



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Muskelleistung, Sprungkraft und Posturale Stabilität nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion

Verfasser:

Bakk^a. Regina Schnabl

Angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaft (Mag.rer.nat)

Wien, im September 2009

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 826

Dissertationsgebiet lt. Studienblatt:

Sportwissenschaften

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Ramon Baron

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und außer den angegebenen Quellen keine weiteren Hilfsmittel verwendet habe.

Regina Schnabl

Danksagung

Während des Studiums und der Erstellung dieser Diplomarbeit haben mich viele Personen unterstützt. In dieser Danksagung möchte ich mich bei diesen Personen für ihre Hilfe bedanken.

Bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir immer Rückhalt gegeben und mich bei meinen Entscheidungen immer unterstützt und stets an mich geglaubt haben.

Mein Dank geht auch an Herrn Univ. Prof. Dr. Baron, dass ich diese Arbeit unter seiner Betreuung verfassen durfte.

Besonderen Dank und Lob möchte ich (an) Herrn Mag. Csapo aussprechen, der mich in der letzten schwierigen Phase immer aufgemuntert und unterstützt hat. Ich möchte mich in diesem Zuge auch bei allen Mitarbeitern der Abteilung Trainingswissenschaft für die Unterstützung und Hilfe bedanken.

Ebenso möchte ich mich bei Frau Univ. Prof. Dr. Petschnig, Herrn Dr. Schützenberger und Herrn Dr. Prenner für die Patientenvermittlung bedanken.

Weiters bedanke ich mich bei meinen Freunden Carina, Martin, und Theresa die mich immer wieder motiviert und unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt auch allen meinen Probanden, die sich freiwillig zur Verfügung gestellt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND PROBLEMFORMULIERUNG	10
2	GRUNDLAGEN	13
2.1	Anatomie und Biologie des Kniegelenks	13
2.2	Menisken des Kniegelenks	14
2.3	Bänder des Kniegelenks	15
2.3.1	Seitenbänder	15
2.3.2	Kreuzbänder	15
2.4	Gelenkinematik	17
2.4.1	Bewegungsgeometrie	17
2.4.2	Bewegungen im Kniegelenk	17
2.4.3	Verhalten der Kreuz- und Kollateralbänder in Beuge- und Streckbewegung	18
2.5	Kniegelenksstabilisatoren	18
2.6	Kreuzbandruptur	19
2.7	Konservative und operative Therapie	20
2.8	Muskelleistungsschwelle	22
2.9	Koordinativen Fähigkeiten	24
2.9.1	Gleichgewichtsfähigkeit	24
2.9.2	Einflussfaktoren auf die Gleichgewichtsfähigkeit	24
2.9.3	Posturale Stabilität	24
2.9.4	Propriozeption	25
3	FUNKTIONELLE EINSCHRÄNKUNGEN NACH OPERATIVEM KREUZBANDERSATZ	27
3.1	Beweglichkeitsdefizite	27
3.2	Muskuläre Defizite	28
3.2.1	Kraftverlust	28
3.2.2	Muskelatrophie	30
3.3	Willkürliche Aktivierbarkeit	31
3.4	Neuromuskuläre Ansteuerung	31
3.5	Knieinstabilität	32
4	ÜBERBLICK ÜBER HÄUFIGE UNTERSUCHUNGSMETHODEN ZUR FUNKTIONELLEN LEISTUNGSBEURTEILUNG	34
4.1	Winkelreproduktionstest (Messung spezifischer propriozeptiver Qualitäten des Stellungs- und Bewegungssinns)	34
4.2	Stabilitätstest (Messung der posturalen Stabilität)	34

4.3	Gang- und Laufanalyse	35
4.4	Dynamometrie	35
4.5	Hop-Test	36
4.6	Ermittlung der Muskelleistung.....	37
5	FRAGESTELLUNGEN	38
6	STUDIENDESIGN	39
6.1	Teilnehmer/Innen.....	39
6.1.1	Patientengruppe (VK-Gruppe)	39
6.1.2	Kontrollgruppe	39
6.1.3	Durchführung	40
6.2	Überprüfung der maximalen Muskelleistung.....	41
6.3	Überprüfung der Gleichgewichtsfähigkeit	44
6.4	Überprüfung der Sprungkraft.....	46
6.5	Statistische Methoden der Auswertung	47
7	ERGEBNISSE – FRAGEBOGEN	48
7.1	Anthropometrische Angaben zur Kontrollgruppe.....	48
7.2	Anthropometrische Angaben zur VK-Gruppe.....	48
7.3	Anamnestische Daten zur VK-Gruppe	49
7.3.1	Unfallursache	49
7.3.2	Operationszeitpunkt, Operationsmethode und Nachbehandlung.....	49
7.3.3	Dominantes Bein und verletzte Seite.....	50
7.3.4	Unfallart und verletzte Strukturen	50
7.3.5	Therapie nach vorderer Kreuzbandoperation	51
7.3.6	Operationsdatum und Operationsmethode	52
7.3.7	Sportliche Aktivität prä- und postoperativ	54
7.3.8	Nutzung von kniegelenksstabilisierenden Hilfsmitteln	54
8	ERGEBNISSE - UNTERSUCHUNGEN.....	55
8.1	Maximale Muskelleistung	55
8.1.1	Überprüfung auf Symmetrie zwischen rechtem und linkem Bein.....	55
8.1.2	Gruppenvergleich hinsichtlich der maximalen Muskelleistung	58
8.2	Gleichgewichtstest.....	63
8.2.1	Bein-Seitenvergleich der VK-Gruppe und Kontrollgruppe bei der Ruhigmessung	63
8.2.2	Gruppenvergleich bei der Ruhigmessung.....	64
8.3	Vertical Jump Test.....	70
8.3.1	Bein-Seitenvergleich beim Vertical Jump Test	70
8.3.2	Gruppenvergleich	71
8.3.3	Streuung des Beinsymmetrieindexes der VK-Gruppe und Kontrollgruppe	73

8.4	Zusammenhang zwischen dem Beinsymmetrieindex der P_max und dem Beinsymmetrieindex des Schnellkraftindexes.....	75
8.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	76
9	DISKUSSION	77
10	LITERATURVERZEICHNIS	84
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	93
12	TABELLENVERZEICHNIS	94
13	ANHANG	95
13.1	Fragebogen VK-Gruppe	95
13.2	Fragebogen Kontrollgruppe.....	98
13.3	Abstract – Deutsche Version	99
13.4	Abstract – Englische Version	100

1 Einleitung und Problemformulierung

Die vordere Kreuzbandruptur (VKB-Ruptur) ist die am häufigsten vorkommende Verletzung am Kniegelenk. Sportunfälle wie z.B. Fußball, Skifahren, Snowboarden sind die Ursache für eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes. Eine VKB-Ruptur stellt für jeden Operateur sowie Physiotherapeuten eine Herausforderung dar. In den USA werden jährlich ca. 100.000 primäre VKB-Rekonstruktionen durchgeführt. Somit stellt diese Operation eine der am häufigsten chirurgischen Behandlungsformen in der Sportmedizin dar. Von den insgesamt 100.000 operierten Personen geben 3.000 bis 10.000 an, mit dem Behandlungsergebnis zufrieden zu sein (Renström und Kelm 2007, S. 392).

Dank der Kreuzbandchirurgie sowie weiterentwickelten Nachbehandlungskonzepten wurden erhebliche Fortschritte erzielt. Für die vollständige Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit nach einer vorderen Kreuzbandoperation sind eine adäquate Therapie sowie entsprechende Rehabilitationsmaßnahmen erforderlich. Weiters ist zu erwähnen, dass medizinische Faktoren (z.B. Begleitverletzung, Alter) und die Operation selbst eine wichtige Rolle im Heilungsprozess spielen.

Es wurden bereits zahlreiche Arbeiten zum Thema VKB-Ruptur veröffentlicht, die auf spezifische Fragestellungen, wie Operationstechniken, Transplantatauswahl, Rehabilitationsverläufe sowie auftretende Defizite wie z.B. verminderte Kraftfähigkeit, Koordination und Stabilität fokussieren. Trotzdem sind noch viele Fragen hinsichtlich der o.a. Bereiche ungeklärt.

Gerade im Bereich der Diagnostik zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit wurden bisher sehr widersprüchliche Ergebnisse publiziert wie z.B. Lephart et al. (1992); Bonfim et al. (2003); Hoffmann et al. (1999), welche feststellten, dass nach VKB-Ruptur eine Störung der propriozeptiven Fähigkeiten auftritt. Im Gegensatz hierzu konnten in den Arbeiten von Mattacola et al. (2002) und Mir et al. (2007), bei ähnlicher Testung keine Defizite nachgewiesen werden.

Weiters ist noch unklar, ob sich Sprungtests bei der Beurteilung der Funktion der unteren Extremitäten als nützlich erweisen. Barber et al. (1990) fanden heraus, dass nur 30 % der Patienten eine abnormale Beinsymmetrie aufweisen. Im Gegensatz zur Studie von Petschnig et al. (1994), welche ein Jahr nach der Operation eine verminderte Beinsymmetrie bei 64 % der Patienten feststellten. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch die Studie von Hopper et al. (2008)

zwölf Wochen nach Operation. Aufgrund der mangelnden Literatur über die Effektivität des Vertical Jump Tests zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit, sind weitere Studien notwendig.

Ebenso existieren zahlreiche Studien (Mattacola et al. 2002; Ducke et al. 2006; Lautamies et al. 2008), die bestätigen, dass es zu einer Verminderung der Kraft der Knieextensoren nach VKB-Ruptur kommt, bei den Knieflexoren konnten jedoch keine Defizite festgestellt werden.

Zur Beurteilung der Muskelkraft werden meist isokinetische Testmethoden verwendet, welche nur einzelne Muskelgruppen erfassen. Ageberg et al. (2009) geben an, dass in Alltag und Sport muskuläre Aktionen nur in Verbindung mit der Bewegung erfolgen und deshalb die Ermittlung der Muskelleistung ein guter Messparameter zu sein scheint. Bislang existieren kaum ähnliche Studien, die sich mit der Ermittlung der Muskelleistung nach VKB-Rekonstruktion beschäftigten.

Zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses wird die Wiederherstellung der Belastungs- und Sportfähigkeit als Parameter herangezogen. Die vollständige wiederhergestellte Belastungs- und Sportfähigkeit ist durch freie Gelenkbeweglichkeit sowie einen stabilen Kapsel-Band-Apparat gekennzeichnet.

Die VKB-Ruptur und ihre Folgen für die funktionelle Leistungsfähigkeit der Patienten waren bereits Thema meiner Bakkalaureatsarbeit. Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnten dort jedoch keine eindeutigen Resultate erzielt, sondern nur vage Vermutungen angestellt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen einer VKB-Ruptur auf die Muskelleistungsfähigkeit, und propriozeptiven Fähigkeiten im Kniegelenk zu überprüfen. Dazu wurden drei verschiedene Testmethoden an einer kreuzbandoperierten Gruppe (VK-Gruppe) und einer gesunden Kontrollgruppe angewandt.

Auf Basis vorliegender Literatur (Fremerey et al. 2000; Roberts et al. 2007) wird angenommen, dass vereinzelte Defizite im Bereich der propriozeptiven Fähigkeiten bestehen und diese die Muskelleistung sowie Sprungkraft beeinflussen.

Zu diesem Zweck wurde eine neuartige Serie von Messmethoden zur Bestimmung der Parameter Muskelkraft, Muskelleistung und Stabilität des Kniegelenks ausgewählt. Die Testbatterie beinhaltet die Ermittlung der mechanischen Muskelleistung für die untere Extremität, Vertical Jump Tests und einen Stabilitätstest. Es soll untersucht werden, ob mit dem gewähl-

ten Testsystem mögliche funktionelle Defizite nach VKB-Ruptur nachzuweisen sind. Der Vergleich zwischen operiertem und nicht operiertem Knie sowie zwischen der VK-Gruppe und der Kontrollgruppe sollen in Kombination mit vorhandener Literatur, die Aussagekraft des Untersuchungsdesigns beurteilen.

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen empirischen Teil. Zu Beginn der Arbeit wird ein Überblick über die Anatomie und Funktion des Kniegelenks gegeben. Im Weiteren wird auf die kniegelenksumgebende Muskulatur, die für die Kniestabilität wichtig ist, eingegangen. Es werden ebenfalls mögliche Behandlungsformen erörtert und diskutiert. Das darauffolgende Kapitel beschäftigt sich mit der mechanischen Muskelleistung, Sensomotorik und Koordination. Im Anschluss daran werden die funktionellen Einschränkungen nach VK-Ruptur dargestellt. In Kapitel sechs werden das Probandengut sowie die angewandten Testmethoden beschrieben. Kapitel acht beinhaltet die Ergebnisse der Untersuchung, welche in Kapitel neun zusammengefasst sind und vor dem Hintergrund bereits veröffentlichter Ergebnisse diskutiert werden.

2 Grundlagen

2.1 Anatomie und Biologie des Kniegelenks

Das Kniegelenk, **Articulatio genus** ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers (Platzer 2003, S. 206).

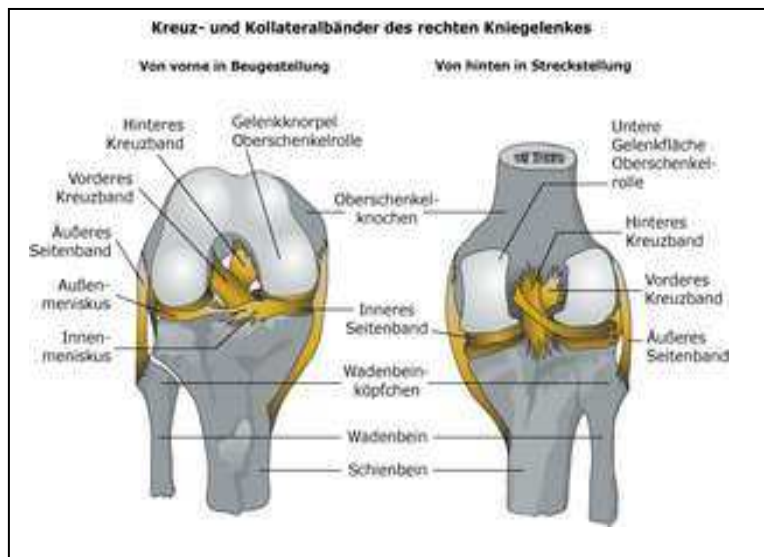


Abbildung 1: Kniegelenk (Zugriff am 10.03.2009 unter <http://www.gelenkforum.de/typo3temp/pics/2780e91f15.jpg>)

Das Kniegelenk besitzt wie auch alle anderen Gelenke des menschlichen Körpers artikulierende Flächen in Form von Gelenkskörpern, die von einer Kapsel umgeben und durch einen Gelenksspalt voneinander getrennt sind.

Im Gelenksspalt sind zwei Menisci eingelagert um die Inkongruenz zwischen den beiden Gelenkskörpern auszugleichen. Gelenkskopf und Gelenkspfanne sind von hyalinem Knorpel überzogen. Der Knorpel steht in enger Verbindung mit dem Knochen und weist eine glatte, glänzende Oberfläche auf. Der hyaline Knorpel ist in Schichten aufgebaut und wird durch die Synovialflüssigkeit und durch Diffusion ernährt. Die Gelenkscapsel besteht aus einer äußeren Schicht, der Membrana fibrosa, und einer inneren Schicht, der Membrana synovialis (vgl. Platzer 2003, S. 24).

Das Kniegelenk wird durch die drei miteinander in gelenkiger Verbindung stehenden Knochen Femur, Tibia und Patella gebildet. Dabei bilden Femur und Tibia das Femorotibialgelenk sowie Femur und Patella das Femoropatellargelenk. Beide Gelenke sind von einer gemeinsamen Gelenkscapsel umgeben. Die Fibula ist nicht dem Kniegelenk zuzu-

rechnen. Sie bildet mit der Tibia ein eigenes Gelenk, das Tibiafibulargelenk (vgl. Schünke, Schulter, Schumacher 2004, S. 392).

Die Gelenkskörper des Femorotibialgelenks werden von den Condyli femoris und den Condyli tibiae gebildet. Diese sind mit einem relativ dicken Knorpelüberzug versehen. Die relative Bewegung dieser artikulierenden Gelenkflächen bezeichnet man beim Kniegelenk auch als Roll-Gleit-Mechanismus. (vgl. Platzer 2003, S. 206).

2.2 Menisken des Kniegelenks

Die Menisci haben die Aufgabe, im Kniegelenk die kraftaufnehmende Fläche zu vergrößern. Das heißt, sie kompensieren die physiologische Inkongruenz von Femur und Tibia und sorgen somit für die Verteilung des Gelenksdruckes und die gleichmäßige Beanspruchung des Gelenks (vgl. Schünke et al. 2004, S. 397).

Menisci bestehen aus Bindegewebe mit kollagenem Fasermaterial und eingelagerten knorpelähnlichen Zellen.

Der **mediale Meniscus** ist halbmondförmig und mit dem Lig. collaterale tibiale verwachsen. Er ist durch seine Befestigung weniger beweglich als der laterale Meniscus und ist bei Außenrotation des Unterschenkels gespannt, bei Innenrotation entlastet.

Der **laterale Meniscus** ist beinahe kreisförmig und nicht mit dem Lig. collaterale fibulare verwachsen. Er wird bei Bewegungen des Kniegelenks weniger belastet, da er eine größere Beweglichkeit aufweist (vgl. Platzer 2003, S. 208).

Die schlaffe Gelenkscapsel ist vorne und seitlich dünn und wird durch Bändern verstärkt.

Auf der Vorderseite ist die Gelenkscapsel durch die Verspannung und Verstärkung der Patella gesichert (vgl. Platzer 2003, S. 206).

Die Patella ist das größte Sesambein des menschlichen Skelettsystems. 50 % der Quadrizepssehnenfasern inserieren cranial an der Patella, die übrigen strahlen in das Lig. patellae ein.

Weiters findet man beim Kniegelenk zahlreiche Schleimbeutel (Bursae). Einige von diesen Schleimbeuteln kommunizieren mit der Gelenkshöhle.

2.3 Bänder des Kniegelenks

Man kann die Bänder des Kniegelenks in zwei Gruppen zusammenfassen.

2.3.1 Seitenbänder.

Zur Gruppe der Seitenbänder zählen

- das Lig. collaterale tibiale, welches auf der Innenseite des Kniegelenks verläuft und daher Innenband genannt wird sowie
- das Lig. collaterale fibulare, welches auf der Außenseite des Kniegelenks verläuft und daher Außenband genannt wird.

Das *Lig. collaterale tibiale* ist das breitere der beiden Bänder und zieht vom Epicondylus medialis des Femur schräg nach distal vorne und inseriert unterhalb des Tibiaplateaus an der Facies medialis tibiae. Es ist in die Membrana fibrosa der Kapsel eingebaut und mit dem Meniscus medialis verwachsen.

Das *Lig. collaterale fibulare* zieht auf der Außenseite des Kniegelenks vom Epicondylus lateralis des Femur als runder Strang schräg nach distal hinten zum Caput fibulae. Es ist weder mit der Kapsel noch dem Meniscus verwachsen (Schünke et al. 2004, S. 395).

2.3.2 Kreuzbänder.

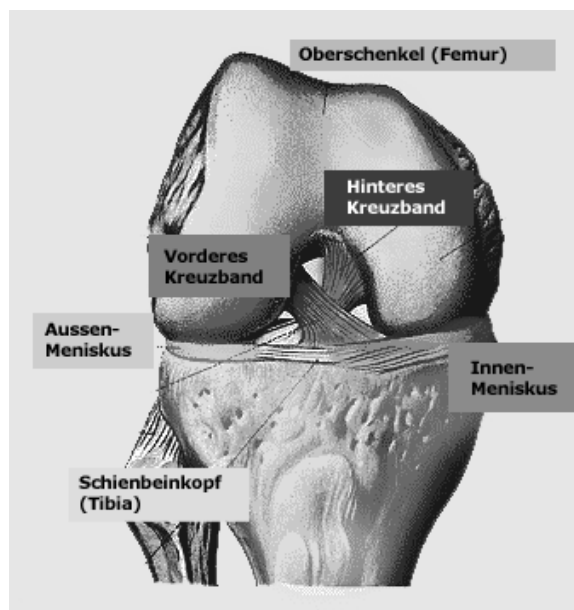


Abbildung 2: Kreuzbänder (Zugriff am 22.05.2009 unter <http://www.sport-trauma.com/.../Knie/kreuzband.htm>)

Nach Jakob & Stäubli (1990, S. 1) sind die beiden Kreuzbänder der Zentralpfeiler des Kniegelenks. Beide Kreuzbänder sichern den gelenkigen Kontakt von Femur und Tibia und stabilisieren das Kniegelenk (Schünke et al. 2004, S. 395).

Sie stellen die passiven Führungselemente des Kniegelenks dar und sind für das Zustandekommen des Roll-Gleit-Mechanismus verantwortlich (Hertel & Schweiberer 1975 zit. n. Wilcke 2004, S.15).

Das Lig. cruciatum anterius (Vorderes Kreuzband) zieht von der Area intercondylaris anterior der Tibia diagonal nach posterolateral zum lateralen Condylus des Femurs. Die lateral entspringenden Fasern ziehen weiter nach dorsal als die medialen (vgl. Platzer 2003, S. 208).

Es setzt sich aus etwa 1500 bis 2000 Fasern zusammen und weist eine komplizierte Binnenstruktur auf, deren Ursprungs- und Insertionsareale nicht parallel zueinander liegen (Burgkart & Gradinger 2000; Stäubli et al. 1999 zit. n. Wilcke 2004, S. 15).

Das vordere Kreuzband spreizt sich proximal und distal im Bereich der Ansatzzonen fächerförmig auf und verfügt ansatznah über einen größeren Querschnitt als im mittleren Verlauf (Wilcke 2004, S. 15).

Fuchs et. al. (1991) sowie Wagner & Schabus (1980 zit. n. Wilcke 2004, S. 18) teilen es in ein anteromediales, ein anterolaterales sowie ein posterolaterales Bündel.

Die genaue Topographie und die Insertionsstellen sind für das Verständnis der Gelenksfunktion sowie für die operative Rekonstruktion von großer Bedeutung.

Das kräftigere Lig. cruciatum posterius (Hinteres Kreuzband) zieht von der lateralen Fläche des medialen Condylus des Femurs zur Area intercondylaris posterior der Tibia (vgl. Platzer 2003, S. 208).

Die beiden Kreuzbänder bestehen primär aus fibrösem Kollagen. Es enthält ebenso auch viskoelastische Fasern und Wasser. Weiters enthält das vordere Kreuzband Blutgefäße, Nerven und Fibroblasten (Arnocky 1983 zit. n. Wilcke 2001, S. 17).

Das vordere Kreuzband übernimmt 1/3 des Potentials zur Stabilisierung und weist eine Belastbarkeit von etwa 40 kg auf. Kräfte die auf das vordere Kreuzband einwirken, verteilen sich je nach Lage auf verschiedene Faserbündeln z.B. stabilisieren mittlere Faserportionen bei Innenrotation (Jakob & Stäubli 1990, S. 43).

2.4 Gelenkkinematik

2.4.1 Bewegungsgeometrie

Das vordere Kreuzband kontrolliert das physiologische ventrale Gelenksspiel, wohingegen das hintere Kreuzband ein physiologisches Gelenksspiel nach dorsal gewährleistet.

Unter physiologischem Gelenksspiel versteht man das Bewegungssegment von der Neutralnullstellung bis zur physiologischen Bewegungsgrenze. Die physiologische relative ventrale Bewegungsgrenze besteht aus einer geringgradigen Ventralverschieblichkeit der Tibia. Diese ist flexionsabhängig und mit einer geringen Innenrotation gekoppelt.

