posterolateral knee instability. In: *Clin Sports Med* 13 (1994) Nr. 3 S. 599-614
- (97) Wan, AC; Felle, P: The menisco-femoral ligaments. In: *Clin Anat* 8 (1995) Nr. 5 S. 323-6

- (98) Weiler, A; Jung, TM; Lubowicki, A: Management of posterior cruciate ligament reconstruction after previous isolated anterior cruciate ligament reconstruction. In: *Arthroscopy* 23 (2007) Nr. 2, S. 164-9
- (99) Wentzensen, A: Verletzungen des hinteren Kreuzbandes. Präsentiert im: *Symposium und Expertenforum Ludwigshafen* (1999)
- (100) Wind, WM; Bergfeld, JA; Parker, RD: Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries: revisited. In: *AM J Sports Med* 32 (2004) Nr. 7, S. 1765-75
- (101) Wipple, TL; Ellis, FD: Posterior cruciate ligament injuries. In: *Clin Sports Med* 10 (1991) Nr. 3, S. 515-57
- (102) Woo, SL; Hollis, JM; Adams, DJ; Lyon, RM; Takai, S: Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex: the effects of specimen age and orientation. In: *AM J Sports Med* 19 (1991), S. 217-25
- (103) Zanetti, M; Hodler, J: Sonography of the musculoskeletal system. In: *Ther Umsch* 54 (1997) Nr. 1, S. 18-23

9. Appendix

9.1. Tabellarischer Lebenslauf

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

9.2. Veröffentlichungen und Preis

Jung TM, Reinhardt C, Scheffler SU, Weiler A: Stress radiography to measure posterior cruciate ligament insufficiency: a comparison of five different techniques. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14 (2006) Nr. 11, S. 1116-21

Reinhardt C, Jung TM, Schmeling A, Weiler A: Vergleich verschiedener Röntgenaufnahmen für die Diagnostik der hinteren Kreuzbandinsuffizienz. Vorgestellt als Poster auf dem 22. AGA Kongress in Frankfurt/Main 2005.

3. Preis AGA- SFA Posterpreis

9.3. Erklärung

„Ich, Carsten Joachim Reinhardt, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Radiologische Diagnostik der hinteren Kreuzbandläsion, eine vergleichende Studie verschiedener Röntgentechniken“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Ort, Datum

Unterschrift