Die physiologische relative dorsale Bewegungsgrenze besteht aus einer dorsolateralen Verschieblichkeit. Mit zunehmender Flexion ist diese mit einer Außenrotation der Tibia im Bezug zum Femur gekoppelt. Bei einer vorderen Kreuzbandruptur kommt es zu einer vermehrten Verschieblichkeit der Tibia nach ventral (Stäubli & Jakob 1990, S. 5-6).

2.4.2 Bewegungen im Kniegelenk

Das Kniegelenk stellt eine Kombination aus Scharnier- und Zapfengelenk dar und verfügt somit über 6 Freiheitsgrade, welche drei Bewegungen um Rotationsachsen sowie drei Translationsbewegungen zulassen. Zu den wichtigsten Translationsbewegungen zählen die Beugung (Flexion) und Streckung (Extension). Diese Bewegungen finden in der Sagittalebene statt (Wilcke 2004, S. 26).

Die Flexion (max. 120- 140°) und Extension (max. 5-10) im Kniegelenk erfolgen um eine transversale Achse.

Diese verläuft in jeder Gelenksstellung durch den momentanen Drehpunkt. Der momentane Drehpunkt entspricht dem jeweiligen Schnittpunkt sowohl der Seitenbänder als auch der Kreuzbänder. Mit zunehmender Flexion wandert die momentane Bewegungsachse auf einer Kurve bogenförmig nach hinten oben. Der jeweilige Abstand zwischen dieser Kurve und der Gelenksoberfläche entspricht den unterschiedlichen Krümmungsradien eines Femurcondylus.

Das Bewegungsausmaß ist vor allem bei der Flexion von verschiedenen Parametern abhängig, wie z.B. der Weichteilhemmung und aktiven Insuffizienz (Schünke et al. 2004, S. 399).

Bei den Rotationsbewegungen unterscheidet man zwischen Innen- und Außenrotation.

In gebeugter Stellung ist eine Rotation um die Unterschenkelachse möglich. Die Rotationsachse verläuft vertikal durch den Innenbereich des medialen Tibiacondylus. Eine Innenrotation von etwa 10° sowie eine Außenrotation von 30 – 40 ° gelten als physiologisch.

Das Bewegungsausmaß bei der Innenrotation ist aufgrund der Kreuzbänder wesentlich geringer als bei der Außenrotation. Es kommt bei der Innenrotation zu einer Umwicklung der Kreuzbänder, welche die Bewegungsfreiheit in dieser Richtung limitiert. Daher ereignen sich die meisten Kreuzbandrupturen bei Innenrotation, wobei das vordere Kreuzband besonders betroffen ist (Schünke et al. 2004, S. 399).

2.4.3 Verhalten der Kreuz- und Kollateralbänder in Beuge- und Streckbewegung

Die Kollateralbänder werden nur in Streckstellung gestrafft. Die Kreuzbänder oder zumindest Teile von ihnen sind hingegen in jeder Stellung des Gelenks gespannt.

Bei der Extension sind die medialen Teile beider Kreuzbänder und bei der Flexion die lateralen Teile gespannt. Bei Flexion und gleichzeitiger Innenrotation sind die medialen Teile des vorderen Kreuzbandes sowie das gesamte hintere Kreuzband gespannt.

Die Aufgabe der Kreuzbänder ist es, das Gelenk in jeder Gelenksstellung zu stabilisieren (Schünke et al. 2004, S. 398).

2.5 Kniegelenksstabilisatoren

Das Kniegelenk wird sowohl dynamisch als auch statisch stabilisiert. Zu den dynamischen Stabilisatoren zählen Muskel- und Sehneneinheiten. Die statische Stabilisation wird von den Bändern, Menisken und Gelenksflächen gewährleistet. Die Kniestabilisatoren werden nach ihrer Funktion und anatomischen Lage in einen medialen, lateralen und zentralen Komplex eingeteilt (Wilcke 2004, S. 19)

Die statische Stabilität wird primär vom vorderen Kreuzband und sekundär vom Tractus iliotibialis, der medialen und lateralen Kapsel sowie dem medialen und lateralen Seitenband gesichert. Das vordere Kreuzband verhindert die ventrale Translation der Tibia gegenüber dem Femur und hemmt eine zu starke Innenrotation. Bei Streckstellung verhindert es eine Überstreckung des Kniegelenks.

Die dynamische Kraftkontrolle des Kniegelenks wird durch die Oberschenkelmuskulatur gewährleistet. Der M. quadriceps femoris ist der wichtigste Muskel für die Extension im Knie-

gelenk. Dieser vierköpfige Muskel besteht aus dem M. rectus femoris, M. vastus lateralis, M. vastus medialis und M. vastus intermedius. Die vier Muskelanteile vereinigen sich zu einer gemeinsamen Sehne, die an der Patella ansetzt (vgl. Wilcke 2004, 19-20).

Die ischiocrurale Muskulatur ist an der Flexion des Kniegelenks beteiligt. Diese besteht aus den Mm. biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus, sartorius und gracilis. Weiters sind an der Flexion des Kniegelenks auch der M. gastrocnemius und M. popliteus beteiligt (Weineck, 2003, S. 255).

Bei der aktiven Kniebeugung kommt es zu einer konzentrischen Kontraktion der ischiocruralen Muskulatur und zu einer exzentrischen Kontraktion des M. quadriceps. Wird das Knie gestreckt, arbeitet der M. quadriceps konzentrisch und die ischiocrurale Muskulatur exzentrisch (vgl. Wilcke 2004, S. 20).

Somit ergibt sich, dass das vordere Kreuzband, zusammen mit anderen anatomischen Strukturen, für das statische und dynamische Gleichgewicht des Kniegelenks verantwortlich ist. Weiters spielen auch die Propriozeptoren als Feedback-Mechanismen eine wichtige Rolle. Diese sorgen über neurosensorische Bahnen für eine dynamische und statische Führung und Kontrolle im Gelenk.

2.6 Kreuzbandruptur

Bei gerissenem Kreuzband lässt sich der Unterschenkel aufgrund der entstandenen Instabilität schubladenartig verschieben. Bei einer VKB-Ruptur lässt sich der Unterschenkel daher ca. 2-3 cm nach ventral verschieben. Dies wird auch das vordere Schubladenphänomen genannt.

Die meisten VKB-Rupturen entstehen durch indirekt einwirkende Kräfte, d.h. es kommt zu einer Verschiebung der Gelenkspartner (vgl. Wilcke 2004, S. 47).

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt etwa 10-mal häufiger vor als die des hinteren, meist verursacht durch ein Innenrotationstrauma. VKB-Rupturen treten häufig mit Verletzungen des Innenmeniskus und Innenbands auf und werden als: „Unhappy-triad-Verletzung“ bezeichnet (Schünke et al. 2004, S. 398).

Laut Wilcke (2004, S. 47) nimmt auch die Bedeutung der Hyperextensions- und Hyperflexionstraumen zu. Bei Bandrupturen treten durch zu hohe Krafteinwirkung auch Knorpelschäden oder Knochen- und Knorpelschäden auf.

2.7 Konservative und operative Therapie

Da es noch an entsprechenden vergleichenden Studien mangelt, ist bislang noch unklar, ob Kreuzbandrupturen konservativ oder operativ zu behandeln sind.

Laut Renström (2007, S. 292) gibt es keine standardisierten Kriterien zur Patientenauswahl bzw. eindeutige Indikationsstellungen für eine operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, da klar strukturierte Studien bislang noch ausständig sind. Die Struktur des vorderen Kreuzbandes ist so komplex, dass sich die operative Therapie häufig schwierig gestaltet.

Dennoch geht aus einigen Studien (Fink et al. 2001; Hinterwimmer et al. 2003; Karanikas et al. 2005) hervor, dass die operative Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes eine bessere Stabilität und Funktion gewährleistet.

Einige Studien (Muaidi et al. 2007; Ageberg 2002, Lüring et al. 2004) belegen, dass es nach konservativer Therapie zwar zu einer rascheren muskulären Regeneration, jedoch zu einem Verlust der Kniestabilität kommt.

Mosknes & Risberg (2008, S. 6-7) überprüften die Auswirkungen einer konservativen und operativen Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur ein Jahr nach Verletzung. In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die nicht operierten Personen signifikant bessere 6-m-Zeitsprünge und Dreifachsprünge absolvierten als die operierte Gruppe. Jedoch konnten keine Unterschiede bei den anderen Testparametern gefunden werden. Sie führten an, dass zusätzliche Studien notwendig sind, um diesbezüglich klare Aussagen zu machen.

Die Entscheidung bezüglich der am besten geeigneten Behandlungsmethode hängt meist von der Aktivität und dem Alter des Betroffenen, sowie von der Art der Ruptur ab. Je sportlicher bzw. aktiver der Betroffene ist, desto eher wird eine operative Therapie empfohlen (Fink et al. 2001).

Die Betroffenen können nach operativer Versorgung der Ruptur wieder 90 % des ursprünglichen Aktivitätsniveaus erreichen, das sie vor der Verletzung hatten. Bei der konservativen Therapie wird versucht durch gezieltes Muskelaufbautraining die Instabilität auszugleichen (Wilcke 2004, S. 85-90).

Im Gegensatz hierzu führten Eckhardt et al. (1994) an, dass die biologischen Strukturen sowie die funktionelle Leistungsfähigkeit nach VKB-Plastik nicht vollständig wiederhergestellt

werden können. Durch gezieltes Training ist es möglich, die gewohnte sportliche Aktivität wieder auf demselben bzw. einem höheren Level auszuüben.

Ob nun eine operative Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes eine bessere Stabilität und Funktion gewährleistet als die konservative Therapie ist noch nicht vollständig abgeklärt. Es gilt jedenfalls als gesichert, dass für den Verlauf der funktionellen Wiederherstellung sowohl nach konservativer als auch nach operativer Therapie der Rehabilitationsverlauf eine wesentliche Rolle spielt (Wilcke 2004, S.90; Renström & Kelm 2007; Karanikas et al. 2005).

Das häufigste Verfahren zur Wiederherstellung der vorderen Kreuzband-Funktion ist der plastische Bandersatz. Trotz steter Verbesserung der Behandlungsmethoden ist es bislang noch nicht möglich, den Ausgangszustand wiederherzustellen. Bezüglich der Laxizität bleiben immer Unterschiede zwischen der gesunden Seite und dem operierten Knie bestehen. Die Rekonstruktion des Kreuzbandes erfolgt unter Verwendung des mittleren Patellarsehnendrittels bzw. von Teilen der Semitendinosussehne oder Gracilissehne. (Wilcke 2004, S.95).

Eine in Deutschland durchgeführte Umfrage an unfallchirurgischen und orthopädischen Kliniken bezüglich Vorgangsweise und Technik bei der vorderen Kreuzbandplastik ergab, dass die Patellarsehne häufiger als die Semitendinosussehne verwendet wird. Die Verankerung beider Transplantate erfolgte mittels Interferenzschraube (Lüning et al. 2004; 18, S. 119-224).

In einer weiteren Arbeit evaluierten Sajovic et al. (2009) die Behandlungserfolge, die mit Patellarsehnen- und Semitendinosussehnen-Transplantaten erzielt wurden. Es zeigte sich kein Unterschied bei der subjektiven Beurteilung des Behandlungserfolges sowie der objektiven Stabilität. Jedoch zeigte sich bei Patienten mit Patellarsehnenimplantat fünf Jahre nach Operation eine höhere Prävalenz für Arthrose.

2.8 Muskelleistungsschwelle

Die Muskelleistung beschreibt die Bewegungsdynamik, in der sowohl die auftretenden Kräfte als auch die Geschwindigkeit erfasst werden.

Die mechanische Leistung (P) ergibt sich somit aus dem Produkt von Kraft (F) und Geschwindigkeit (v).

$$P = F * v$$

Sie wird in Watt gemessen. 1 Watt entspricht einem Newtonmeter pro Sekunde.

Als Muskelleistung bezeichnet man die mechanische Leistung, die durch Muskelaktivität verursacht wird. Bei sportlichen bzw. alltäglichen Bewegungen ergibt sich die Muskelleistung aus der Summe der Leistungen der an der Bewegung beteiligten Einzelmuskeln (Petrella et al. 2004).

Nach Pampus (1992, S. 136-145) ist die mechanische Leistung des Muskels von folgenden vier Komponenten abhängig:

- Quantität der Strukturen des Muskel- und Körpergewebes, die Energie übertragen.
- Geschwindigkeit der Energieübertragung der Strukturen
- Größe der Energiespeicher im Muskel- und Körpergewebe
- Geschwindigkeit der Verstoffwechslung der gespeicherten Energie

Die höchste Muskelleistung wird bei maximaler Aktivierung des Muskels erbracht. Ferner konnte festgestellt werden, dass die maximale Muskelleistung von der zu überwindenden Last abhängig ist.

Die Ergebnisse aus den diesbezüglichen Pionierarbeiten von Hill (1983 zit. n. Pampus 1992, S. 57), in denen in Abhängigkeit der Last unterschiedliche Kontraktionsgeschwindigkeiten von Froschschenkelmuskeln nachgewiesen wurden, wurden in späteren Arbeiten auch für den Menschen bestätigt (Fukashiro et al. 2006; Lichtmark & Wilson 2005).

Aus der Hill'schen Kurve lässt sich ableiten, dass die mechanische Muskelleistung ihr Maximum erreicht, wenn sich der Muskel mit einer Last, die etwa einem Drittel seines isometrischen Maximums entspricht, verkürzt. Das Leistungsmaximum (P_{max}) wird als Muskelleistungsschwelle bezeichnet (Pampus, 1992, S. 57).

Martin, Carl & Lehnertz (1991, S. 119) definieren die Muskelleistungsschwelle wie folgt:

„Als Muskelleistungsschwelle (MLS) wird der Kulminationspunkt in der Leistungs-Last (Gewicht)- Kurve bezeichnet. Die Last (das Gewicht) mit der die maximale Leistung erreicht wird, heißt Schwellenlast (-gewicht).“

Besteht ein optimales Verhältnis zwischen der zu bewältigenden Last und der Geschwindigkeit der bewegten Last, so spricht man von der maximalen Muskelleistung.

Das Messen der Muskelleistung scheint bei allen sportlichen Bewegungen eine wichtige Messmethode zur Erfassung der Kraftfähigkeit und zur Bestimmung der Belastungsintensität zu sein. Denn bei den meisten sportlichen Bewegungen kommt es nicht darauf an, die größtmögliche Last zu bewegen, sondern entweder eine möglichst hohe Muskelleistung zu realisieren oder eine mittlere Leistung möglichst lange zu halten (Martin, Carl & Lenertz, 1991).

Petrella et al. (2004) führen an, dass die Leistungsfähigkeit von Personen maßgeblich von einer guten Muskelleistung, kurzen Reaktionszeit und Schnellkraft abhängig ist. Weiters wird angeführt, dass die Muskelleistung funktionsgemäß für die physiologische Belastbarkeit von Bedeutung ist, da Leistung eher als Kraft allein für die Beweglichkeit verantwortlich ist.

Dadurch erscheint es sinnvoll, nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion die Muskelleistung zu testen. Es wird angenommen, dass noch Defizite im operierten Bein gegenüber dem gesunden Bein sowie der Kontrollgruppe bestehen.

2.9 Koordinative Fähigkeiten

Die koordinativen Fähigkeiten gehören zum Funktionsbereich der Bewegungssteuerung und Bewegungsregulation. Diese sind komplexe Leistungsvoraussetzungen für alle handlungsbezogenen Aktivitäten. Sie gehören zusammen mit den konditionellen Fähigkeiten, Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit zu den motorischen Fähigkeiten (Schnabel et al. 2003, S. 126).

Die koordinativen Fähigkeiten werden in verschiedene Teilbereiche, nämlich die Differenzierungsfähigkeit, Orientierungsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit, Reaktionsfähigkeit, Rhythmusfähigkeit, Kopplungsfähigkeit und Umstellungsfähigkeit gegliedert. In dieser Arbeit wird speziell auf die Gleichgewichtsfähigkeit eingegangen.

2.9.1 Gleichgewichtsfähigkeit

Laut Meinel & Schnabel (2007, S. 225) versteht man unter Gleichgewichtsfähigkeit „die Fähigkeit den gesamten Körper im Gleichgewichtszustand zu halten oder während und nach umfangreichen Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten beziehungsweise wiederherzustellen“.

Die Dauer der Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes bzw. das Tempo und die Qualität der Wiederherstellung des Gleichgewichts kann als Maß für die Gleichgewichtsfähigkeit verwendet werden.

2.9.2 Einflussfaktoren auf die Gleichgewichtsfähigkeit

Die Gleichgewichtsfähigkeit wird von inneren und äußeren Faktoren beeinflusst. Das Alter sowie der Trainingszustand können das Gleichgewicht beeinflussen. Ebenso Schmerzen können sich negativ auf die Gleichgewichtsfähigkeit auswirken. Zu den äußeren Faktoren gehören Lärm, Temperatur und visuelle oder taktile Ablenkungen (Weineck 2004a, S. 335-336).

2.9.3 Posturale Stabilität

Die Körperhaltung unterliegt der ständigen Kontrolle und Regulation verschiedener Strukturen des zentralen und peripheren Nervensystems sowie des Bewegungsapparates. Man spricht auch von der posturalen Stabilität.

Alle aktiven Bewegungen stellen für den Körper Gleichgewichtsveränderungen dar. Für die Koordination sind im Wesentlichen fünf verschiedene Analysatoren wichtig, die auf das

Gleichgewicht einwirken und zwar der vestibuläre oder statikodynamische, der kinästhetische, der optische, der taktile und der akustische Analysator. Analysatoren sind Teilsysteme der Sensorik, die Informationen empfangen, umkodieren, weiterleiten und verarbeiten. Zu jedem Analysator gehören spezielle Rezeptoren, afferente Nervenbahnen und sensorische Zentren in verschiedenen Hirnregionen (Weineck, 2004a, S. 333).

Das vestibuläre System dominiert bei aufrechten Bewegungen nahezu alle anderen oben genannten Systeme. Besonders in unsicheren Situationen wie dem Stehen oder Gehen auf instabilen Untergründen übernimmt dieses System die Führung und Kontrolle. Das Innenohr stellt das Organ des Vestibulärapparats dar. Es reguliert die Raumlage des Körpers bei motorischen Handlungen und analysiert Informationen über Richtungs- und Beschleunigungsveränderungen des Kopfes. Das ständige Ausbalancieren des Körpergleichgewichts ist ein komplexer Vorgang von Wahrnehmung, Koordination und Integration der sensorischen Information im Zentralnervensystem. Die Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts ist eine sensorische und motorische Leistung, die sowohl in der Alltags- als auch in der Sportmotorik eine wesentliche Rolle spielt (Froböse et al. 2003, S. 158).

2.9.4 Propriozeption

Voraussetzung für eine optimale Balance ist eine ausgereifte Propriozeption. Unter Propriozeption bzw. Tiefensensibilität versteht man die „innere“ Wahrnehmung der Gliederstellung und der Muskelspannung. Aufgenommen werden die entsprechenden Reize über Rezeptoren, welche sich in Muskeln, Sehnen und Gelenken befinden. Diese sensorisch afferenten Informationen werden zum Zentralnervensystem weitergeleitet und dort verarbeitet (Froböse et al. 2003, 145-158).

Die Propriozeption steuert die Muskelfunktion und beeinflusst somit die reflektorische Gelenkstabilisierung. Der Kreislauf des sensomotorischen Systems beinhaltet die Wahrnehmung bzw. Erfassung des Reizes in der Peripherie und dessen Weiterleitung über afferente Bahnen zum Rückenmark oder den übergeordneten Zentren des Zentralnervensystems. Im Zentralnervensystem werden die Informationen verarbeitet und es entsteht eine neuromuskuläre Antwort (efferentes Signal), welche in der Peripherie eine kontinuierlich angepasste Aktivität auslöst (Wilcke, 2004, S. 165).

Nach Verletzungen kommt es zu Ausfällen der Rezeptoren in den zerstörten Strukturen, was zu einer fehlenden Aktivierung motorischer Regelkreise führt. Dies führt zur Instabilität sowie inadäquaten Bewegungsabläufen (Froböse et al. 2003, 145-158).

Eine VKB-Ruptur führt zu einer kombinierten mechanischen und funktionellen Instabilität. Die funktionelle Instabilität ist auf ein neuromuskuläres Defizit zurückzuführen, welche durch eine gestörte Propriozeption verursacht wird. Von einer mechanischen Instabilität spricht man, wenn ein erhöhtes Bewegungsausmaß in anteriorer Richtung besteht (Lübken et al. 2008).

In einigen Untersuchungen (Ageberg 2002; Katayama et al. 2004; Anders et al. 2008; Fremerey et al. 2000; Bonfirm et al. 2003; Ozenci et al. 2007; Roberts et al. 2007; Anders et al. 2008) konnte bestätigt werden, dass nach einer VKB-Ruptur sowie VKB-Rekonstruktion die propriozeptiven Fähigkeiten vermindert sind. Es kommt zu verlängerten Latenzzeiten, zu veränderten Bewegungsmustern sowie zu verminderter posturaler Stabilität.

Die Frage, wie lange nach VKB-Rekonstruktion dieses Defizit bestehen bleibt scheint noch unklar, wobei eine Untersuchung von Iwasa et al. (2000) angibt, dass eine Dauer von mindestens 18 Monaten zur vollständigen Wiederherstellung der propriozeptiven Funktion notwendig ist.

In meiner Untersuchung werden die propriozeptiven Fähigkeiten mittels eines Gleichgewichtstests erfasst. Es wird angenommen, dass trotz längerer Rekonvaleszenz-Zeit Defizite im Vergleich zum gesunden Bein sowie zur Kontrollgruppe nachgewiesen werden können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es herauszufinden, ob im verletzten Bein bezüglich Kraft und Stabilität noch Defizite im Vergleich zur Kontrollgruppe vorhanden sind.

3 Funktionelle Einschränkungen nach operativem Kreuzbandersatz

Trotz operativer Versorgung des vorderen Kreuzbandes und anschließender Rehabilitationsmaßnahmen treten nach wie vor kurz- oder langfristige Einschränkungen der individuellen Leistungsfähigkeit auf (Urbach et. al 2001).

Laut bisheriger Literatur kommt es zu folgenden Funktionsdefiziten:

- Bewegungseinschränkungen
- Reduktion der Muskelkraft
- Störung der willkürlichen Aktivierbarkeit
- Knieinstabilität
- Störung der Propriozeption
- Veränderungen der Gewichtsverteilung in Gang und Stand
- Veränderungen der intra- und intermuskulären Koordination

3.1 Beweglichkeitsdefizite

Nach Gelenkoperationen können Beweglichkeitseinschränkungen auf reflektorisch oder strukturell bedingten Einschränkungen beruhen (Froböse et al. 2003, S. 73).

Unmittelbar nach der Operation kommt es aufgrund einer Schwellung und einer reflektorisch bedingten Einschränkung zur Reduktion der Beweglichkeit. Daraus können sich im weiteren postoperativen Verlauf strukturelle Einschränkungen entwickeln (Rebel, 2004, S. 30).

Man spricht von einer eingeschränkten Beweglichkeit, wenn ein Streckdefizit des Kniegelenks von 10° und mehr vorliegt bzw. wenn die Beugung auf 125° oder darunter limitiert ist (Wilcke, 2004, S. 143).

Pinczewski et al. (2001) stellten fest, dass 5 Jahre nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion eine verminderte passive Kniestreckung im Vergleich zum nichtverletzten Bein vorliegt. Die verminderte Kniestreckung konnte vor allem bei jenen Patienten festgestellt werden, welche ein Patellarsehnenimplantat und kein Semitendinosussehnenimplantat erhalten haben.

Heijne und Werner (2007, S. 408) konnten keine Seitendifferenz 3, 5 und 7 Monate postoperativ feststellen.

Eine Follow-up Untersuchung nach zehn Jahren (Shelbourne & Tinker 2009) ergab, dass 90 % der Patienten einen normalen oder annähernd normalen Bewegungsumfang hatten. Die restlichen 10 % der Patienten hatten eine verminderte Kniestreckung von 3 ° bis 5 °.

3.2 Muskuläre Defizite

Nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes kommt es zur Atrophie und Schwächung der Oberschenkelmuskulatur. Betroffen ist vor allem der M. quadriceps femoris (Arvidsson et al. 1981, Berchuck et al. 1990, Fink et al. 1994, Gerber et al. 1985, Lorentzon et al. 1989 zit. n. Wilcke 2004, S. 59).

Wie Zech (2007, S. 24) erwähnt, belegen einige Studien, dass muskuläre Defizite oft über Monate oder Jahre bestehen bleiben. Es kommt zur Abnahme der Maximalkraft und der willkürlichen Ansteuerung sowie zu Veränderungen des Reaktionsverhaltens. Ebenso nehmen die Muskelausdauer und die elektromyografische Aktivität ab.

3.2.1 Kraftverlust

In einer Studie von Petschnig et al. (1998) wurden drei Gruppen miteinander bezüglich des Beinsymmetrieindexes mit Hilfe isokinetischer Kraft- und funktionaler Sprungtests untersucht. Deutliche Seitendifferenzen konnten drei bis zehn Wochen nach Operation bei allen Tests festgestellt werden. Der Vertical Jump Test zeigte in einer Follow-up Untersuchung nach einem Jahr noch immer Seitendifferenzen zu Ungunsten des operierten Beins. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch Sprungtests funktionelle Defizite noch lange nach der Operation nachgewiesen werden können.

Eine Längsschnittuntersuchung von Hopper et al. (2008) überprüfte zu fünf verschiedenen Zeitpunkten nach der Operation die Vorteile von funktionellen Sprungtests. Es konnte eine anormale Beinsymmetrie bei insgesamt 84 % der Probanden zwölf Wochen postoperativ und bei 42 % 36 Wochen postoperativ nachgewiesen werden. Er bestätigte die Effektivität der Sprungtests nach VKB-Rekonstruktion.

Hole et al. 2000 (zit. n. Wilcke 2004, S. 59) stellten fest, dass im Seitenvergleich zwischen gesundem und verletztem Knie das konventionelle sowie dynamische Verhältnis zwischen der Kraft des M. quadriceps und jener der ischiocruralen Muskulatur sich nicht signifikant veränderte. Jedoch bestanden signifikante Defizite der konzentrischen und der isometrischen Kraft des M. quadriceps und der exzentrischen Kraft der ischiocruralen Muskulatur.

In einer weiteren Studie (Augustsson et. al. 2004) konnte mittels Maximalkraftbestimmung und Einbeinsprüngen festgestellt werden, dass die funktionelle Leistungsfähigkeit bei Personen elf Monate nach Rekonstruktion noch nicht vollständig wiederhergestellt war.

Eine isokinetische Drehmomentmessung bei 60 °/sec ergab in einer Studie von Ducke (2006, S. 173-183) allgemeine Kraftdefizite für die Knieextensoren. Mehr als die Hälfte der 23 Kreuzbandpatienten wiesen Defizite von über 10 % auf. Hingegen konnten keine signifikanten Defizite hinsichtlich der Drehmomente bei den Knieflexoren beobachtet werden. Weiters konnte festgestellt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen dem maximalen Drehmoment und funktionellen Tests wie Dreisprung oder Beintapping gibt. Das maximale Drehmoment korreliert vor allem mit der Sprungdistanz der einbeinigen Sprünge.

Diese Ergebnisse decken sich auch mit der Studie von Lautamies et al. (2008), in der ein signifikantes Defizit der Quadricepsmuskelkraft fünf Jahre nach Verletzung festgestellt wurde. Ein vermehrtes Defizit wurde bei jenen Personen gefunden, bei welchen ein Patellar-sehnenimplantat zur Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes verwendet wurde. Geringere Defizite wiesen Patienten mit Semitendinosusimplantat auf.

Moisala et al. (2006) bestätigten ebenfalls die o.a. Resultate. In dieser Studie wurden Patienten drei und sieben Jahre nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion mittels Isokinetischer Dynamometrie auf ihre Kraftfähigkeiten untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass auch nach sieben Jahren noch Kraftdefizite vorhanden sind, wobei sich die Funktion des M. quadriceps femoris schneller normalisiert, als jene der Hamstrings.

Neeter et al. (2006) entwickelten eine Testbatterie zur Beurteilung der Beinleistung nach vorderer Kreuzbandverletzung sowie Kreuzbandrekonstruktion. Durch Verwendung von drei verschiedenen Kraftmessmethoden konnte festgestellt werden, dass bei beiden Gruppen sechs Monate nach der Verletzung bzw. sechs Monaten nach der Rekonstruktion deutlich abweichende Kraftverhältnisse zwischen verletztem und gesunden Bein bzw. operiertem und nicht operiertem Bein vorhanden sind. Weiters konnte festgestellt werden, dass es nach einer vorderen Kreuzband-Rekonstruktion zu einem Kraftdefizit der Knieextensoren im Vergleich zum nicht betroffenen Bein kommt. Bei den Knieflexoren konnten keine signifikanten Kraftdefizite im Seitenvergleich festgestellt werden.

Ageberg et al. (2009) verglichen Patienten mit Patellarsehnenimplantat und Patienten mit Semitendinosusimplantat drei Jahre nach Rekonstruktion bezüglich der Muskelleistung. Das Verhältnis der Muskelleistung zwischen Hamstrings und Quadriceps war bei den Patienten

mit Semitendinosusimplantat niedriger als in der Gruppe mit Patellarsehnenimplantat, was vorrangig auf die in dieser Gruppe reduzierte Leistungsfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur zurückzuführen war. Die gleichzeitige Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Knieextensoren zeigte keinen Unterschied zwischen den getesteten Gruppen.

Eamonn et al. (2008) konnten bezüglich der Kraftproduktion sowie der reaktiven Kraftkapazitäten keine Unterschiede zum nicht verletzten Bein bzw. zu einer Kontrollgruppe nachweisen.

Zech (2007, S. 26) erwähnte in ihrer Dissertation, dass das operierte Bein im Vergleich zum nicht operierten Bein zu unterschiedlichen postoperativen Zeitpunkten bei der Kniestreckmuskulatur ein Maximalkraftdefizit aufweist. Es konnte zwar in mehreren Arbeiten eine schrittweise Normalisierung beobachtet werden, eine vollständige Angleichung der Maximalkraft ist jedoch auch nach mehreren Jahren noch nicht zu erwarten (Wojtys & Huston 2000, Urbach et al. 2001, Järvelä et al. 2002).

In Bezug auf die vorliegende Literatur kann angenommen werden, dass es nach einer VKB-Rekonstruktion zu einem Kraftverlust kommt. Das Kraftdefizit scheint je nach Operationsmethode und Messparameter unterschiedlich zu sein. Es geht aus den einzelnen Untersuchungen hervor, dass bei einer Patellarsehnenplastik der M. quadriceps femoris stärker abgeschwächt ist, als die Hamstrings wohingegen bei einem Ersatz mittels Semitendinosussehne die Hamstrings stärker betroffen sind. Jedoch scheint noch unklar, wie lange nach Rekonstruktion ein Kraftverlust besteht.

3.2.2 *Muskelatrophie*

Mittels Umfangsmessungen wurde festgestellt, dass es nach vorderer Kreuzbandruptur zu erheblichen Seitendifferenzen kommt. Zwanzig cm oberhalb des medialen Kniegelenksspalt sind die größten Seitendifferenzen messbar. Diese Ergebnisse wurden durch nachfolgende magnetresonanztomographische Untersuchungen bestätigt. Den größten Unterschied wies der M. vastus medialis auf (Moeller 1998, S. 152).

Nach einer Kreuzbandrekonstruktion kommt es auf der verletzten Seite gegenüber der gesunden Seite zur deutlichen Abnahme des Muskelquerschnittes. Gemäß Gerber (1985) und Lorentzon (1989) ist der M. quadriceps femoris von der Atrophie stärker betroffen als die ischiocrurale Muskulatur.

In einer nachfolgenden Untersuchung zeigte Ducke (2006, S. 167) mittels Ultraschalldiagnostik eine deutlich verringerte Muskeldicke des M. vastus medialis und des M. vastus

intermedius auf der operierten Seite. Für den M. rectus femoris und den M. vastus lateralis lagen kaum verminderte Muskeldicken vor.

Eine weitere Studie von Gerber et al. (2009) überprüfte nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion die Auswirkungen einer progressiven exzentrischen Trainingsform auf das Muskelvolumen. Durch diese Trainingsform kam es zu einer vermehrten Zunahme des Volumens des Quadricepsmuskels im Vergleich zur standardisierten Rehabilitation.

3.3 Willkürliche Aktivierbarkeit

Relativ hohe Aktivierungsdefizite der Kniestreckmuskulatur treten unmittelbar nach der Operation auf. Grund dafür könnten Ischämie, Gelenksergüsse oder eine Störung der Afferenzen durch lokale Anästhetika sein. Ob das Aktivierungsdefizit noch Jahre nach der Operation besteht, wurde bis dato nicht eindeutig geklärt. Einige Autoren (Urbach et al. 2001, Woitys & Huston 2000) sind der Meinung, dass längerfristige Aktivierungsdefizite auf ein bestehendes Kraftdefizit zurückzuführen sind. Ähnliche Ergebnisse wurden in einer Untersuchung von Drechsler et al. (2006) nachgewiesen. Festgestellt wurde eine verminderte Muskelaktivität, dies auf eine Quadricepsschwäche zurückzuführen ist und die Gelenkstabilität des Kniegelenks beeinflusst.

3.4 Neuromuskuläre Ansteuerung

Bislang konnte festgestellt werden, dass es nach vorderer Kreuzbandverletzung zu erheblichen koordinativen Defiziten kommt. Ursache dafür könnte eine verschlechterte Fähigkeit zur Eigenwahrnehmung durch die Beeinträchtigung der Gelenksrezeptoren und eine sich daraus ergebende veränderte neuromuskuläre Ansteuerung sein (Rebel 2004, S. 34).

Aufgrund der Verletzung und der Operation kann es zu einer partiellen Zerstörung der Gelenksrezeptoren im Kreuzband bzw. in den Menisken kommen. Dadurch kommt es zu einer veränderten Reizaufnahme durch die Rezeptoren sowie Verarbeitung im Zentralnervensystem, was zu einer Hemmung der Muskelaktivität führt. (Zech 2007, S. 31).

Bonfim et al. (2003) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass es sieben Monate nach VKB-Rekonstruktion zu einer verminderten Wahrnehmung der Gelenksstellung, zu einer verlängerten Latenzzeit der Hamstringsmuskeln und posturalen Stabilität kommt. Die Autoren geben an, dass dieses Defizit mit der veränderten Informationswahrnehmung der Rezeptoren zusammenhängt.

Weitere Arbeiten (Bruhn et al. zit. n. Wilcke 2004, S. 167; Henriksson et al. 2001) zeigten verlängerte Latenzzeiten an den Muskeln des operierten Beins. Diese werden mit einem funktionellen Defizit in Verbindung gebracht.

3.5 Knieinstabilität

Mattacola et al. (2002) überprüften die posturale Stabilität und Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten. 18 Monate nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion konnte bezüglich der posturalen Stabilität kein Unterschied zwischen den Personen mit vorderer Kreuzbandrekonstruktion im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Die Patienten sprangen bei Einbeinsprüngen auf Distanz signifikant kürzer mit dem operierten als mit dem gesunden Bein. Die Ausführung der Sprünge beim verletzten Bein war schlechter als in der Kontrollgruppe.

Gerber et al. (2009) stellte bei Patienten, welche ein exzentrisches Trainingsprogramm nach der Operation durchführten, eine signifikant bessere Sprungdistanz als bei Personen mit einem Standardrehabilitationsprogramm fest.

Eine Follow-up Studie (Keays et al. 2007), welche Patienten sechs Jahre nach VKB-Rekonstruktion untersuchte, zeigte bei einem Test zur Überprüfung der Kniestabilität eine deutliche Seitendifferenz zwischen operiertem und gesundem Bein.

Es konnte in einer Studie von Fremerey et al. (2000) drei und sechs Monate nach Rekonstruktion eine schlechtere Propriozeption nachgewiesen werden, was die funktionelle Leistungsfähigkeit beeinflusst.

Ähnliche Resultate wurden in einer Studie von Katayama et al. (2004) sechs Monate nach VKB-Rekonstruktion berichtet. Es bestand ein Zusammenhang zwischen Winkelproduktionstests und Sprungtests.

Moezy et al. (2007) und Brunetti et al. (2006) untersuchten die Auswirkungen eines Ganzkörpervibrationstrainings auf die Kniefunktion und Posturale Stabilität nach VKB-Rekonstruktion. Es konnte festgestellt werden, dass mittels eines Vibrationstrainings die propriozeptiven Fähigkeiten und die Balance der Patienten positiv beeinflusst werden.

Diese Studien belegen, dass nach einer Vorderen Kreuzbandrekonstruktion ein propriozeptives Defizit besteht. Dieses Defizit wirkt sich wiederum negativ auf die Kraftent-

wicklung der knieumgreifenden Muskulatur aus. Dadurch kommt es zu einer Instabilität des Kniegelenks.

4 Überblick über häufige Untersuchungsmethoden zur funktionellen Leistungsbeurteilung

Es gibt eine Vielfalt von Messmethoden, die zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion eingesetzt werden.

4.1 Winkelreproduktionstest (Messung spezifischer propriozeptiver Qualitäten des Stellungs- und Bewegungssinns)

Die Messung spezifischer propriozeptiver Fähigkeiten wie Stellungs- und Bewegungssinn stellt eine Quantifizierungsmethode dar. Tests zur Ermittlung des Stellungssinns werden als Winkelreproduktionstests, als relative Reproduktionstests oder als Modelltests durchgeführt. Es wird die Reproduktion einer aktiv und passiv vorgegebenen Winkelstellung eines Gelenks an einem Modell der getesteten Extremität oder einem Handgoniometer nachgestellt. Bei der relativen Reproduktion wird eine Imitation des Zielwinkels mit der kontralateralen Seite ausgeführt. Es können dabei unterschiedliche Testgeräte, welche die Winkelstellung quantifizieren, zum Einsatz kommen. Zum Einsatz kommen meist Goniometer, isokinetische Dynamometer, Bewegungsanalysesysteme und Videoaufzeichnungen.

Die propriozeptiven Fähigkeiten des Kniegelenks werden mittels unterschiedlicher Winkelreproduktionstests gemessen (vgl. Anders, 2008, S. 628-629; Mir et al. 2008; Katayama et al. 2004). Hierbei wird das Kniegelenk zunächst mit Hilfe eines Elektrogoniometers passiv in eine spezielle Winkelstellung gebracht. Daraufhin wird der Proband aufgefordert, dieselbe Winkelstellung aktiv nachzustellen. Die Differenz zwischen tatsächlichem und nachgestelltem Winkel bildet ein Maß für die propriozeptiven Fähigkeiten.

4.2 Stabilitätstest (Messung der posturalen Stabilität)

Die Quantifizierung der Gleichgewichtsfähigkeit erfolgt mittels Bodenreaktionskraftmessplatten (Posturomed, Biodex) bzw. gewöhnlichen Messplatten (MFT), welche mit einem Computer in Verbindung stehen. Als Bewertungsgrundlage dient der Center of Pressure (COP), der den Durchschnitt aller Drücke auf der Oberfläche des Fußes darstellt. Unter statischen Bedingungen repräsentiert er den Körperschwerpunkt auf der Bodenreaktionskraftmessplatte. Die Probanden werden aufgefordert, über einen definierten Zeitraum im Einbeinstand möglichst stabil zu stehen (statische Balance) oder den Körperschwerpunkt gezielt zu verlagern (dynamische Balance). Die Abweichungen des COP vom jeweiligen Zielpunkt bzw. der gesamte

zurückgelegte Weg des COP werden zur Ermittlung der Gleichgewichtsfähigkeit verwendet (vgl. Wilke, 2000, S. 41-48).

4.3 Gang- und Laufanalyse

Gang- und Laufanalysen werden in der Therapie zur Beurteilung motorischer Störungen, für Therapiekontrollen, Prothesen- und Gelenkersatzanpassungen sowie für Bewegungsstudien eingesetzt. Dadurch können Belastungen des Stütz- und Bewegungsapparates ermittelt werden. Es kann die Gangfunktion von Patienten nach einer VKB-Rekonstruktion im Sinne einer objektiven Qualitäts- und Erfolgskontrolle untersucht werden (Mittelmeier & Rosenbaum 2005).

Zum Einsatz kommen meist kinematische Messmethoden welche die Bewegung ausgewählter Körpermerkmale erfassen. Die Geräte bestehen meist aus einem Laufband, in welches piezoelektrische Kraftmessplattformen und Ladungsverstärker eingebaut sind. Dadurch können die Vertikalkomponente der Bodenreaktionskraft sowie deren Kraftangriffspunkt erfasst werden.

Die optische Bewegungsanalysemethode wird mit Hilfe einer Videokamera durchgeführt, welche die an dem/der Patienten/in angebrachten Reflektorstreifen erfasst. Dadurch ist es möglich einzelne Körpermerkmale automatisch zu verfolgen und auszuwerten. Mittels entsprechender Software können aus den aufgenommenen Daten Winkel und Winkelgeschwindigkeiten berechnet werden. Ein Ganganalyseprotokoll enthält die wichtigsten Parameter eines physiologischen Gangbildes und ermöglicht somit die automatische Auswertung des Gangbildes (vgl. Froböse et al. 2003, S. 279-295).

4.4 Dynamometrie

In der Therapie wird oft die isokinetische Muskelkraft zur Beurteilung des Therapieerfolgs bestimmt. Das Verhältnis der isokinetischen Stärke des Quadricepsmuskels zwischen dem verletzten und nicht verletzten Bein wird hierbei in Prozent ausgedrückt (Capri 2001, S. 196-197).

Unter Isokinetik versteht man eine gleichbleibende Bewegungsgeschwindigkeit während der Ausführung einer Bewegung. Isokinetische Geräte gewährleisten in jeder Bewegungsphase einen konstanten Widerstand und eine gleichbleibende Geschwindigkeit. d.h. der Widerstand ändert sich parallel zu der sich verändernden Spannungskapazität und den Hebelverhältnissen in jedem Punkt der Bewegung (Froböse et al. 2003, S. 81-82).

Die isokinetische Testung kommt in der Therapie häufig zur Erfassung funktioneller Störungen der Gelenkmechanik und muskulärer Defizite vor. Dadurch können Therapie- und Trainingsbelastungen beurteilt, gesteuert und dokumentiert werden. Es erfolgen meist Primärtests (rechts/links) sowie Vergleichs- oder Verlaufstests (Test/Retest) oder Tests zur Längsschnittbeurteilung. Für die Reproduzierbarkeit sollten die Testungen der verschiedenen Gelenke bei einer vordefinierten Geschwindigkeit und unter annähernd identischen Testbedingungen erfolgen. Bei der visuellen Beurteilung der Drehmomentkurven wird auf ein gleichförmiges Kurvenbild geachtet. Ein harmonischer Kurvenverlauf oder Dellen, Einbrüche und Zackenbildungen werden in Art und Lokalisation beschrieben. Ein Abfall der Drehmomentmaxima entspricht einer physiologischen Ermüdung. Zur Überprüfung der isokinetischen Muskelkraft werden spezielle Dynamometer verwendet (Froböse et al. 2003, S. 91-93). Die isokinetische Testung erfolgt meist in sitzender Position, wobei jedoch die gewählten Winkelgeschwindigkeiten von Studie zu Studie unterschiedlich sind. Bei der Beurteilung der Oberschenkelmuskulatur nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion wird meist das Beuger-Strecker-Verhältnis sowie das Drehmomentmaximum beurteilt (Lautamies et al. 2008; Petschnig et al. 1998; Wilk et al. 1994).

4.5 Hop-Test

Sprungtests liefern Informationen über allgemeine motorische Fähigkeiten wie Kraft, Koordination und Schnelligkeit. Diese finden in der Sportmedizin und Therapie und im Training zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit Verwendung.

Nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion werden meist im fortgeschrittenen Rehabilitationsverlauf verschiedene Hop-Tests wie „Single Hop“ oder „Triple Hop“ auf Distanz, „6-m Timed Hop“, „Drop Jump“ und „Vertical Jump“ zur Beurteilung des Therapieerfolgs und der Leistungsfähigkeit eingesetzt.

Beim Single Hop auf Distanz haben die Probanden/Innen die Aufgabe, mit einem Bein von einer markierten Linie soweit wie möglich zu springen und am selben Bein wieder zu landen. Es werden die Distanzen der Sprünge beider Beine gemessen und anschließend miteinander verglichen. Die Armposition ist von Studie zu Studie unterschiedlich (Barber et al. Zit. n. Katayama et al. 2004, S. 279; Noyes et al. zit. n. Reid et al. 2007; Petschnig et al. 1998).

Der Triple Hop auf Distanz ist dem Single Hop sehr ähnlich, jedoch werden 3 Sprünge hintereinander absolviert. Die Gesamtdistanz der drei Sprünge wird gemessen.

Beim Vertical Jump Test wird mittels eines Sprungergometers die Kontakt- und Flugzeit während des Rücksprungs mit einer speziellen Kontaktmatte, welche mit einem Computer verbunden ist, berechnet. Für den Vertical Jump Test werden in der Literatur unterschiedliche Durchführungsarten (Petschnig et al. 1998, Impellizzeri et al. 2007) angegeben. In Bezug auf den Vertical Jump lassen sich unterschiedliche Messparameter wie Dauer der Kontaktzeiten, Höhe der Sprünge sowie Kraftaufwand beim Absprung ableiten.

4.6 Ermittlung der Muskelleistung

Zur Bestimmung der Kraftfähigkeiten werden Muskelleistungstests durchgeführt und die Ergebnisse zur Beurteilung des Therapieerfolgs bzw. zur Trainingssteuerung herangezogen. Als Testsystem werden dafür geeignete Geräte verwendet, sowohl eine Steigerung des Gewichts als auch eine Erfassung der Geschwindigkeit zulassen.

Durch das Bestimmen der Muskelleistung können nicht nur einzelne Muskeln erfasst werden, sondern auch die Kraftfähigkeit einer gesamten Muskelgruppe erfasst werden (Neeter et al. 2006, Ageberg et al. 2009). Die Anfangslast wird je nach Niveau der zu testenden Person festgelegt. Die Steigerung des Gewichts erfolgt nach jedem Durchgang um fünf oder zehn Kilo. Der Impuls ist ansteigend mit dem Gewicht bis zu einem gewissen Punkt, welcher „Muskelleistungsschwelle“ (MLS) genannt wird. Ab diesem Umschlagpunkt (MLS) kommt es zur Abnahme der Muskelleistung.

5 Fragestellungen

In der vorliegenden Arbeit werden die längerfristigen Auswirkungen einer Kreuzbandrekonstruktion auf die Kniestabilität sowie die Muskelkraft und Muskelleistung untersucht.

Im Besonderen sollen die folgenden Fragestellungen bearbeitet werden:

Welche Veränderungen der muskulären Leistungsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit und dynamische Stabilisationsfähigkeit der Beinmuskulatur weisen Patienten/innen nach Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes auf?

Gibt es einen Unterschied bezüglich der Funktion zwischen dem verletzten und nicht verletzten Bein sowie gegenüber der Kontrollgruppe?

Besteht ein Zusammenhang zwischen den bei den einzelnen Tests erzielten Ergebnissen?

6 Studiendesign

6.1 Teilnehmer/Innen

An dieser Studie nahmen insgesamt 46 Personen teil, wobei sich das Probandengut in eine Vordere Kreuzbandgruppe (VK-Gruppe) und eine Kontrollgruppe unterteilt. In der Zeit von September 2008 bis Februar 2009 wurden 30 Patienten mit vorderer Kreuzbandplastik untersucht. Ein Proband schied aufgrund von Schmerzen im operierten Bein vorzeitig aus der Untersuchung aus. In der Ergebnisauswertung wurden somit 29 Kreuzbandpatienten berücksichtigt. Um eventuell vorhandene Veränderungen an den untersuchten neuromuskulären Fähigkeiten bei den kreuzbandoperierten Patienten beurteilen zu können, wurden Vergleichswerte von 16 gesunden Probanden (Kontrollgruppe) erhoben.

6.1.1 Patientengruppe (VK-Gruppe)

An der Untersuchung nahmen 29 männliche, sportlich aktive Patienten mit operativ versorgter Ruptur des vorderen Kreuzbandes teil. Der Untersuchungstermin wurde mit den Patienten telefonisch vereinbart und dauerte pro Patient ca. 1,5 Stunden.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung durften weder am operierten noch am nicht operierten Bein akute Schmerzen bzw. Schwellungen vorliegen. Patienten mit beidseitiger Knieverletzung wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Es wurde bei der Rekrutierung nicht nach unterschiedlichen Operationsmethoden selektiert. Patienten, bei denen der Operationszeitpunkt schon länger als vier Jahre zurücklag, wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Alle Patienten hatten eine unilaterale vordere Kreuzbandplastik. Der kürzeste Untersuchungszeitpunkt lag für die Patientengruppe ein Jahr und der Längste drei Jahre nach der Vorderen Kreuzbandrekonstruktion zurück. Patienten bei denen die Operation erst 11 Monate zurücklag, wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen.

6.1.2 Kontrollgruppe

Um eventuell bestehende Veränderungen der neuromuskulären Fähigkeiten bei den kreuzbandoperierten Patienten beurteilen zu können, wurden Vergleichswerte einer nicht verletzten Kontrollgruppe ermittelt. Es wurden 16 gesunde, männliche Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von 27,44 ($\pm 2,607$) untersucht, um bilaterale verletzungsbedingte Funktionsdefizite sowie Differenzen zu einer verletzungsfreien Vergleichspopulation aufdecken zu können. Alle Probanden der Kontrollgruppe waren sportlich aktiv und entsprachen in ihrem

Niveau in etwa dem der Patientengruppe vor der Verletzung. Personen mit Vorerkrankungen und Verletzungen der unteren Extremität wurden von der Untersuchung ausgeschlossen.

6.1.3 Durchführung

Vor Beginn der Messung wurde jeder Proband ausführlich über Ziele, Dauer, Ablauf, Bedeutung, Tragweite, persönlichen Nutzen sowie Risiken der Studienteilnahme mündlich aufgeklärt. Alle Messdaten der Patienten sowie der gesunden Probanden wurden durch dieselbe Prüferin erhoben. Am Untersuchungstag erfolgte die Erfassung anamnestischer Daten der Patienten bzw. der gesunden Probanden.

Über einen Fragebogen wurden von den Patienten zusätzliche Daten wie Angaben zur Operation und nachfolgenden Rehabilitation, sowie zur subjektiven Kniezufriedenheit aufgenommen.

Die Probanden der Kontrollgruppe wurden ebenfalls mittels Fragebogen nach Vorerkrankungen und Verletzungen der unteren Extremität befragt.

Anschließend erfolgte eine kurze Beschreibung des Testablaufes sowie der Regeln während der Testdurchführung. Die Untersucherin machte die Patienten bzw. Probanden am Beginn der Testdurchführung darauf aufmerksam, dass es bei Auftreten von Schmerzen oder sonstigen Beschwerden sofort zu einem Testabbruch kommt.

Für die Aufwärmphase wurde ein zehnminütiger Lauf auf der Winterlaufbahn bei moderater Geschwindigkeit (6-8 km/h) gewählt.

Um ein standardisiertes Testprotokoll gewährleisten zu können, erfolgte die Durchführung, der im weiteren Teil der Arbeit beschriebenen Testmethoden, bei jeder Person immer nach einer bestimmten Reihenfolge. Dadurch konnten eventuelle Ermüdungserscheinungen nach den einzelnen Tests berücksichtigt werden.

Der Vertical Jump Test wurde zu Beginn der Testung durchgeführt. Nach einer kurzen Erholungspause erfolgte die Messung der Gleichgewichtsfähigkeit am Posturomed. Im Anschluss daran erfolgte die Messung der Muskelleistung an der Beinpresse, da besonders dieser Test eine muskuläre Ermüdung bei den einzelnen Personen hervorruft.

6.2 Überprüfung der maximalen Muskelleistung

Die Überprüfung der Muskelleistungsschwelle erfolgte an einer Beinpresse durch einbeinige Kraftstöße mit maximaler Geschwindigkeit.

Das System besteht aus zwei funktionalen Komponenten, einem Sensorelement und dem dazugehörigen A/D-Wandler. Der Geschwindigkeitsaufnehmer (Fitrodyne, Fitronic, Slowakei) ist durch eine drehbare Nylonschnur mit dem Gewicht verbunden. Bewegungen werden auf das Band übertragen, mittels 12 bit A/D-Wandler digitalisiert und schließlich unter Verwendung einer speziellen Software (Fitrobase, Fitronic, Slowakei) ausgewertet. Der Computer errechnet aus der jeweils eingestellten Last und der erfassten Geschwindigkeit die resultierende Leistung und gibt sie online aus.

Die Patienten sowie Probanden erhielten eine mündliche Testbeschreibung über die Ermittlung der Muskelleistungsschwelle mit der Beinpresse. Um eine höhere Reliabilität der Messwerte zu erhalten, wurde eine standardisierte Sitzposition gewählt.

Folgende Ausgangsposition hatten die Patienten sowie Probanden an der Beinpresse einzunehmen: Der Oberkörper befindet sich in Kontakt mit der Rückenlehne, das nicht getestete Bein wird seitlich abgelegt und das zu testende Bein ist im Knie im 90 °-Winkel gebeugt. Die Arme befanden sich seitlich an einem dafür vorgesehenen Griff.

Die Probanden trugen während der Messung Sportschuhe. Die Anfangsbelastung wurde je nach Körpergewicht sowie körperlichem Niveau festgelegt. Es wurden drei Wiederholungen mit jedem Bein pro Last durchgeführt. Zwischen den einzelnen Wiederholungen war eine Pause von ca. 30 Sekunden einzuhalten. Die Serienpause betrug drei bis vier Minuten. Die Last wurde bei den Probanden sowie bei den Patienten zuerst dreimal mit dem rechten Bein und dann dreimal mit dem linken Bein bewegt. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die eingestellte Last mit größtmöglicher Geschwindigkeit wegzudrücken. Für die Endposition sollte das Bein völlig durchgestreckt werden. Zwischen den Kraftwiederholungen wurde eine Pause von drei Sekunden eingehalten, sodass es den Patienten bzw. Probanden nicht möglich war, das Gewicht mit Rückschwung wieder wegzustoßen. Die Last wurde pro Serie um zehn Kilogramm erhöht. Der Test wurde abgebrochen, wenn die Muskelleistung abnahm. Es wurde die höchste Muskelleistung aus den drei Wiederholungen pro Last erfasst und in die Datenauswertung aufgenommen. Aus den Mittelwerten der einzelnen Leistungssummen wurde die maximale Muskelleistung ermittelt.



Abbildung 3: Beinpresse (Wien, Kraftlabor)

Der Beinsymmetrieindex wurde bei allen Tests berechnet, um Unterschiede zwischen dem verletzten und nicht verletzten Bein der Vorderen Kreuzbandgruppe sowie dem dominanten und nicht dominanten in der Kontrollgruppe zu evaluieren. Der Beinsymmetrieindex wurde bestimmt, um das Verhältnis der Werte des verletzten und nicht verletzten Beines in Prozent auszudrücken. In Anlehnung an Neeter (2006, S. 575) wurde der Beinsymmetrieindex wie folgt berechnet: $BSI = (P_{\text{max verletztes}} / P_{\text{max nicht verletztes Bein}}) * 100$.

Um mögliche Unterschiede zwischen der VK-Gruppe und der Kontrollgruppe zu evaluieren, wurde die Methode nach Eamonn (2008, S. 253) angewendet. Es wurde das operierte Bein der VK-Gruppe mit dem nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe und das nicht operierte Bein der VK-Gruppe mit dem dominanten Bein der Kontrollgruppe verglichen.

Die Bewertung des Beinsymmetrieindex für die Muskelleistung erfolgte nach Neeter et al. (2006), in deren Untersuchung die Muskelleistung ebenfalls in einer Beinpress-Krafttrainingsmaschine (Precor, Competition Line) mittels Geschwindigkeitsaufnehmer ermittelt wurde und die somit methodisch die größte Ähnlichkeit mit dem in dieser Arbeit gewählten Protokoll aufweist.

Tabelle 1: Beinsymmetrieindex-Score für die Muskelleistung

Beinsymmetrieindexscore	
< 90 %	abnormal
≥ 90 %	normal

6.3 Überprüfung der Gleichgewichtsfähigkeit

Zur Überprüfung der Gleichgewichtsfähigkeit wurde das Posturomed (Haider Bioswing, Pullenreuth, Deutschland) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Therapie- und Trainingsgerät zur Verbesserung der propriozeptiven Fähigkeiten. Das Posturomed wird hauptsächlich in Rehabilitationseinrichtungen eingesetzt. Die Standplatte ist an ihren vier Ecken an Stahlseilen aufgehängt und kann 5 cm über der Bodenfläche pendeln. Alle Stahlseile besitzen zur Dämpfung der Plattenbewegung eine Kunststoffummantelung. Die Schwingungseigenschaften der Platte können in drei Stufen reguliert werden. Es werden dadurch vier, sechs oder acht Stahlseile aktiviert. Die Plattengröße hat eine Fläche von 60 cm x 60 cm und eine Masse von zwölf Kilogramm. Sie ist an der Unterseite mit einem nicht berührbaren induktiven Wegaufnahmesystem (Digimax, mechatronic, Hamm) kombiniert (Boer 2006, S. 23-24). Das Digimax erfasst die Plattenbeschleunigung in horizontaler Ebene. Der Sensor gibt die erfassten Werte an einen A/D-Wandler weiter, der die Daten dann an den vernetzten Computer weitersendet. Diese werden mit dem Messsystem Microswing 5.0 (Version 2.5) weiterverarbeitet.



Abbildung 4: Posturomed (Wien, Kraftlabor)

Als Messmodus wurde das Testprogramm „Posturomed XY“ gewählt, welches die Balancefähigkeit auf der schwingenden Platte in beiden Richtungen erfasst und ein Zoomfaktor von

vier verwendet. Die Messfrequenz wurde mit 50 Hz festgelegt. Die Gesamtdauer der Messung betrug 20 Sekunden.

Die Untersuchung wurde ohne Schuhe, mit Socken oder barfuß durchgeführt. Danach wurde den Patienten sowie gesunden Probanden die Standposition im Einbeinstand erklärt und gezeigt. Um eine höhere Reliabilität der Messwerte zu erhalten, wurde eine standardisierte Standposition gewählt. Folgende Körperposition wurde gewählt und zur Messung von allen Patienten und Probanden eingenommen: Arme im Hüftstütz, freies Bein leicht gebeugt und ohne Kontakt zum Standbein bzw. zur Messplatte, der Blick nach vorn und an die gegenüberliegende Wand gerichtet. Alle Probanden hatten das zu testende Bein in der Mitte der Messplatte zu platzieren. Stützte ein Proband sein Spielbein oder sich mit den Händen ab, so wurde die Messung unterbrochen und wiederholt.

Vor jeder Übung konnten die Probanden in einem Probeversuch, der nicht aufgezeichnet wurde, den Versuchsablauf kennenlernen. Daraufhin wurden zwei Durchgänge mit jedem Bein durchgeführt. Zwischen dem ersten und zweiten Durchgang erfolgte eine zweiminütige Pause. Der beste Versuch wurde für die Analyse verwendet. Hierbei wurden Amplitude, Frequenz und Koordinationsfaktor berücksichtigt. Niedrigere Werte repräsentieren eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit.

6.4 Überprüfung der Sprungkraft

Zur Überprüfung der Sprungkraft wurde ein Sprungergometer (Fitronic, Bratislava) verwendet. Das System misst Kontakt- und Flugzeit während einer Serie reaktiver Sprünge mittels einer speziellen Kontaktmatte, welche mit einem Computer verbunden ist. Mittels seiner speziellen Software (Agility, Österreich) werden aus diesen Daten die Sprunghöhe, die Durchschnittsgeschwindigkeit während der aktiven Phase des Absprungs, die mittlere Leistung in der aktiven Phase des Absprungs, die Geschwindigkeit in der Endphase und die mittlere Leistung während des gesamten Sprungablaufs ermittelt. Alle Probanden absolvierten zwei Serien von Sprüngen mit einer Dauer von je zehn Sekunden und einer dazwischen liegenden Pause von zwei Minuten. Die Probanden wurden angewiesen, die Hände an den Hüften abzustützen und in dieser Position so hoch wie möglich zu springen und dabei die Bodenkontaktzeit so kurz wie möglich zu halten. Nach Ende jeder Sprungserie wurde der Mittelwert der drei besten Sprünge kalkuliert. Für die Datenanalyse wurde der bessere Versuch der beiden Serien ausgewählt. Hierbei wurden die Kontaktzeit, Sprunghöhe und der Schnellkraftindex (SKI %) berücksichtigt. Der Schnellkraftindex ergibt sich aus der Sprunghöhe dividiert durch die Kontaktzeit.

In Anlehnung an Wilk (1994, S. 61-63) erfolgte die Bewertung des Beinsymmetrieindex für den Sprungtest.

Tabelle 2: Beinsymmetrieindex-Score für den Vertical Jump

Beinsymmetrieindex in %	
< 85 %	anormale Funktion
≥ 85 %	normale Funktion

6.5 Statistische Methoden der Auswertung

Zur deskriptiven Darstellung der Untersuchungsergebnisse wurden Mittelwerte, Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwerte berechnet.

Zur Überprüfung der Daten auf Normalverteilung wurde der KS-Test eingesetzt. Bei Erfüllung der Anwendungsvoraussetzungen (normalverteilte, intervallskalierte Daten) wurden Gruppenunterschiede mit dem t-Test für unabhängige Stichproben auf Signifikanz überprüft. Bei Verletzung der Anwendungsvoraussetzungen wurde der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Zur Überprüfung auf Zusammenhänge zwischen zwei Testergebnissen auf Stärke und statistische Signifikanz wurde der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Zu deren inhaltlicher Interpretation wurden die entsprechenden Determinationskoeffizienten (r^2) herangezogen.

Alle statistischen Analysen erfolgten unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS in der Version 16 (SPSS, Inc., Chicago, IL).

Zur Erstellung von Grafiken und Tabellen wurde das Programm MS Excel 2007 verwendet.

7 Ergebnisse – Fragebogen

7.1 Anthropometrische Angaben zur Kontrollgruppe

Es wurden 16 gesunde Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von 27,44 ($\pm 2,607$) untersucht. Die mittlere Körpergröße betrug 1,79 m ($\pm 0,059$) und das mittlere Körpergewicht 76,56 ($\pm 7,384$).

7.2 Anthropometrische Angaben zur VK-Gruppe

Das durchschnittliche Alter lag in der VK-Gruppe bei 31,45 Jahre ($\pm 8,745$), der älteste Proband war 51, der jüngste 19 Jahre alt. Die mittlere Körpergröße betrug 1,79 m ($\pm 0,05$) und das mittlere Körpergewicht 79,80 ($\pm 9,066$).

Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich Alter, Gewicht und Größe.

Tabelle 3: Allgemeine Angaben zur VK-Gruppe und Kontrollgruppe

	VK-Gruppe (n = 29)			Kontrollgruppe (n = 16)			p-value
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	
Alter (in Jahren)	31,45	8,745	19-51	27,44	2,607	22 - 32	0,082
Größe (in cm)	1,795	0,050	1,70–1,89	1,799	0,592	1,70-1,90	0,815
Gewicht (in kg)	79,803	9,066	60-95	76,56	7,384	60-85	0,228

Anmerkung: SD = Standardabweichung

7.3 Anamnestische Daten zur VK-Gruppe

7.3.1 Unfallursache

Der Großteil der Patienten in der vorliegenden Untersuchung hatte sich bei sportlichen Aktivitäten die Ruptur des vorderen Kreuzbandes zugezogen.

7.3.2 Operationszeitpunkt, Operationsmethode und Nachbehandlung

Von den 30 Probanden der VK-Gruppe wurden acht 2005, 14 2006, sieben 2007 und einer 2008 operiert. Die Operation lag somit zum Zeitpunkt der Untersuchung $2 \pm 0,74$ Jahre zurück.

Die operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes wurde bei den Patienten in verschiedenen Kliniken und mit unterschiedlichen Operationsverfahren durchgeführt. Da die Betrachtung möglicher Unterschiede zwischen den Gruppen mit verschiedener OP-Technik nicht Ziel der Arbeit war, wurde keine Randomisierung vorgenommen. Insofern ergab sich in der Gruppenzusammengehörigkeit ein zufälliges Ungleichgewicht zwischen den Gruppen. Der größte Teil der Patientengruppe erhielt eine Ersatzplastik mit der Semitendinosus- und Gracilissehne (13 Patienten). Neun Patienten erhielten eine Patellarsehne, 7 Patienten eine Semitendinosussehne und ein Patient erhielt ein LARS-Band (künstliches Kreuzband) als Bandersatz.

Von diesen 30 Patienten unterzogen sich 27 Patienten nach der vorderen Kreuzbandrekonstruktion einer ambulanten Rehabilitation. Die durchschnittliche Gesamtdauer der Rehabilitation betrug sechs Monate. Drei Patienten unterzogen sich keiner Art von Rehabilitation nach der Kreuzbandrekonstruktion.

7.3.3 Dominantes Bein und verletzte Seite

In Abbildung Nr. 6 soll eine Übersicht über die Verteilung der Verletzungen auf das dominante und das Spielbein gegeben werden. Das rechte Bein war bei 24 Probanden in der VK-Gruppe dominant, bei fünf Probanden war es das linke Bein. In der Kontrollgruppe war zwölfmal das rechte und viermal das linke Bein dominant.

In der VK-Gruppe wurde eine Vordere Kreuzbandrekonstruktion 17mal am rechten und zwölfmal am linken Bein durchgeführt. Von den 29 Patienten der VK-Gruppe wurden 21 an ihrem dominanten und acht an ihrem nicht dominanten Bein operiert.

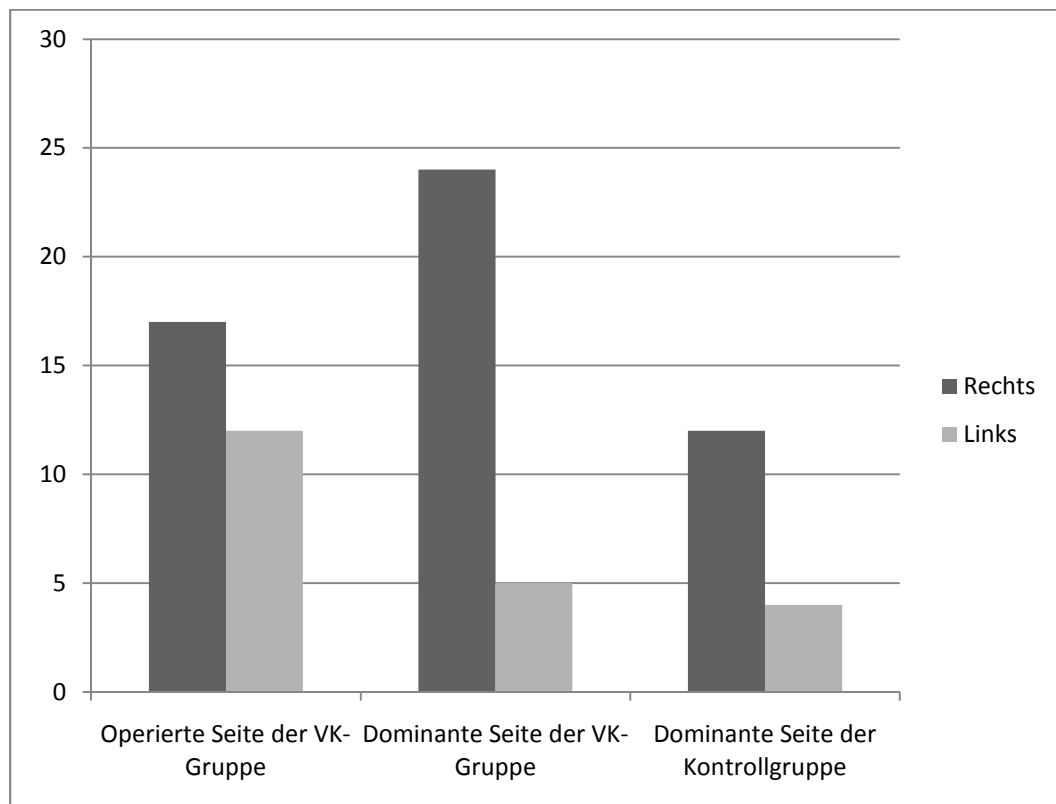


Abbildung 5: Dominantes Bein und verletzte Seite der VK-Gruppe und dominantes Bein der Kontrollgruppe

7.3.4 Unfallart und verletzte Strukturen

27 Patienten gaben als Verletzungsursache einen Sportunfall an und nur zwei Patienten verletzten sich außerhalb des Sports. Die Unfälle passierten vor allem beim Fußball (n=16), Skifahren (n=2), Judo (n=1) und Motocross (n=2) sowie bei Landungen von Sprüngen (n=6).

7.3.5 Therapie nach vorderer Kreuzbandoperation

26 Patienten unterzogen sich nach der Verletzung einer Physiotherapie, wohingegen drei Patienten keine vom Arzt verordnete Therapie absolvierten.

Die nachfolgende Tabelle gibt Übersicht über die Verteilung der Patienten auf die Therapiedauer.

Tabelle 4: Therapiedauer

Patientenverteilung	
Keine Therapie	10,3 % (n=3)
< 1 Monat	6,9 % (n=2)
1-2 Monate	20,7 % (n=6)
3-4 Monate	41,4 % (n=12)
> 5 Monate	20,7 % (n=6)

7.3.6 Operationsdatum und Operationsmethode

Alle Probanden unterzogen sich ihrer Kreuzbandoperation 2005 bis 2008. Abbildung Nr. 6 zeigt die Streuung der Probanden bezüglich des Operationsdatums.

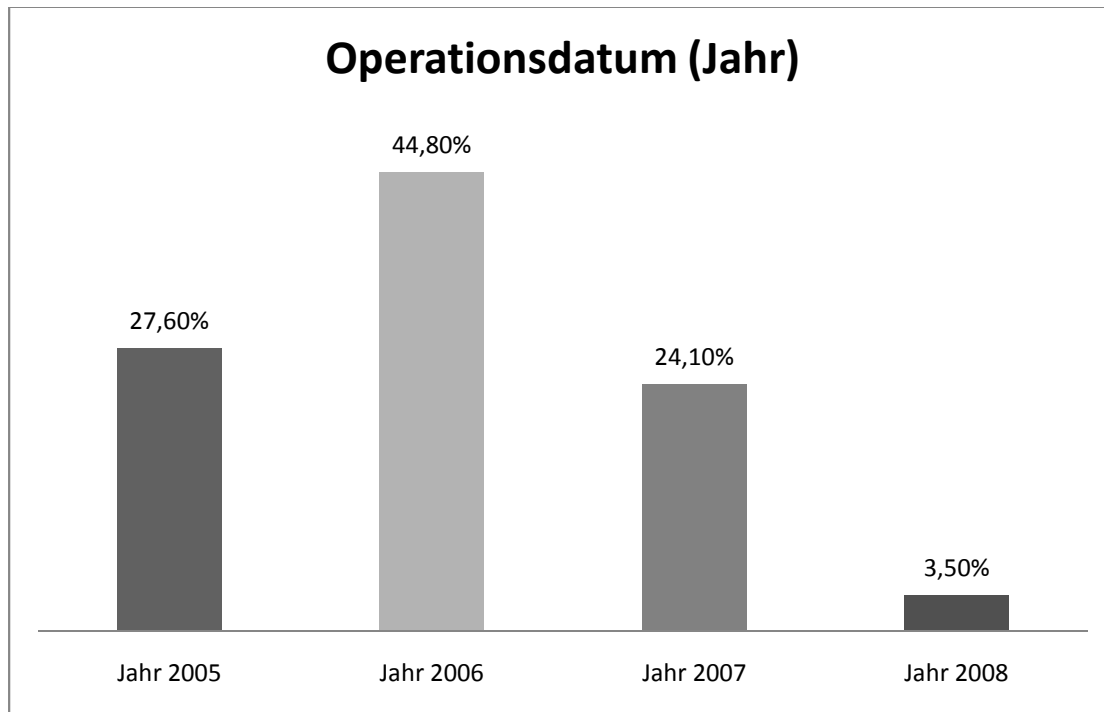


Abbildung 6: Streuung der VK-Gruppe bezüglich des Operationsdatums

In Abbildung Nr. 7 wird eine Übersicht über die Art der Operationsmethode zur Wiederherstellung des gerissenen Kreuzbandes gegeben.

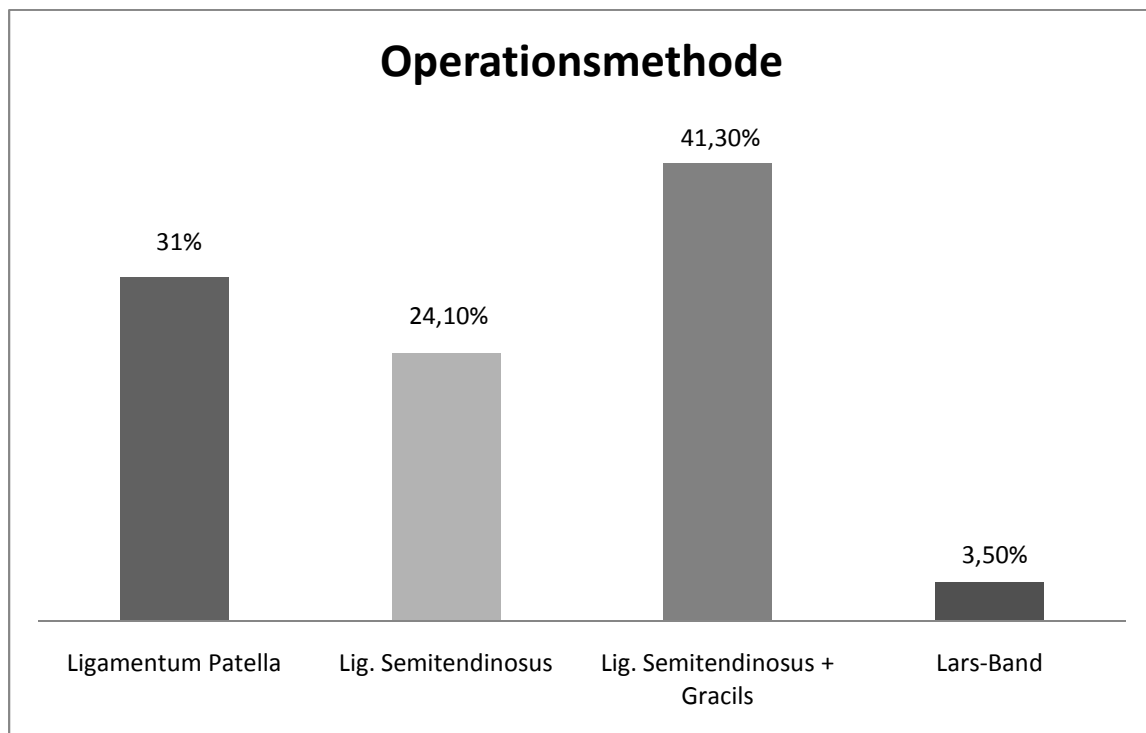


Abbildung 7: Aufteilung der VK-Gruppe nach Operationsmethode

Alle Patienten wählten eine operative Versorgung des vorderen Kreuzbandes. Davon erhielten neun Patienten eine Patellarplastik, sieben eine Semitendinosusplastik und zwölf eine kombinierte Methode von einer Semitendinosussehne und einer Gracilissehne. Nur ein Patient erhielt einen künstlichen Plastikersatz (Lars-Band).

7.3.7 Sportliche Aktivität prä- und postoperativ

Von den insgesamt 29 Patienten konnten 26 Personen ihre sportliche Aktivität wie gewohnt wieder aufnehmen. Drei Personen war es nicht möglich ihre sportliche Tätigkeit wieder aufzunehmen. 14 Personen war es möglich ihre sportliche Aktivität mit gleicher Intensität wie vor der Verletzung durchzuführen, während 15 Personen gezwungen waren, die Trainingsintensität zu verringern. Acht Probanden mussten zu einer anderen Sportart wechseln bzw. zusätzliches Krafttraining neben den bisher gewohnten sportlichen Aktivitäten durchführen. Als Grund für den Sportartenwechsel gaben die Patienten Schmerzen und Angst vor Wiederverletzung an. Die restlichen 21 Personen wechselten nicht zu einer anderen Sportart.

Die sportliche Aktivität konnte im Durchschnitt sechs Monate nach der Operation wieder aufgenommen werden.

7.3.8 Nutzung von kniegelenksstabilisierenden Hilfsmitteln

Der Großteil der Patienten (n=18) verwendete keine zusätzlichen kniestabilisierenden Hilfsmittel. Nur zwei Personen verwendeten beim Sport zusätzliche kniestützende Hilfsmittel und zehn Personen gaben an, gelegentlich Hilfsmittel zu benutzen. Als Grund für die Verwendung zusätzlicher Kniebandagen wurde die allgemeine Sicherheit bei sportlichen Aktivitäten bzw. Angst vor Wiederverletzung angegeben.

8 Ergebnisse - Untersuchungen

8.1 Maximale Muskelleistung

8.1.1 Überprüfung auf Symmetrie zwischen rechtem und linkem Bein

In der folgenden Tabelle wird die an der Beinpresse ermittelte maximale Muskelleistung ($P_{\max}$) für beide Gruppen dargestellt. Die beobachteten Unterschiede bezüglich der $P_{\max}$ zwischen dem operierten und nicht operierten Bein in der Kreuzbandgruppe bzw. dem dominanten und nicht dominanten Bein in der Kontrollgruppe erwiesen sich als nicht signifikant. Bezüglich des Gewichts bei dem die maximale Muskelleistung erreicht wurde, konnte in der VK-Gruppe ebenfalls kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Aus der Tabelle Nr. 9 gehen die Ergebnisse beider Gruppen im Seitenvergleich zwischen rechtem und linkem Bein hervor.

Tabelle 5: Seitenvergleich der Ergebnisse aus den an der Beinpresse durchgeführten Tests der $P_{\max}$

Vordere Kreuzbandgruppe							
	Operiertes Bein			Nicht operiertes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
m $P_{\max}$ (kg)	77,59	19,394	50-130	80,00	17,113	50-130	0,617
$P_{\max}$ (W)	297,24	81,227	171-475	310,52	69,584	195-456	0,507
Kontrollgruppe							
	Nicht dominantes Bein			Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
m $P_{\max}$ (kg)	101,25	22,174	60-150	98,13	26,133	60-160	0,718
$P_{\max}$ (W)	385,12	91,259	211-594	379,44	84,853	236-578	0,856

SD.....Standardabweichung

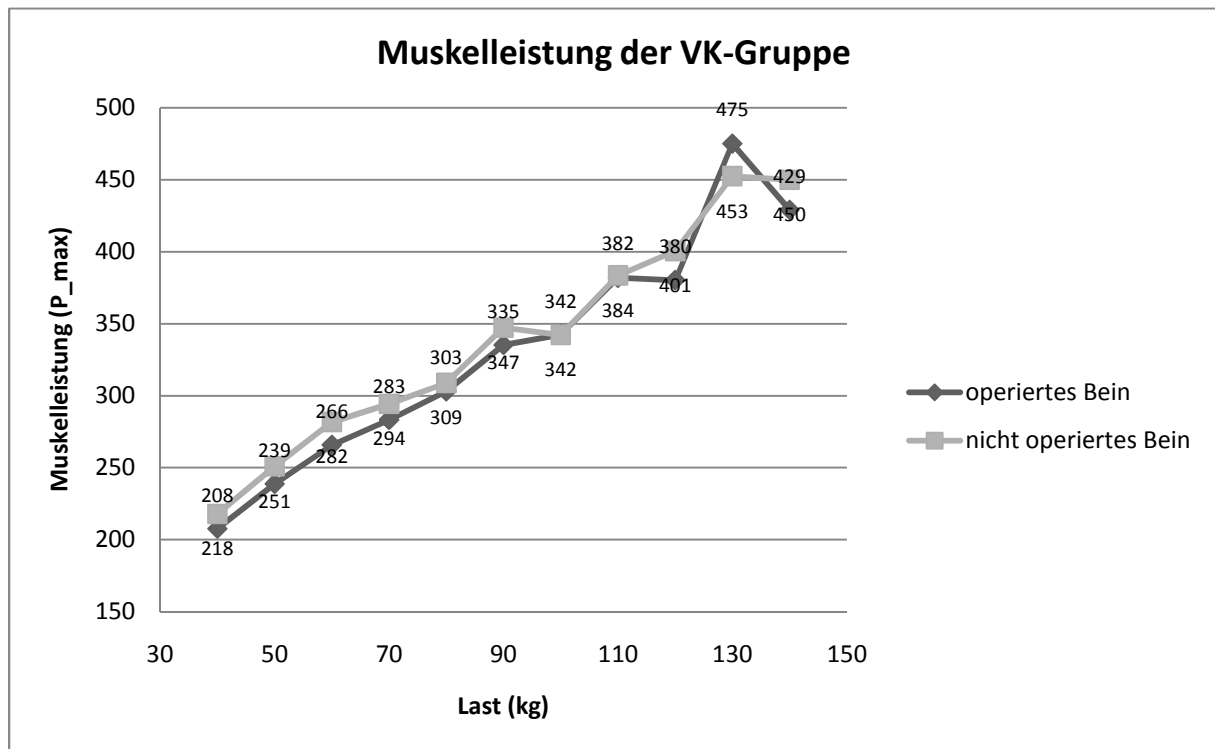


Abbildung 8: Vergleich der Muskelleistungswerte des operierten und nicht operierten Beins in der VK-Gruppe

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen unter steigender Last symmetrische Entwicklung der Muskelleistung in der VK-Gruppe bzw. der Kontrollgruppe.

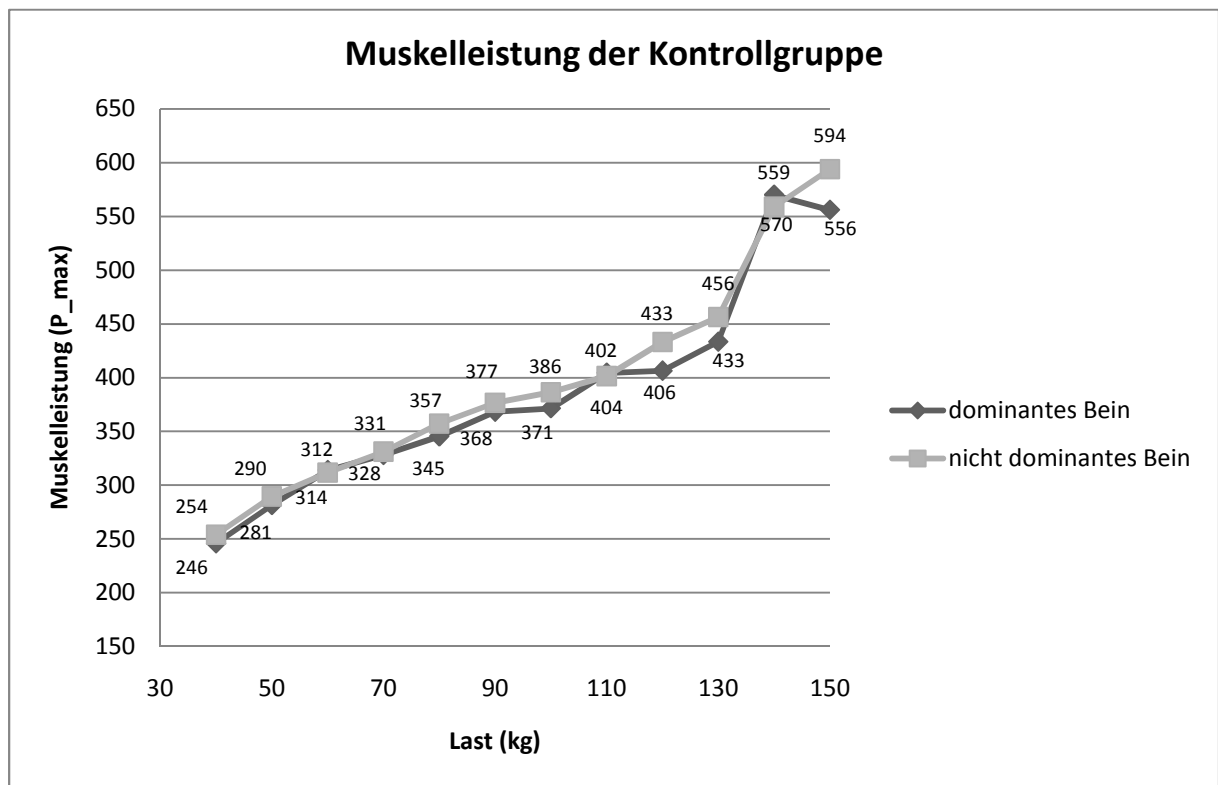


Abbildung 9: Vergleich der Muskelleistungswerte des dominanten und nicht dominanten Beines in der Kontrollgruppe

8.1.2 Gruppenvergleich hinsichtlich der maximalen Muskelleistung

Es konnte sowohl im Vergleich zwischen dem operierten Bein der VK-Gruppe und dem nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe sowie dem nicht operierten Bein der VK-Gruppe und dem dominanten Bein der Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Probanden der Kontrollgruppe erreichten zudem die P_max mit beiden Beinen bei signifikant höherer Last als die Teilnehmer in der VK-Gruppe.

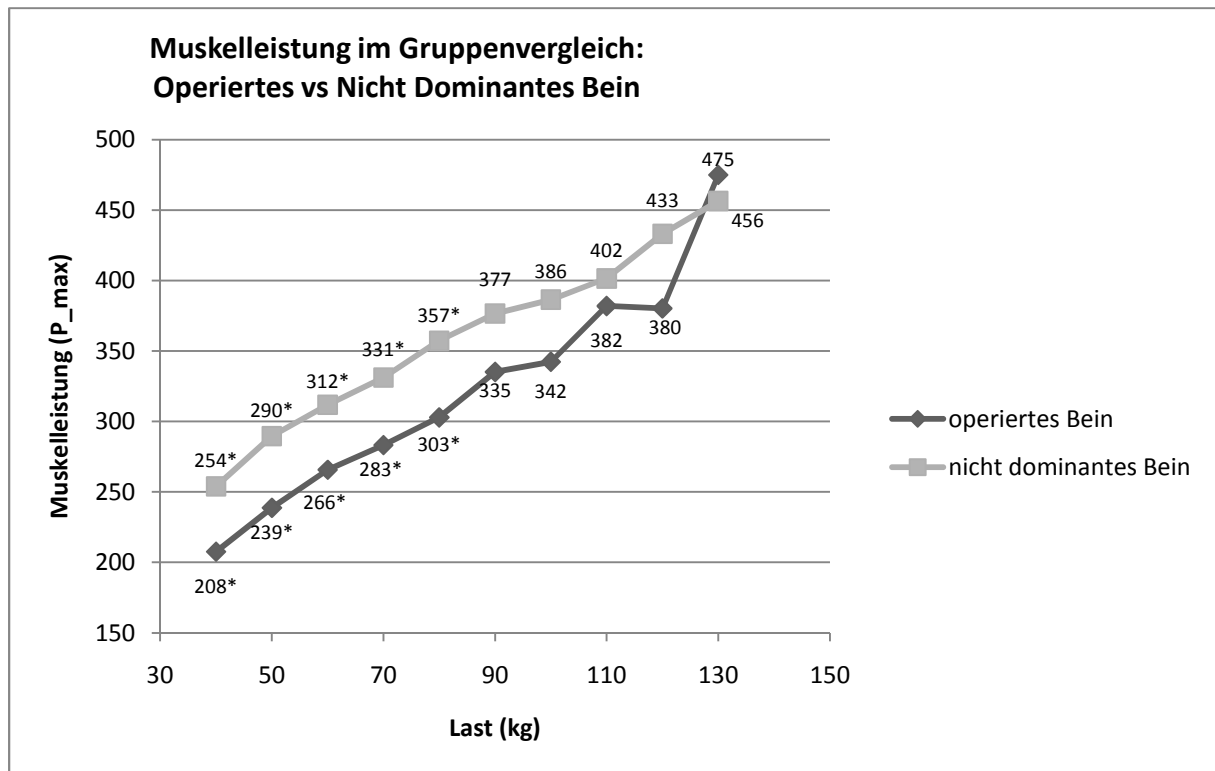
Tabelle 6: Gruppenvergleich der Ergebnisse aus den an der Beinpresse durchgeführten Tests der P_max

VK-Gruppe				Kontrollgruppe			
Operiertes Bein				Nicht dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
m P_max (kg)	77,59	19,394	50-130	101,25	22,174	60-130	0,001*
P_max (W)	297,24	81,227	171-475	385,12	91,259	196-551	0,002*
Nicht operiertes Bein				Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
m P_max (kg)	80,00	17,113	50-130	98,12	26,133	60-160	0,007*
P_max (W)	297,24	81,227	171-475	385,12	91,259	216-547	0,005*

SD...Standardabweichung

*...signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich

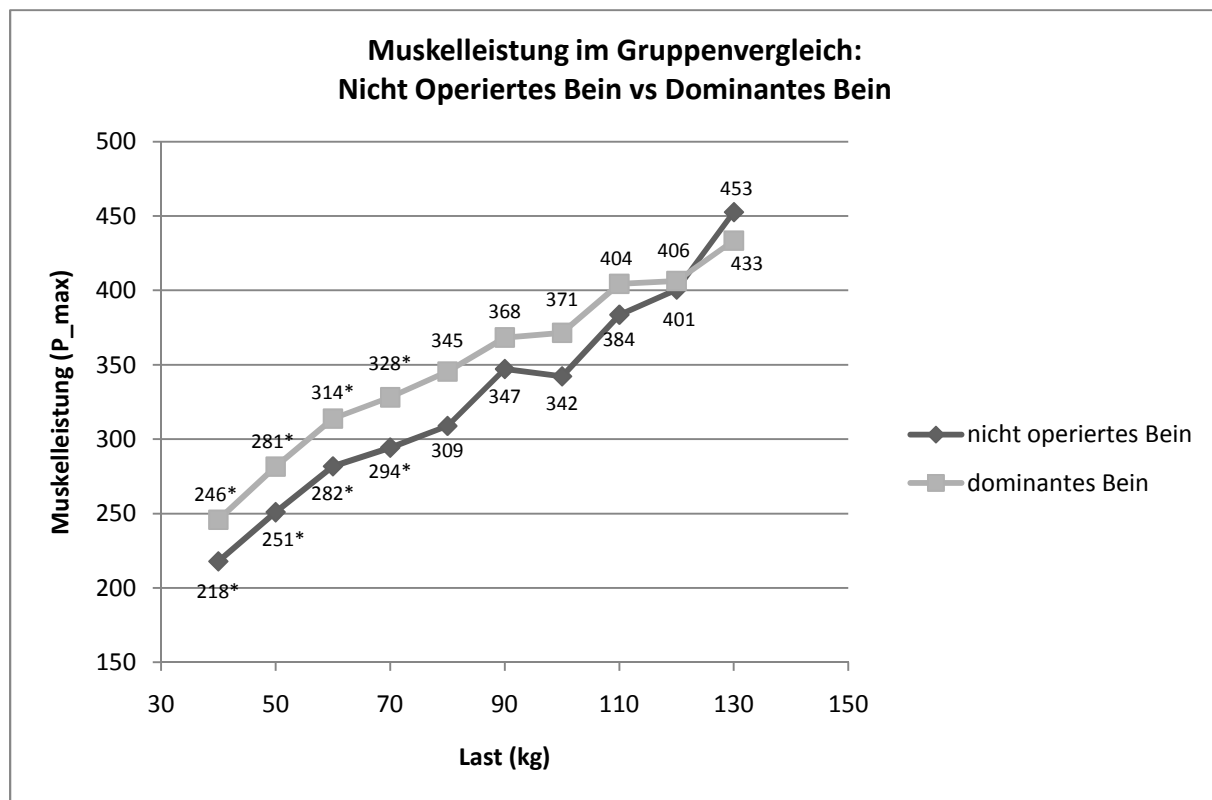
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die einzelnen Muskelleistungswerte bei jeder Last für die einzelnen Gruppenvergleiche. Es ist zu erkennen, dass die VK-Gruppe niedrigere Muskelleistungswerte bei jeder Last, sowohl für das operierte als auch nicht operierte Bein gegenüber dem dominanten und nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe erreicht.



*...signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich

Abbildung 10: Vergleich der Muskelleistung zwischen operierten Bein (VK-Gruppe) und nicht dominanten Bein (Kontrollgruppe)

Aus der Abbildung 10 und 11 geht hervor, dass es bei geringeren Lasten signifikante Unterschiede an der Muskelleistung zwischen operierten Bein (VK-Gruppe) und nicht dominanten Bein (Kontrollgruppe) gibt. Mit ansteigender Last können keine signifikanten Gruppenunterschiede nachgewiesen werden.



*...signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich

Abbildung 11: Vergleich der Muskelleistung zwischen nicht operierten Bein (VK-Gruppe) und dominanten Bein (Kontrollgruppe)

Die nächste Tabelle zeigt die relativen Unterschiede des Beinsymmetrieeindex zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe. Es konnte kein signifikanter Unterschied beim Beinsymmetrieeindex festgestellt werden.

Tabelle 7: Beinsymmetrieeindex der VK-Gruppe und Kontrollgruppe

	VK-Gruppe			Kontrollgruppe			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
BSI in %	95,53	12,422	56-114	101,54	8,981	83-115	0,096

SD...Standardabweichung

Die Einteilung der Beinsymmetrie von der Vorderen Kreuzbandgruppe und Kontrollgruppe erfolgte in „Scores“, welche in der nachfolgenden Tabelle abgebildet sind.

Tabelle 8: Beinsymmetrieindex-Score. Vergleich der Muskelleistung zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe

Beinsymmetrieindex-Score in % der Max. Muskelleistung	VK-Gruppe	Kontrollgruppe
≥90 % Normale Funktion	75,90 % (n=22)	87,50 % (n=14)
< 90% anormale Funktion	24,10 % (n=7)	12,50 % (n=2)

Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen beim Beinsymmetrieindex-Score. Es ist jedoch erwähnenswert, dass acht Personen in der VK-Gruppe eine unzureichende Funktion aufweisen.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über den Beinsymmetrieindex-Score für beide Gruppen.

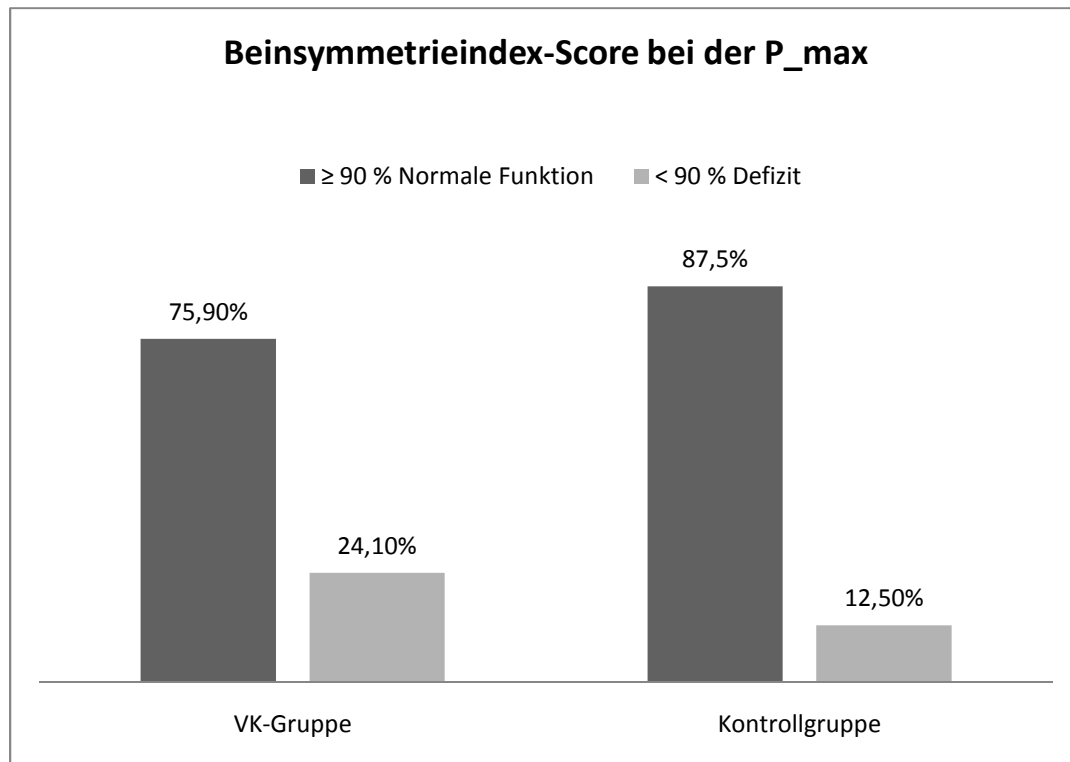


Abbildung 12: Einteilung des Beinsymmetrieindex-Score für die max. Muskelleistung

8.2 Gleichgewichtstest

8.2.1 Bein-Seitenvergleich der VK-Gruppe und Kontrollgruppe bei der Ruhigmessung

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse aus dem am Posturomed durchgeführten Gleichgewichtstest. Hinsichtlich Frequenz, Amplitude und Koordinationsfaktor konnte weder zwischen operiertem und nicht operiertem Bein der VK-Gruppe noch zwischen dominantem und nicht dominantem Bein der Kontrollgruppe ein überzufälliger Unterschied ermittelt werden.

Tabelle 9: Seitenvergleich innerhalb der Gruppen für die erhobenen Werte am Posturomed

VK-Gruppe							
	Operiertes Bein			Nicht operiertes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
Frequenz	2,176	0,462	0,83-2,72	2,165	0,383	1,12-2,71	0,635
Amplitude	28,138	20,062	5-87	25,276	16,960	6-80	0,750
KF	74,76	36,329	24-152	78,90	26,804	28-140	0,427
Kontrollgruppe							
	Nicht dominantes Bein			Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
Frequenz	2,093	0,334	1,08-2,45	2,099	0,253	1,47-2,63	0,953
Amplitude	21,438	11,081	7-49	20,938	9,671	11-46	0,985
KF	66,12	26,956	36-144	63,25	20,654	42-124	0,737

SD...Standardabweichung

KF...Koordinationsfaktor

8.2.2 Gruppenvergleich bei der Ruhigmessung

Im Vergleich zwischen dem operierten Bein der VK-Gruppe und dem nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe konnten hinsichtlich Frequenz, Amplitude und Koordinationsfaktor keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Es wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen dem dominanten Bein der Kontrollgruppe und dem nicht operierten Bein der VK-Gruppe für die Frequenz und Amplitude gefunden. Lediglich der Unterschied beim Koordinationsfaktor erwies sich als signifikant.

Tabelle 10: Frequenz, Amplitude und Koordinationsfaktor (KF) im Gruppenvergleich

	VK-Gruppe			Kontrollgruppe			
	Operiertes Bein			Nicht dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
Frequenz	2,177	0,462	0,83-2,72	2,093	0,334	1,08-2,45	0,226
Amplitude	28,138	20,062	5-87	21,438	11,081	7-49	0,427
KF	74,76	36,329	24-152	66,12	26,956	36-144	0,652

	Nicht operiertes Bein			Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
Frequenz	2,165	0,383	1,12-2,71	2,099	0,253	1,47-2,63	0,546
Amplitude	25,276	16,960	6-80	20,938	9,671	11-46	0,353
KF	78,90	26,804	28-140	63,25	20,654	42-124	0,049*

SD...Standardabweichung

KF...Koordinationsfaktor

*...signifikant (<0,05) unterschiedlich

Die nächste Tabelle zeigt die relativen Unterschiede des Beinsymmetrieindex zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe bei den erhobenen Messparametern am Posturomed. Es konnte kein signifikanter Unterschied beim Beinsymmetrieindex festgestellt werden.

Tabelle 11: Beinsymmetrieindex am Posturomed

	VK-Gruppe			Kontrollgruppe			
	BSI in %	SD	Reichweite	BSI in %	SD	Reichweite	p-value
Frequenz	101,76	24,167	59-193	100,75	18,292	51-140	0,877
Amplitude	124,72	83,686	34-323	104,06	31,903	47-169	0,669
KF	93,66	29,176	28-164	101,62	23,049	66-142	0,352

SD...Standardabweichung

KF...Koordinationsfaktor

*...signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Einteilung der Werte in Scores.

Tabelle 12: Score-Einteilung der Ergebnisse des Gleichgewichtstests

	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
Frequenz	VK-Gruppe					
	operiert	≤ 1,74	1,75-2,08	2,09-2,41	2,42-2,64	>2,64
	nicht operiert	≤ 1,82	1,83-2,03	2,04-2,43	2,44-2,52	>2,52
	Kontrollgruppe					
	dominant	≤ 1,86	1,87-2,06	2,07-2,13	2,14-2,32	>2,62
	nicht dominant	≤ 1,82	1,83-2,05	2,06-2,23	2,24-2,41	>2,41
	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
Amplitude	VK-Gruppe					
	operiert	≤ 10,40	10,41-16,00	16,01-34,00	34,01-50,00	>50
	nicht operiert	≤ 13,00	13,01-16,00	16,01-25,00	25,01-41,20	>41,20
	Kontrollgruppe					
	dominant	≤ 13,00	13,01-15,00	15,01-22,39	22,40-29,92	>29,92
	nicht dominant	≤ 11,72	11,73-16,22	13,23-22,39	22,39-33,36	>33,36
	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
KF	VK-Gruppe					
	operiert	≤ 35,20	35,21-55,80	55,81-98,40	98,41-120,80	>120,80
	nicht operiert	≤ 54,40	54,41-63,80	63,81-92,20	92,21-102,80	>102,80
	Kontrollgruppe					
	dominant	≤ 45,44	45,45-52,00	52,01-66,78	66,79-82,56	>82,56
	nicht dominant	≤ 39,44	39,45-56,00	56,01-70,78	70,79-85,60	>85,60

KF...Koordinationsfaktor

Sehr gut: Perzentile ≤ 16%

Gut: Perzentile > 16% - 33%

Durchschnittlich: Perzentile > 33%-67%

Genügend: Perzentile >67%-84%

Ungenügend: Perzentile > 84%

(vgl. Pavic 2008, S. 27)

Aus Tabelle Nr. 18 gehen die Anteile der Werte für das operierte und nicht operierte Bein der VK-Gruppe sowie dominante und nicht dominante Bein der Kontrollgruppe hervor, die am Posturomed als „Sehr gut“, „Gut“, „Durchschnittlich“, „Genügend“ und „Ungenügend“ beurteilt wurden.

Tabelle 13: Streuung der Probanden beim Gleichgewichtstest

Posturomed	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
Frequenz	VK-Gruppe					
	Operiert	13,8% (n=4)	20,7% (n=6)	34,5% (n=10)	17,2% (n=5)	13,8% (n=4)
	Nicht operiert	13,8% (n=4)	17,2% (n=5)	38% (n=11)	17,2% (n=5)	13,8% (n=4)
	Kontrollgruppe					
	Dominant	12,5% (n=2)	18,75% (n=3)	31,25% (n=5)	25% (n=4)	12,5% (n=2)
	Nicht dominant	12,5% (n=2)	18,75% (n=3)	37,5% (n=6)	18,75% (n=3)	12,5% (n=2)
	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
Amplitude	VK-Gruppe					
	Operiert	13,8% (n=3)	20,7% (n=6)	38% (n=11)	17,2% (n=5)	10,3% (n=3)
	Nicht operiert	10,3 (n=3)	24,1% (n=7)	38% (n=11)	13,8% (n=4)	13,8% (n=4)
	Kontrollgruppe					
	Dominant	6,25% (n=1)	31,25% (n=5)	31,25% (n=5)	18,75% (n=3)	12,5% (n=2)
	Nicht dominant	12,5% (n=2)	18,75% (n=3)	37,5% (n=6)	18,75% (n=3)	12,5% (n=2)
	Gruppen	Sehr gut	Gut	Durchschnittlich	Genügend	Ungenügend
KF	VK-Gruppe					
	Operiert	13,8% (n=4)	17,2% (n=5)	38% (n=11)	17,2% (n=5)	13,8% (n=4)
	Nicht operiert	13,8% (n=4)	17,2% (n=5)	38% (n=11)	17,2% (n=5)	13,8% (n=4)
	Kontrollgruppe					
	Dominant	12,5% (n=2)	25% (n=4)	31,25 (n=5)	18,75% (n=3)	12,5% (n=2)
	Nicht dominant	12,5% (n=2)	25% (n=4)	31,25 (n=5)	18,75% (n=3)	12,5% (n=2)

Beim Koordinationsfaktor konnte kein Unterschied zwischen dem operierten und nicht operierten Bein festgestellt werden. Die Kontrollgruppe erzielte bessere Werte beim Koordinationsfaktor als die VK-Gruppe.

Die Score-Einteilung der Probanden wurde zur besseren Veranschaulichung in den nachfolgenden Grafiken nochmals dargestellt.

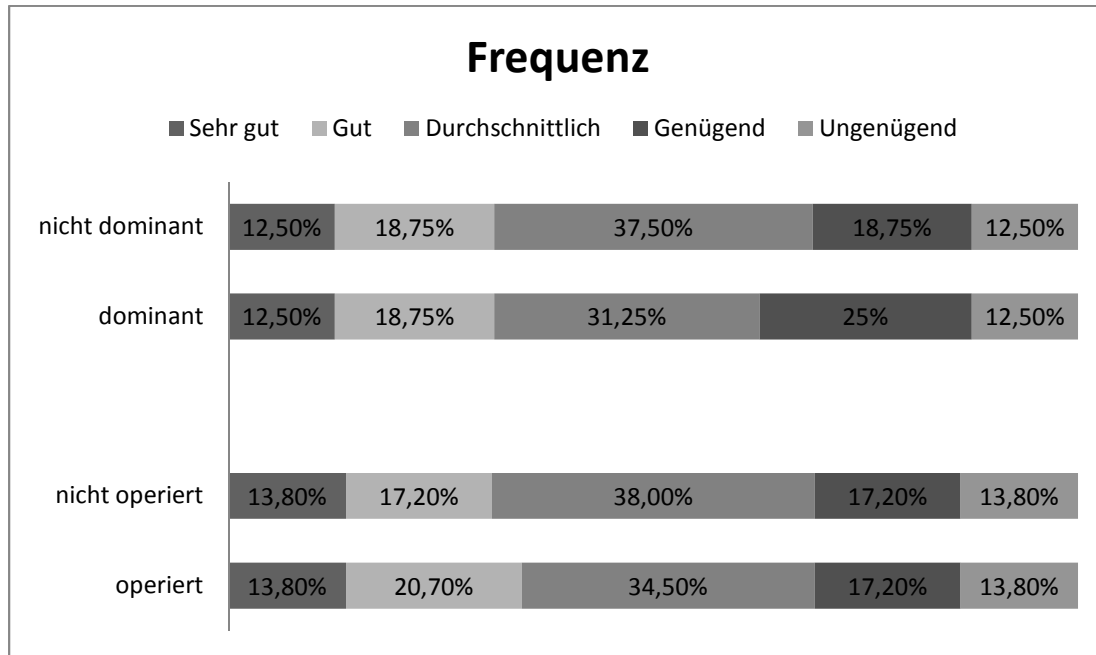


Abbildung 13: Score-Einteilung der Frequenz

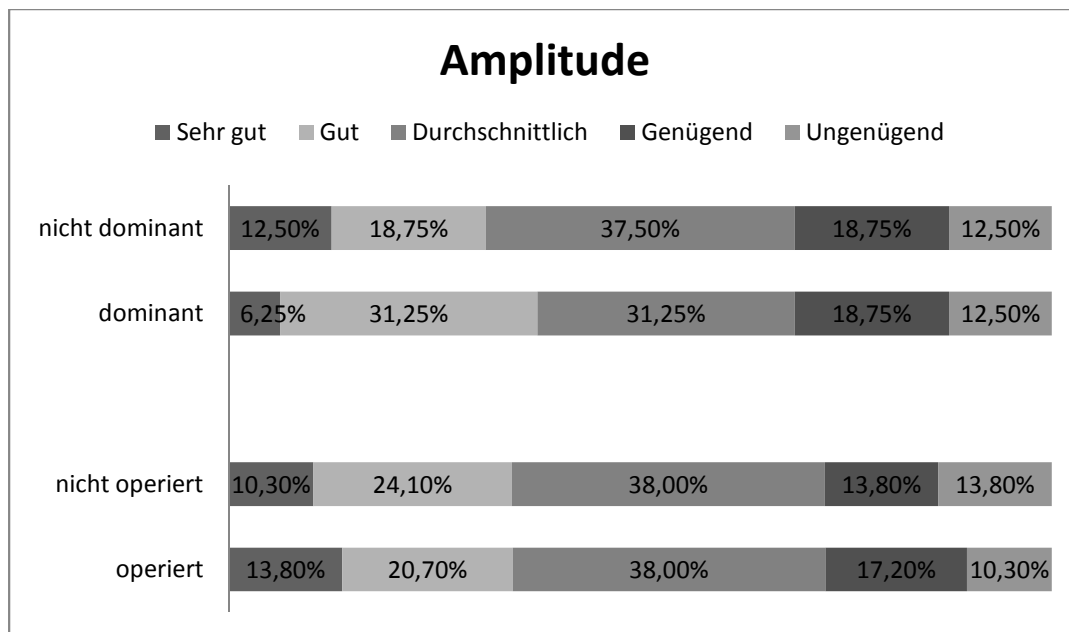


Abbildung 14: Score-Einteilung der Amplitude

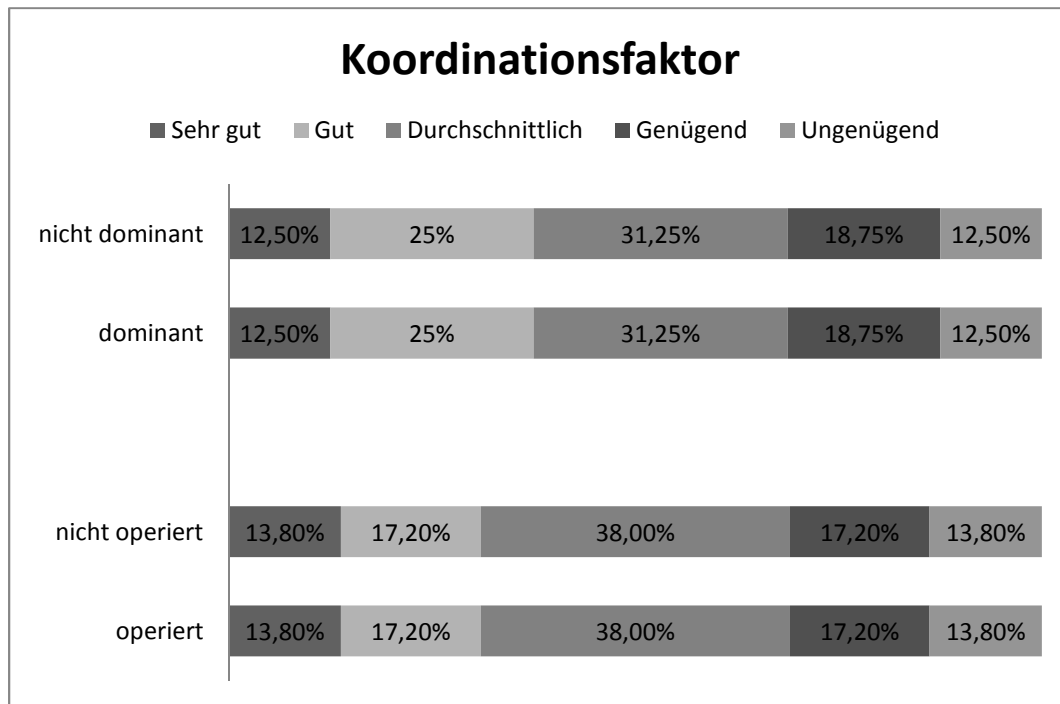


Abbildung 15: Score-Einteilung des Koordinationsfaktors

8.3 Vertical Jump Test

8.3.1 Bein-Seitenvergleich beim Vertical Jump Test

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem Vertical Jump Test für beide Gruppen dargestellt. Die beobachteten Unterschiede bezüglich der Kontaktzeit, der Sprunghöhe und des Schnellkraftindex zwischen dem operierten und nicht operierten Bein in der VK-Gruppe beziehungsweise dem dominanten und nicht dominanten Bein in der Kontrollgruppe erwiesen sich als nicht signifikant.

Tabelle 14: Seitenvergleich der Ergebnisse aus dem Vertical Jump Test

VK-Gruppe							
	Operiertes Bein			Nicht operiertes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
KZ (sec)	0,262	0,042	0,17-0,318	0,253	0,036	0,167-0,331	0,350
SH (cm)	7,421	3,984	1,90-18,60	8,883	4,531	1,70-20,0	0,197
SKI (%)	28,72	16,561	6-82	36,38	19,132	6-86	0,080
Kontrollgruppe							
	Nicht dominantes Bein			Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
KZ (sec)	0,258	0,021	0,229-0,29	0,251	0,035	0,192-0,301	0,462
SH (cm)	13,038	4,305	3,50-17,50	12,856	4,068	2,10-18,50	0,903
SKI (%)	51,50	16,174	15-76	51,75	18,379	11-92	0,968

SD...Standardabweichung

KZ...Kontaktzeit

SH...Sprunghöhe

SKI..Schnellkraftindex

*signifikant (p=0,05) unterschiedlich

8.3.2 Gruppenvergleich

Kein Unterschied konnte bei der Kontaktzeit zwischen dem operierten Bein der VK-Gruppe und dem nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe sowie dem nicht operierten Bein der VK-Gruppe und dem dominanten Bein der Kontrollgruppe festgestellt werden. Ein signifikanter Unterschied wurde jedoch hinsichtlich der Sprunghöhe und des Schnellkraftindex zwischen dem operierten Bein der VK-Gruppe und dem nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe sowie zwischen dem nicht operierten Bein der VK-Gruppe und dem dominanten Bein der Kontrollgruppe vermerkt. Die VK-Gruppe erreichte deutlich schlechtere Werte beim Vertical Jump Test in Bezug auf Sprunghöhe und Schnellkraftindex.

Tabelle 15: Gruppenvergleich der Ergebnisse aus dem Vertical Jump Test

	VK-Gruppe			Kontrollgruppe			
	Operiertes Bein			Nicht dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
KZ (sec)	0,262	0,042	0,17-0,32	0,258	0,036	0,23-0,29	0,205
SH (cm)	7,421	3,984	1,9-18,6	13,038	4,305	3,5-17,5	0,000*
SKI (%)	28,72	16,561	6-82	51,50	16,174	15-76	0,000*
	Nicht operiertes Bein			Dominantes Bein			
	Mittelwert	SD	Reichweite	Mittelwert	SD	Reichweite	p-value
KZ (sec)	0,253	0,025	0,17-0,33	0,251	0,035	0,19-0,3	0,863
SH (cm)	8,883	4,531	1,70-20,0	12,856	4,068	2,1-18,5	0,006*
SKI (%)	36,38	19,132	6-86	51,75	18,379	11-92	0,012*

SD...Standardabweichung

KZ...Kontaktzeit

SKI...Schnellkraftindex

*..signifikant (<0,05) unterschiedlich

Es konnte keine Abweichung beim Beinsymmetrieindex für die Kontaktzeit zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe beobachtet werden. Jedoch wurde ein signifikanter Unterschied beim Beinsymmetrieindex für die Sprunghöhe und den Schnellkraftindex zwischen den Gruppen festgestellt.

Tabelle 16: Streuung des Beinsymmetrieindexes beim Vertical Jump Test

	VK-Gruppe			Kontrollgruppe			
	BSI in %	SD	Reichweite	BSI in %	SD	Reichweite	p-value
KZ	104,76	16,55	70-163	104	9,438	91,129	0,867
SH	82,48	27,51	24-155	104	21,24	67-167	0,071
SKI	36,38	19,13	6-86	102,56	16,85	63-136	0,011*

SD...Standardabweichung

*.....signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich

8.3.3 Streuung des Beinsymmetrieindex der VK-Gruppe und Kontrollgruppe

Aus Tabelle Nr. 21 gehen die Anteile der beiden Gruppen hervor, die bei den unterschiedlichen Messparametern des Vertical Jump Test anormale Beinsymmetrie-Werte erzielten.

Tabelle 17: Beinsymmetrie-Score für den Vertical Jump Test

Beinsymmetrie	VK-Gruppe			Kontrollgruppe		
	KZ	SH	SKI	KZ	SH	SKI
Abnormal (<85% BSI)	6,9% (n=2)	48,3% (n=14)	55,2% (n=16)	0%	6,2% (n=1)	12,5% (n=2)
Normal (≥85% BSI)	93,1% (n=27)	51,7% (n=15)	44,8% (n=13)	100% (n=16)	93,8% (n=15)	87,5% (n=14)

Bei 93 % der Patienten aus der VK-Gruppe sowie Kontrollgruppe konnte eine normale Beinsymmetrie bei der Kontaktzeit beobachtet werden. Es konnte kein Gruppenunterschied ermittelt werden ($p=0,283$).

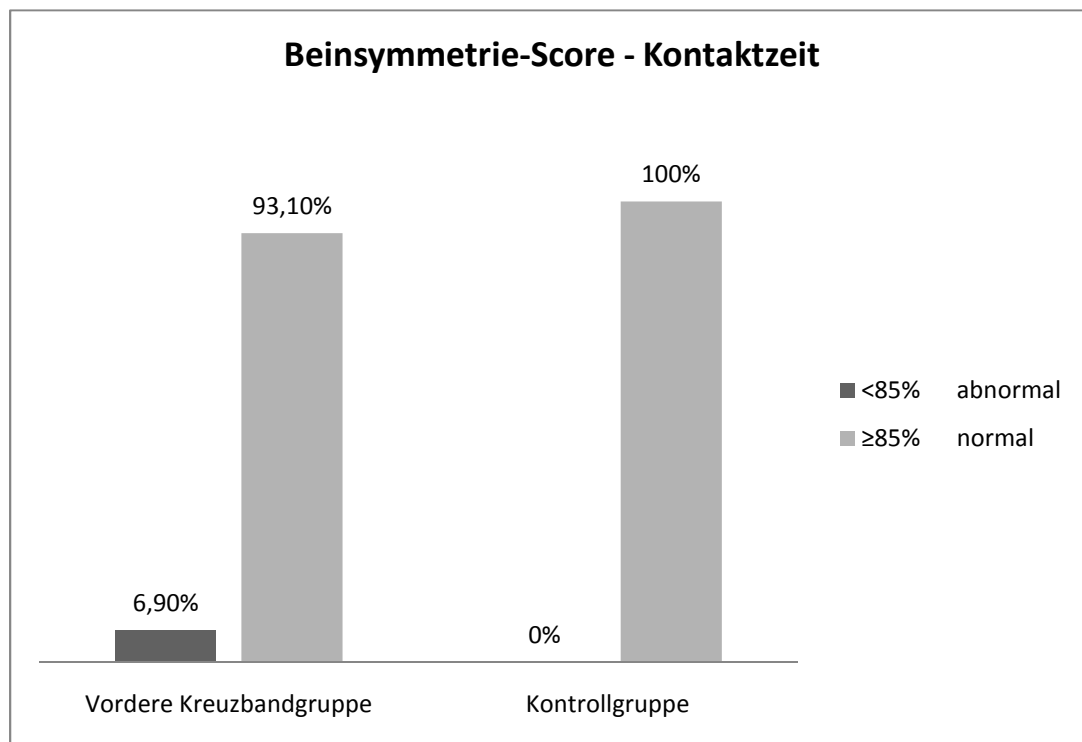


Abbildung 16: Beinsymmetrie-Scores bei der Kontaktzeit

Bei 48,3 % der Patienten mit vorderer Kreuzbandrekonstruktion wurde eine anormale Beinsymmetrie festgestellt. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe ($p=0,004$).

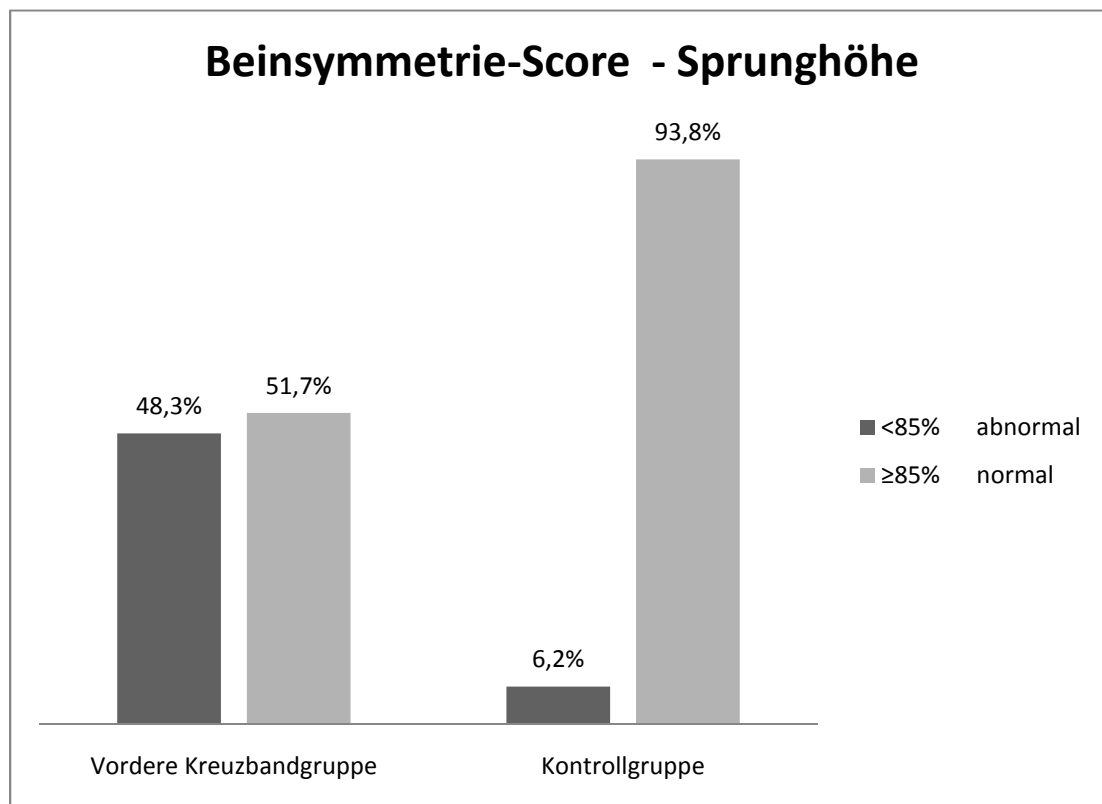


Abbildung 17: Beinsymmetrie-Score bei der Sprunghöhe

Hinsichtlich des Beinsymmetrie-Scores für den Schnellkraftindex konnte bei mehr als der Hälfte der vorderen Kreuzbandgruppe noch Jahre nach der Rekonstruktion eine anormale Beinsymmetrie festgestellt werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe ($p=0,005$).

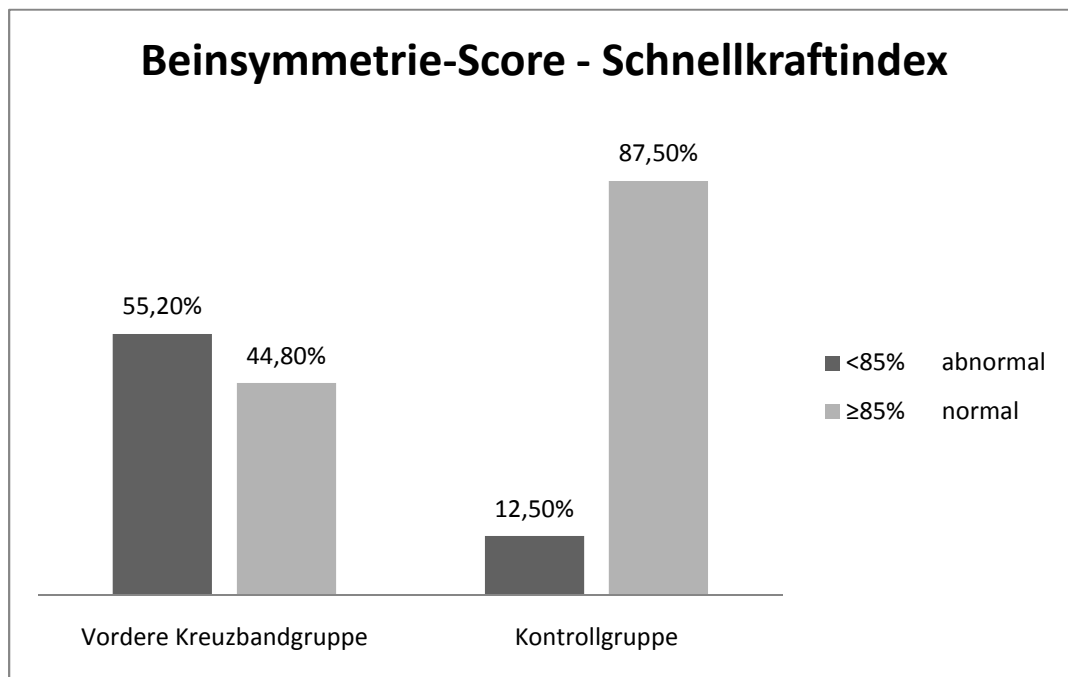


Abbildung 18: Beinsymmetrie-Score beim Schnellkraftindex

8.4 Zusammenhang zwischen dem Beinsymmetrieindex der P_max und dem Beinsymmetrieindex des Schnellkraftindexes

Es wurde ein schwacher Zusammenhang zwischen den beiden Parametern festgestellt. ($r=0,298$; $p=0,046$).

8.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der Bestimmung der maximalen Muskelleistung an der Beinpresse konnte kein Unterschied zwischen dem operierten und gesunden Bein festgestellt werden, jedoch ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe. 73 % der VK-Patienten weisen eine normale Muskelfunktion auf. Jedoch ist zu erwähnen, dass in der VK-Gruppe noch Defizite beobachtet wurden.

Keine Defizite wurden hinsichtlich der statischen Stabilität am Posturomed zwischen operiertem und gesundem Bein sowie im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt.

Beim Vertical Jump Test konnte kein Unterschied zwischen operiertem und gesundem Bein festgestellt werden. Zu erwähnen ist, dass sich deutliche Abweichungen bezüglich Sprunghöhe und Schnellkraftindex zwischen den Gruppen nachweisen ließen. Patienten mit vorderer Kreuzbandrekonstruktion sprangen signifikant niedriger als die Vergleichsgruppe. Dies wirkte sich wiederum negativ auf den Schnellkraftindex aus, welcher ebenfalls signifikant vermindert war.

Es konnte beobachtet werden, dass 48 % der kreuzbandoperierten Personen eine anormale Beinsymmetrie bei der Sprunghöhe aufweisen. Weiters konnte eine anormale Beinsymmetrie von 55 % beim Schnellkraftindex in der VK-Gruppe vermerkt werden.

Es konnte ein sehr geringer Zusammenhang zwischen dem Beinsymmetrieindex der P_max und dem Beinsymmetrieindex des Schnellkraftindex festgestellt werden.

9 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde anstelle traditioneller isokinetischer Krafttests die Muskelleistung der Beinmuskulatur bei Patienten nach VKB-Ruptur gemessen. Petrella et al. (2004) weisen darauf hin, dass die Muskelleistung für die körperliche Leistungsfähigkeit im täglichen Leben eine wichtige Rolle spielt. Ageberg et al. (2006) schreiben der Muskelleistung eine eher sportspezifische Bedeutung zu. Weiters wird angeführt, dass eine Beeinträchtigung der Muskelleistung zu einer verminderten allgemeinen Leistungsfähigkeit führt (Petrella et al. 2004). Die Muskelleistung der Kniestrecker wird für viele alltägliche Aktivitäten, wie z.B. Laufen und Stiegen steigen benötigt. Da muskuläre Defizite nach VKB-Rekonstruktion auftreten, erscheint es sinnvoll, die Muskelleistung als Parameter zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit heranzuziehen.

In der VK-Gruppe wurden am operierten und nicht operierten Bein ähnliche Muskelleistungen gemessen, wobei die erzielten Leistungsmaxima signifikant niedriger, als in der Kontrollgruppe lagen. Weiters konnte nur bei 28 % der Patienten nach VKB-Rekonstruktion eine anormale Beinsymmetrie an der Beinpresse festgestellt werden. Der Grund für die niedrigeren Muskelleistungswerte der VK-Gruppe könnte auf ein psychisches Problem zurück zu führen sein, wie beispielsweise die Angst vor Wiederverletzung bei schnellen Kraftstößen. Es muss auch die nach VKB-Rekonstruktion reduzierte sportliche Aktivität berücksichtigt werden, da im Probandenkollektiv 15 Patienten ihre Trainingsintensivität reduzieren mussten und es drei Probanden nicht möglich war, ihre gewohnte sportliche Aktivität wieder aufzunehmen. Hingegen mussten die Probanden der Kontrollgruppe ihre sportliche Aktivität nicht verändern bzw. reduzieren. Eine Verringerung der Trainingsintensität bedeutet eine Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit und spiegelt sich in der verminderten Muskelleistung der VK-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche signifikant höhere Werte erzielte, wider. Nichtsdestotrotz scheint sich die Muskelleistung des operierten Beines drei Jahre nach Rekonstruktion dem gesunden Bein angepasst zu haben.

Neeter et al. (2006) konnten bei ähnlicher Testdurchführung sechs Monate nach Rekonstruktion eine anormale Beinsymmetrie bei 61 % der Patienten an der Beinpresse feststellen. Es kann angenommen werden, dass eine Dauer von mindestens ein bis zwei Jahren notwendig ist, bis sich die Muskelleistung wieder annähernd normalisiert hat. Weiters wurde bei Tests der Knieextension in offener Bewegungskette bei 86 % der Patienten eine anormale Beinsymmetrie gefunden. Bei den Kniebeugern hingegen war die Beinsymmetrie nur bei 42 % der

Patienten abnorm. Diese Resultate zeigen, dass der M. quadriceps nach einer VKB-Ruptur eine schlechtere Muskelfunktion aufweist, als die der Hamstrings.

In einer weiteren Untersuchung (Ageberg et al. 2009) wurde bei gleicher Testdurchführung wie bei Neeter et al. (2006) drei Jahre nach VKB-Rekonstruktion eine anormale Beinsymmetrie bei 31 % der Patienten bei der Kniestreckung und bei 33 % bei der Knieflexion festgestellt. Bei jenen Patienten, welche eine Hamstringssehne zur Rekonstruktion erhalten hatten, wurde eine schwächere Muskelleistung an den Hamstrings und ein niedrigeres Verhältnis der Leistung von Kniestreckern zu Kniebeugern festgestellt. Für die Knieextension konnten keine Gruppenunterschiede festgestellt werden. Es wird angeführt, dass dieses Muskelungleichgewicht einen Einfluss auf die dynamische Kniegelenksstabilität hat. Die Muskelleistung des Quadriceps scheint sich nach einer VKB-Ruptur schneller zu regenerieren als die der Hamstrings. Dies konnte auch in einer Studie von Moisala et al. (2006) mittels isokinetischer Testmethode bestätigt werden. Im Gegensatz zu diesen Ergebnisse konnte Ducke (2006) bei isokinetischer Drehmomentmessung (60 °) ein persistierendes Defizit für die Knieextensoren feststellen. Bei den Knieflexoren wurden keine Auffälligkeiten im Seitenvergleich festgestellt. Ein Vergleich zwischen den Operationsmethoden wurde in dieser Untersuchung jedoch nicht berücksichtigt. Es treten nach wie vor Defizite bei der Muskelkraft sowie Muskelleistung nach VKB-Rekonstruktion auf. Die Operation selbst sowie der Rehabilitationsverlauf nach einer Wiederherstellung haben einen großen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse und müssen bei der Interpretation berücksichtigt werden. Dies konnte in einer Untersuchung von Gerber et al. (2009) bestätigt werden. Patienten, welche ein progressives exzentrisches Training in der frühen postoperativen Phase absolvierten, hatten eine höhere Quadricepsmuskelkraft sowie bessere Sprungweiten als Patienten mit einem herkömmlichen Trainingsprogramm. Ebenso wurde in einer weiteren Untersuchung (Mekelsen et al. 2000) festgestellt, dass es nach einem Krafttraining in offener Bewegungskette zu einer Verbesserung der Quadricepsmuskelkraft kommt.

In zahlreichen Publikationen (Petschnig et al. 1994, Wilk et al. 1998; Reid et al. 2007; Hooper et al. 2008) wurde die Validität von Sprungtests bei der Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit herausgestrichen. Der Vertical Jump Test erlaubt eine allgemeine Messung der beidseitigen Kraftasymmetrie und ist für alltägliche Bewegungen und Sportaktivitäten relevant, da mehrere Muskelgruppen gleichzeitig aktiviert werden müssen. Weiters konnte ein Zusammenhang zwischen isometrischer Krafttestung an der Beinpresse und Vertical Jump Test gefunden werden, da beide Verfahren die gleichen Parameter erheben (Implezzi et al.

2007). Obgleich psychische Faktoren, wie Vertrauen in das operierte Bein, Einfluss auf das Testergebnis haben, erlaubt der Vertical Jump Test die Beurteilung der Kraft, Leistung und der dynamischen Stabilität (Petschnig et al. 1994). Es wird angegeben, dass sich die Durchführung des Vertical Jump Tests in der mittleren und späten Phase nach VKB-Rekonstruktion als Beurteilungsmethode als äußerst günstig erweist (Hopper et al. 2008).

Aus diesem Grund wurde die funktionelle Leistungsfähigkeit mit dem Vertical Jump Test erfasst. In der vorliegenden Arbeit weisen mehr als die Hälfte der Probanden aus der VK-Gruppe eine anormale Beinsymmetrie beim Vertical Jump Test auf. Trotz vorhandener Beinsymmetrie bei der Muskelleistung wurden unterschiedliche Beinsymmetrieindizes bei der Sprungleistung festgestellt. Das Koordinieren einzelner Muskeln, sowie die Stabilisierungsfähigkeit während der Landungs- und Absprunghase, scheinen beim Vertical Jump Test eine Herausforderung darzustellen. Wie schon Petschnig et al (1994) anmerken, müssen psychische Aspekte, wie beispielsweise Vertrauen in das operierte Bein, berücksichtigt werden.

Beim operierten Bein wurden signifikant niedrigere Sprunghöhen gemessen, als im Vergleich zum nicht dominanten Bein der Kontrollgruppe. Keine Unterschiede konnten bei der Bodenkontaktzeit festgestellt werden. Wikstrom et al. (2008) berichten, dass eine gute Kniestabilisation während der Sprunglandung die Ausführung des Vertical Jump beeinflusst. Weiters wird angeführt, dass die Bodenreaktionskraft die Höhe der Sprünge bestimmt. Dies wurde auch von Eamonn et al. (2008) und Webster et al. (2004) bestätigt. In diesen Studien wurde eine niedrigere Bodenreaktionskraft beim Absprung im operierten Bein festgestellt. Auch in einer Untersuchung von Drechsler et al. (2006) konnte eine verminderte Muskelaktivierung festgestellt werden. Es kann angenommen werden, dass eine geringere Kraftproduktion der Muskulatur die Sprunghöhe bzw. Sprungweiten reduziert. Bonfirm et al. (2003) wiederum meinen, dass es sich um eine neuromuskuläre Störung handelt, welche einen Einfluss auf die Muskelleistung hat. Zu berücksichtigen wären die bisher sehr unterschiedlichen Testprotokolle, die bei der Ausführung des Vertical Jump Test verwendet wurden. Dieses Durchführungsschema ist mit dem in dieser Studie nicht ähnlich. Zum Beispiel zeigte eine Studie von Hooper et al. (2008), dass 42 % der Patienten 26 Wochen nach Rekonstruktion eine anormale Beinsymmetrie beim Vertical Jump aufweisen, hingegen konnte ein Jahr postoperativ nur mehr bei 10 % eine anormale Beinsymmetrie gefunden werden.

Im Gegensatz zu der Studie von Hooper et al. (2008) wurde in einer Untersuchung von Petschnig et al. (1994) ein anormale Beinsymmetrie bei 74 % der Patienten ein Jahr nach Rekonstruktion beobachtet. Ebenso wurde eine verminderte Sprunghöhe sowie Bodenkontaktzeit

beim operierten Bein festgestellt. Das Untersuchungsdesign von Petschnig et al. (1994) ist mit der in dieser Untersuchung angewendeten Durchführung ident und daher zum Vergleich gut geeignet. Innerhalb von zwei Jahren nach Rekonstruktion kommt es zwar zu einer Verbesserung der Sprungleistung, jedoch bestehen noch Defizite.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse konnte aber auch in anderen Untersuchungen, bei der Durchführung eines Einbeinsprungs auf Distanz, eine verminderte Sprungdistanz nachgewiesen werden (Mattacola et al. 2002; Drechsler et al. 2006; Roberts et al. 2006). Es gibt Grund zu der Annahme, dass es nach einer VKB-Rekonstruktion zu einer verminderten Sprungleistung kommt, welche sich in der verminderten Sprunghöhe oder Sprungdistanz widerspiegelt. Bei der Beurteilung von Sprungtests müssen mehrere Faktoren, wie z.B. Kraftdefizite, Schmerzen, psychische Faktoren, Stabilisierungsfähigkeit sowie sportliches Level, berücksichtigt werden.

Diese Resultate deuten darauf hin, dass Personen drei Jahre nach VKB-Rekonstruktion, bedingt durch neuromuskuläre Veränderungen, verminderte Stabilisierungsfähigkeit sowie reduzierte Muskelleistung, eine verminderte Sprungleistung haben. Es konnte auch ein geringer Zusammenhang zwischen dem BSI der P_max und dem BSI des Schnellkraftindex nachgewiesen werden.

Die Stabilisierung der unteren Extremitäten insbesondere der beteiligten Gelenksysteme ist Voraussetzung für eine sichere Bewegungsausführung sowie für eine Vermeidung von Verletzungen (Wilke 2002, S. 133). Weiters ist die propriozeptive neurophysiologische Funktion des vorderen Kreuzbandes für die Aufrechterhaltung der Kniestabilität von großer Bedeutung (Castilho et al. 2009). Nach einer VKB-Ruptur kommt es zu einem neuromuskulären Defizit, das auch „funktionelle Instabilität“ genannt wird. Dieses beeinflusst auch die Stabilisierungsfähigkeit des Körpers (Lübken et al. 2008). Daher erscheint es sinnvoll, nach einer VKB-Rekonstruktion die posturale Stabilität zu überprüfen. In dieser Studie wurde das neuroorthopädische Therapiegerät Posturomed zur Bestimmung der Gleichgewichtsfähigkeit herangezogen.

Bei der Stabilitätsmessung konnten keine Auffälligkeiten zwischen operiertem und gesundem Bein, sowie im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden werden. Die erhobenen Werte waren mit den Referenzwerten von Pavic (2008), welcher an einem gesunden Probandenkollektiv die Gleichgewichtsfähigkeit mit dem Posturomed überprüfte, vergleichbar. Es konnte beobachtet werden, dass die Kontrollgruppe in unserer Studie bessere Werte bei den Parametern

Amplitude und Koordinationsfaktor erzielten als jene von Pavic (2008). Im Vergleich mit der VK-Gruppe waren keine Abweichungen erkennbar. Dies deutet daraufhin, dass unsere Kontrollgruppe über eine überdurchschnittliche Stabilisierungsfähigkeit verfügt.

In einer, dieser ähnlichen, Untersuchung von Mattacola et al (2002) konnten schon 18 Monate nach Rekonstruktion keine signifikanten Unterschiede zwischen operiertem und gesundem Bein sowie im Vergleich mit der Kontrollgruppe festgestellt werden. Der Unterschied zwischen Mattacola et al. (2002) und dieser Untersuchung ist das verwendete Messinstrument, sowie die Dauer der Stabilitätsmessung. Weiters konnten Hoffmann et al. (1999) zehn Monate nach VKB-Rekonstruktion ebenfalls keinen Unterschied bei der dynamischen Balance zwischen operiertem und gesundem Bein feststellen, jedoch einen signifikanten Unterschied im Vergleich zur Kontrollgruppe. Er gibt an, dass dieser Gruppenunterschied auf eine Störung des zentralen Kontrollmechanismus zurückzuführen ist. Hoffmann et al. (1999) erfasste die posturale Kontrolle nach einer muskulär induzierten Störung. Henriksson et al. (2001) konnte 36 Monate nach VKB-Rekonstruktion nur durch Setzen von äußeren Reizen (aus dem Gleichgewicht bringen) einen Unterschied im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen, jedoch auch einen signifikanten Unterschied zwischen operiertem und nicht operiertem Bein ermitteln. Es wurden längere Reaktions- und Latenzzeiten bei der VK-Gruppe unter Einfluss von Störfaktoren festgestellt. Bei Fehlen dieser Störfaktoren wurde keine Differenz gefunden. Das verwendete Gerät erfasste die Gleichgewichtsfähigkeit mit vertikaler Auslenkung, jedoch nicht in der horizontalen Ebene.

Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Untersuchungen konnten Bonfirm et al. (2006) sieben Monate nach VKB-Rekonstruktion eine deutliche Seitendifferenz beim Einbeinstand feststellen. Weiters konnten die Autoren während des Einbeinstandes eine verlängerte Latenzzeit bei den Hamstrings beobachten. Diese Testdurchführung unterscheidet sich jedoch in dem Punkt, dass während des Einbeinstandes, das Spielbein im Hüft- und Kniegelenk um 90° gebeugt wurde.

Es besteht Grund zur Annahme, dass Stabilisierungsdefizite nur unter Einfluss äußerer Störungen auftreten, welche eine höhere Beanspruchung der stabilisierenden Muskeln darstellen. Ebenfalls können unterschiedliche Standpositionen die Balance beeinflussen. In der VK-Gruppe scheint die Stabilisierung während Sprüngen beeinträchtigt zu sein, obwohl eine gute Stabilisierungsfähigkeit im Einbeinstand ohne äußere Einflüsse am operierten Bein gefunden wurde. Die Stabilisierung im Einbeinstand kann aber nicht mit der, während der Ausführung von Sprüngen, verglichen werden, da unterschiedliche Faktoren die Balance beeinflussen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde in der VK-Gruppe eine Beinsymmetrie bei der P_max festgestellt, jedoch unterscheiden sich diese signifikant von der Kontrollgruppe. Weiters erreichte die VK-Gruppe mit dem operierten und gesunden Bein niedrigere Sprunghöhen beim Vertical Jump Test als auch schlechtere Werte bei der P_max im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die verminderte Leistungsfähigkeit der VK-Gruppe könnte einerseits auf die Reduzierung der sportlichen Aktivität nach der Verletzung zurückzuführen sein oder es könnte sich auch um einen neurologischen Cross-Over-Effekt handeln, indem sich das gesunde Bein an das Leistungsniveau des operierten Beines anpasst. Weiters wäre die höhere Leistungsfähigkeit der Kontrollgruppe auch dadurch erklärbar, dass dieses Probandenkollektiv hauptsächlich aus Sportsstudenten bestand, welche während ihres Studiums Erfahrungen im Bereich Krafttraining und Sprungvariationen gesammelt hatten. Es wäre interessant zu wissen, über welches Muskelleistungspotenzial die Patienten in der VK-Gruppe vor der Verletzung verfügten. Aufgrund dessen können keine klaren Aussagen über dieses Ergebnis getroffen werden.

Es kann abschließend festgehalten werden:

Mit der P_max kann die Muskelleistung nach VKB-Rekonstruktion erfasst und quantifiziert werden. Für aussagekräftigere Ergebnisse hinsichtlich der maximalen Muskelleistung, wären weitere Untersuchungen mit gleicher Testdurchführung notwendig, da bislang nur wenige Erhebungen mit diesem Testinstrument durchgeführt wurden. Die Erhebung der Muskelleistung für die Knieflexoren wäre ebenfalls in zukünftigen Untersuchungen von Vorteil um mögliche abnorme Muskelkraftverhältnisse feststellen zu können.

Ebenfalls wäre es interessant, die Muskelleistung von Personen nach einer VKB-Rekonstruktion und von Personen nach einer konservativen Therapie zu erfassen und miteinander zu vergleichen.

Der Vertical Jump Test eignet sich zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit nach VKB-Rekonstruktion sehr gut, da er zusätzlich zur Muskelleistung auch eine Beurteilung der koordinativen Fähigkeiten zulässt. Aufgrund der bisherigen unterschiedlichen Testprotokolle, sollte man sich auf ein einheitliches standardisiertes Durchführungsprotokoll beim Vertical Jump Test einigen um mögliche Vergleiche anstellen zu können.

Die Gleichgewichtsfähigkeit kann mit dem Therapie- und Trainingsgerät Posturomed gut erfasst werden. Ebenfalls könnten Vergleiche zwischen den erhobenen Werten am Posturomed und anderen Geräten, welche zusätzlich über eine horizontal schwingende Plattform verfügen,

angestellt werden. Zusätzlich wäre eine weitere Untersuchung am Posturomed unter Einfluss von Störfaktoren von Vorteil, um diesbezüglich zusätzliche Informationen zu erhalten.

Abschließend ist zu sagen, dass mit den ausgewählten Messmethoden die funktionelle Leistungsfähigkeit nach VK-Rekonstruktion beurteilt werden kann.

10 Literaturverzeichnis

Bücher und Dissertationen:

- Bühl, A. (2008). *SPSS 16. Einführung in die moderne Datenanalyse*. (11., aktualisierte Aufl.). München: Pearson Education GmbH.
- Capri, J. (2001). Testverfahren am Bewegungsapparat. In Van den Berg, F (Hrsg.), *Angewandte Physiologie 3. Therapie, Training, Test* (S. 196-238) Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Ducke, I. (2006). *Ergebnisse 4 Jahre nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes: Welche Variablen sind zur Ergebnisbeurteilung relevant?* Inauguraldissertation. Universität Berlin.
- Froböse, I., Nellessen, G. & Wilke, C. (2003). *Training in der Therapie. Grundlagen und Praxis*. (2. Aufl.). München: Urban Fischer Verlag.
- Jakob, R. P. und Stäubli, H.-U. (1990). *Kniegelenk und Kreuzbänder*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag
- Martin, D., Carl, K., Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport. Schriftenreihe des Ausschusses Deutscher Leibeserzieher*. Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarbeitete und erweiterte Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Moeller, H. – C. (1998). *Atrophie der Oberschenkelmuskulatur nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Eine prospektive, EMG- und MRT- gestützte Untersuchung mit Literaturübersicht*. Dissertation, Universität Hamburg.
- Pampus, B. (1992). *Die Muskelleistungsschwelle als Intensitätsparameter im Krafttraining. Theorie und Praxis der Psychomotorik* (Band 12). Kassel:
- Pavic, F. (2008). *Evaluation der Gleichgewichtsfähigkeit mittels des Testsystems Posturomed*. Dissertation, Universität Wien.
- Platzer, W. (2003). *Taschenatlas der Anatomie. Bewegungsapparat*. (8. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Rebel, M. (2004). *Wenn der Kopf in die Knie geht*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac
- Schmidt, A. (2006). *Vergleich von Mittel- und Langzeitergebnissen nach vorderer Kreuzbandplastik mit dem mittleren Patellarsehnedrittel unter besonderer Berücksichtigung von Arthroseentwicklung und Versorgungszeitpunkt*. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J., Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft. Leistung. Training. Wettkampf* (3. Aufl.). Berlin: Sportverlag.

- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, V. (2004). *Prometheus-Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. (2. Aufl.) Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Weineck, J. (2003). *Sportanatomie* (16., Aufl.). Erlangen: Spitta Verlag GmbH & Co KG
- Weineck, J. (2004a). *Sportbiologie* (9., Aufl.). Erlangen: Spitta Verlag GmbH & Co KG.
- Weineck, J. (2004b). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (14., Aufl.). Erlangen: Spitta Verlag GmbH & Co KG.
- Wilcke, A. (2004). *Vordere Kreuzbandläsion*. Darmstadt: Steinkopff Verlag
- Wilk, C. (2000). *Sensomotische Leistungen der unteren Extremitäten – Quantifizierungsmethoden und Training in der Rehabilitation*. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln
- Zech, A. (2004). *Längsschnittliche Veränderungen von Muskelfunktionsverhalten vor dem Hintergrund bewegungstherapeutischer Interventionen nach operativer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes*. Dissertation, Universität Magdeburg.

Zeitschriften:

- Ageberg, E. (2002). Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation – using the anterior cruciate ligament-injured knee as model. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12, 205-212.
- Ageberg, E. & Fridén, T., (2008). Normalized motor function but impaired sensory function after unilateral non-reconstructed ACL injury: patients compared with uninjured controls. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 16, 449-456.
- Ageberg, E. Roos, H.P., Silbernagel, K.G., Thomeé, R., Roos, E.M. (2009). Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surgery Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17, 162-169.
- Anders, J. O., Venbrocks, R.A., Weinberg, M. (2008). Proprioceptive skills and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-tendon-bone graft. *International Orthopaedics*, 32, 627-633.
- Augustsson, J., Thomeé, R., Karlsson, J. (2004). Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery Sports Traumatology, Arthroscopy*, 12, 350-356.
- Barber, S.D.; Noyes, F.R.; Mangine, R.E., McCoskey, J.W.; Hartmann, W. (1990). Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clinical Orthopaedic of Related Research*, 5 (255), 204-214.
- Baumeister, J., Reinecke, K., Weiss, M. (2008). Changed cortical activity after anterior cruciate ligament reconstruction in a joint position paradigm: an EEG study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18, 473-484.
- Brunetti, O., et al. (2006). Improvement of posture stability by vibratory stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14, 1180-1187.
- Bonfim, T.R., Paccola, C.A.J. & Barela, J.A. (2003). Proprioceptive and Behavior Impairments in Individuals with Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84 (8), 1217-1223.
- Camilleri, M.J., Hull, M.L. (2005). Are the maximum shortening velocity and the shape parameter in a Hill-type model of whole muscle related to activation? *Journal of Biomechanics*, 38, 2172-2180.
- Castilho, A.A; Greve, J.M.; Camanho, G.L. (2009). Evaluating the Center of Gravity of Dislocations in Soccer Players with and without Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament using a Balance Platform. *Clinics*, 64 (3), 163-170

- Drechsler, W.I., Cramp, M.C., Scott, O.M. (2006). Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 613-623.
- Eamonn, P., Galvin, L., Harrison, A.J.(2008). Force Production and Reactive Strength Capabilities After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 43 (3), 249-259.
- Eckhardt, R., Scharf, H.P., Puhl, W. (1994). Die Bedeutung der neuromuskulären Koordination für die sportliche Belastbarkeit des Kniegelenkes nach vorderen Kreuzbandverletzungen – Eine Gang- und Laufanalyse mittels EMG auf dem Laufband. *Sportverletzung Sportschaden*, 8, 16-24.
- Ernst, G.P., Saliba, E., Diduch, D.R., Hurwitz, S.R., Ball, D.W. (2000). Lower-Extremity Compensations Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Physical Therapy*, 80 (3), 251-260.
- Fink, C., Hoser, K., Benedetto, P., Hackl, W. und Gabl, M. (1996). Langzeitergebnisse nach konservativer oder operativer Therapie der vorderen Kreuzbandruptur. *Unfallchirurg*, 99, 964-969.
- Fink, C., Hoser, C., Hackl, W., Navarro, R.A., Benedetto, K.P. (2001). Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture – is sports activity a determining variable? *International Journal of sports medicine*, 22 (4), 304-309.
- Fremerey, R.W., Lobenhoffer, P., Zeichen, J.; Skutek, M., Bosch, U.; Tschernke, H. (2000). Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 82 (6), 801-806.
- Fukashiro, S., Hay, D.C., Nagano, A. (2006). Biomechanical behaviour of muscle-tendon complex during dynamic human movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 22 (2), 131-47.
- Gerber, Ch., Hoppeler, H., Robotti, G., Zehnder, R., Jakob, R. (1985). The lower extremity musculature in chronic symptomatic instability of the anterior cruciate ligament. *Journal of Bone Joint Surgery*. 67A, 1034-1042.
- Gerber, J. P., Marcus, R.L., Dibble, L.E., Greis, P.E., Burks, R.T., LaStayo, P.C. (2009). Effects of Early Progressive Eccentric Exercise on Muscle Size and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. A 1-Year Follow-up Study of a Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*, 89 (1). 51-59.
- Gremion, G., Siegrist, O., Leyvraz, P.F. (2002). Konservative Behandlung bei einem vorderen Kreuzbandriss – Ergebnisse. *Orthetik*, 1, 99-101.
- Heijne, A. & Werner, S. (2007). Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. *Knee Surgery Sports, Traumatology, Arthroscopy*, 15, 402-414.

- Henriksson, M., Ledin, T., Good, L. (2001). Postural Control after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Functional Rehabilitation. *The American Journal of Sports Medicine*, 29 (3), 359-366.
- Hinterwimmer, S., Engelschalk, M., Sauerland, S. (2003). Operative vs. Konservativer Therapie der vorderen Kreuzbandruptur: eine systematische Literaturübersicht. *Unfallchirurg*, 106 (5), 374-379.
- Hoffmann, M., Schrader, J., Koceja, D. (1999). An Investigation of Postural Control in Postoperative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients. *Journal of Athletic Training*, 34 (2), 130-136.
- Hooper, D.M., Goh, S.C., Wentworth, A.; Chan, D.Y.K; Chau, J.H.W; Wootton, G.J., Strauss, G.R., Boyle, J.W. (2002). Test-retest reliability of knee rating scales and functional hop tests one year following anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy in Sports*, 3, 10-18.
- Hopper, D.M., Morrissey, M.C., Drechsler, W., Morrissey, D., King, J. (2001). Open and Closed Kinetic Chain Exercises in the Early Period after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Improvements in Level Walking, Stair Ascent, and Stair Descent. *The American Journal of Sports Medicine*, 29 (2), 167-174.
- Hooper, D.M., Strauss, G.R., Boyle, J.J., Bell, J. (2008). Functional Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Longitudinal Perspective. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89, 1535-1541.
- Impellizzeri, F.M., Rampinini, F., Maffiuletti, N., Marcora, S.M. (2007). A Vertical Jump Force Test for Assessing Bilateral Strength Asymmetry in Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39 (11), 2044-2050.
- Iwasa, J., Ochi, M., Adachi, N., Tobita, M., Katsube, K., Uchio, Y. (2000). Proprioceptive Improvement in Knee with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Clinical Orthopaedics and related Research*, 381, 165-176.
- Järvelä, T., Kannus, P., Latvala, K., Järvinen, M. (2002). Simple measurements in assessing muscle performance after an ACL reconstruction. *International Journal of Sports Medicine*, 23 (3), 196-201.
- Katayama, M., Higuchi, H., Kimura, M., Kobayaashi, A., Hatayama, K., Terauchi, M., Takagishi, K. (2004). Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. *International Orthopaedics*, 28, 278-281.
- Karanikas, K., Arampatzis, A., Brüggemann, G.P. (2005). Conservative versus operative treatment after ACL-rupture: influence on the muscle strength capability of the lower extremity. *Sportverletzung Sportschaden*, 19 (1), 15-21.

- Keays, S. L., Bullock-Saxton, J.E., Keays, A.C., Newcome., A., Bullock, M.I. (2007) A 6-Year Follow-up of the Effect of Graft Bite on Strength, Stability, Range of Motion, Function, and Joint Degeneration After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 35 (5), 729-739.
- Lautamies, R., Harilainen, A., Kettunen, J., Sandelin, J., Kujala, U.M., (2008). Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 16, 1009-1016.
- Lephart, S.M.; Kocher, M.S.; Fu, F.M; Borsa, P.A.; Harner, C.D. (1992). Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sports Rehabilitation*, 1, S. 103-110.
- Lichtmark, G.A., Wilson, A.M. (2005). A modified Hill muscle model that predicts muscle power output and efficiency during sinusoidal length changes. *The Journal of Experimental Biology*, 208, 2831-2843.
- Lübken, F., Spengler, Ch., Claes, C., Melynk, M, Friemert, B. (2008). Das neuromuskuläre Defizit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 58 (1), 17-22.
- Lüring, C., Bähis, H., Perlick, L., Tingart, M., Grifka, J. (2004). Therapie der vorderen Kreuzbandruptur des Kniegelenks. Ergebnisse einer Umfrage an unfallchirurgischen und orthopädischen Kliniken in Deutschland. *Sportverletzung Sportschaden*, 18, 119-124.
- Mattacola, C.G., Perrin, D.H., Gansneder, B.M., Gieck, J.H., Saliba, E.N., McCue, F.C. (2002). Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 37 (3), 262-268.
- Mikkelsen, C., Werner, S., Eriksson, E. (2000). Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 8, 337-342
- Mittelmeier, T. & Rosenbaum, D. (2005). Klinische Ganganalyse. *Unfallchirurg*, 108 (10), 614-629.
- Mir, S.M.; Hadian, M-R.; Talebian, S.,;Nasseri, N. (2008). Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 300-303
- Moezy, A., Olyaei, G., Hadian, M., Razi, M., Faghihzadeh, S. (2007). A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 373-379.

- Moisala, A.-S.; Järvelä, T.; Kannus, P. ; Järvinen, M. (2007). Muscle Strength Evaluations after ACL Reconstruction. *Internationales Journal of Sports & Medicine*, 28, 868-872.
- Mosksnes, H. & Risberg, M.A. (2008). Performance-based functional evaluation of non-operative and operative treatment after anterior cruciate ligament injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3, 1-11.
- Muaidi, Q.I., Nicholson, L.L. Refshauge, K.M., Herbert, R.D., Maher CG. (2007). Prognosis of conservatively managed anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Sports Medicine*, 37 (8), 703-716.
- Neeter, C. Et al. (2006). Development of strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 14, 571-580.
- Nicholas, S.J., D`Amato, J., Mullaney, M.J., Tyler, T.F., Kolstad, K., McHugh, M.P. (2004). A Prospectively Randomized Double-Blind Study on the Effect of Initial Graft Tension of Knee Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 32 (8), 1881-1886.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., Marcora, S.M. (2007). A Vertical Jump Force Test for Assessing Bilateral Strength Asymmetry in Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 6, 2044-2050.
- Ozenci M.A. Inanmaz, E., Ozcanli, H., Soyuncu, Y., Samanci, N., Dagseven, T., Balci, N., Gur, S. (2007). Proprioceptive comparison of allograft und autograft anterior cruciate ligament reconstructions. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 15, 1432-1437.
- Petrella, J.K., Miller, L.S., Cress, M.E. (2004). Leg extensor power, cognition, and functional performance in independent and marginally depent older adults. *Age and Ageing*, 33 (4), 342-348.
- Petschnig, R. et al (1998). The Relationship Between Isokinetic Quadriceps Strength Test and Hop Tests for Distance and One-Legged Vertical Jump Test Following Anterior Cruciate Liage-ment Reconstruction. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 28 (2), 23-31.
- Pinczewski, L.A., Deehan, D.J., Salmon, L.J., Russell, V.J., Clingeleffer, A. (2002). A Five-Year Comparison of Patellar Tendon versus Four-Strand Hamstring Tendon Autograft for Arthroscopic Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *American Journal of Sports Medicine*, 30 (4), 523-535.
- Reed-Jones, R.J. & Lori A.V. (2007). Proprioceptive deficits of the lower limb following anterior cruciate ligament deficiency affect whole body steering control. *Experimental Brain Research*, 182, 249-260.

- Reid, A., Birmingham, T.B., Stratford, P.W., Alcock, G.K., Giffin, J.R. (2007). Hop Testing Provides a Reliable and Valid Outcome Measure During Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Physical Therapy* , 87 (3), 337-349.
- Reider, B., Arcand, M.A. , Lee, H., Diehl, M. D., Mroczek, K., Stroud Ch. Palm, M. Gilbertson, J. Staszak, P. (2003). Proprioception of the Knee Before and After Anterior Cruciate Ligament REconstruction. *The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 19 (1), 2-12.
- Renström, P. & Kelm, J. (2007). Vorderes Kreuzband – Operation und Rehabilitation. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (11), 392-394.
- Risberg, M.A., Beynnon, B.D., Peura, G.D., Uh, B.S. (1999). Proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction with and without bracing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 7, 303-309. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 7, 303-309.
- Roberts, D., Ageberg, E., Andersson, G., Fridén, T. (2007). Clinical measurments of proprioception, muscle strength and laxity in relation to function in the ACL-injured knee. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 15, 9-16.
- Rudolph, K.S., Axe, M.J., Snyder-Mackler, L. (2000). Dynamic stability after ACL injury: who can hop? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 8, 262-269.
- Sajovic, M., Vengust, V., Komadina, R., Tavcar, R., Skaza, K. (2006). A Prospective, Radomized Comparison of Semitendinosus and Gracilis Tendon Versus Patellar Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Five-Year Follow-Up. *The American Journal of Sports Medicine*, 34 (12), 1933-1940.
- Shelbourne K. D. & Tinker Gray, M. A. (2009). Minimum 10-Years Results After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. How the Loss of Normal Knee Motion Compounds Other Factors Related to the Development of Osteoarthritis After Surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, 37 (3), 471-480.
- Urbach, D., Nebelung, W., Becker, R., Awiszus, F. (2001). Effects of reconstruction oft the anterior cruciate ligament on voluntary activation of quadriceps femoris. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 83-B, 1104-1110.
- Webster, K. E., Gonzalez-Adrio, R., Feller, J.A. (2004). Dynamic joint loading following hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery Sports Traumatology, Arthroscopy*, 12, 15-21.
- Wikstrom, E.A., Tillmann, M.D., Schneker, S.M., Borsa, P.A. (2008). Jump landing direction influences dynamic postural stability scores. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11, 106-111

- Wilk, K.E., Romaniello, W.T., Soscia, S.M., Arriog, C.A., Andrews, J.R. (1994). The Relationship Between Subjective Knee Scores, Isokinetic Testing, and Functional Testing in the ACL-Reconstructed Knee. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 20 (8), 60-73.
- Wojts, E.M. & Huston, L.J. (2000). Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. *American Journal of Sports Medicine*, 28 (3), 336-344.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kniegelenk (Zugriff am 10.03.2009 unter http://www.gelenkforum.de/typo3temp/pics/2780e91f15.jpg).....	13
Abbildung 2: Kreuzbänder (Zugriff am 22.05.2009 unter http://www.sport-trauma.com/.../Knie/kreuzband.htm)	15
Abbildung 3: Beinpresse (Wien, Kraftlabor)	42
Abbildung 4: Posturomed (Wien, Kraftlabor).....	44
Abbildung 5: Dominantes Bein und verletzte Seite der VK-Gruppe und dominantes Bein der Kontrollgruppe	50
Abbildung 6: Streuung der VK-Gruppe bezüglich des Operationsdatums	52
Abbildung 7: Aufteilung der VK-Gruppe nach Operationsmethode.....	53
Abbildung 8: Vergleich der Muskelleistungswerte des operierten und nicht operierten Beins in der VK-Gruppe	56
Abbildung 9: Vergleich der Muskelleistungswerte des dominanten und nicht dominanten Beines in der Kontrollgruppe	57
Abbildung 10: Vergleich der Muskelleistung zwischen operierten Bein (VK-Gruppe) und nicht dominanten Bein (Kontrollgruppe).....	59
Abbildung 11: Vergleich der Muskelleistung zwischen nicht operierten Bein (VK-Gruppe) und dominanten Bein (Kontrollgruppe).....	60
Abbildung 12: Einteilung des Beinsymmetrieindex-Score für die max. Muskelleistung	62
Abbildung 13: Score-Einteilung der Frequenz.....	68
Abbildung 14: Score-Einteilung der Amplitude	68
Abbildung 15: Score-Einteilung des Koordinationsfaktors.....	69
Abbildung 16: Beinsymmetrie-Scores bei der Kontaktzeit.....	73
Abbildung 17: Beinsymmetrie-Score bei der Sprunghöhe.....	74
Abbildung 18: Beinsymmetrie-Score beim Schnellkraftindex.....	75

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beinsymmetrieindex-Score für die Muskelleistung	43
Tabelle 2: Beinsymmetrieindex-Score für den Vertical Jump	46
Tabelle 3: Allgemeine Angaben zur VK-Gruppe und Kontrollgruppe	48
Tabelle 4: Therapiedauer.....	51
Tabelle 5: Seitenvergleich der Ergebnisse aus den an der Beinpresse durchgeführten Tests der P_max	55
Tabelle 6: Gruppenvergleich der Ergebnisse aus den an der Beinpresse durchgeführten Tests der P_max	58
Tabelle 7: Beinsymmetrieindex der VK-Gruppe und Kontrollgruppe	60
Tabelle 8: Beinsymmetrieindex-Score. Vergleich der Muskelleistung zwischen VK-Gruppe und Kontrollgruppe	61
Tabelle 9: Seitenvergleich innerhalb der Gruppen für die erhobenen Werte am Posturomed	63
Tabelle 10: Frequenz, Amplitude und Koordinationsfaktor (KF) im Gruppenvergleich	64
Tabelle 11: Beinsymmetrieindex am Posturomed.....	65
Tabelle 12: Score-Einteilung der Ergebnisse des Gleichgewichtstests	66
Tabelle 13: Streuung der Probanden beim Gleichgewichtstest	67
Tabelle 14: Seitenvergleich der Ergebnisse aus dem Vertical Jump Test	70
Tabelle 15: Gruppenvergleich der Ergebnisse aus dem Vertical Jump Test	71
Tabelle 16: Streuung des Beinsymmetrieindex beim Vertical Jump Test	72
Tabelle 17: Beinsymmetrie-Score für den Vertical Jump Test	73

13 Anhang

13.1 Fragebogen VK-Gruppe

1. Persönliche Daten

Name, Vorname			
Probanden-Nr.		Gewicht (kg)	
Geburtsdatum		Größe (m)	
Geschlecht			

2. Präoperative Patientendaten und Angaben zur Verletzung

Sportaktivität vor der Verletzung (Sportarten)	1				
	2				
	3				
Durchschnittliche Anzahl der TE/Woche (je o.a. Sportart, vor der Verletzung)	1				
	2				
	3				
Durchschnittliche Trainingsstunden / Woche vor der Verletzung (insgesamt)	Std.				
Dominante Seite		Rechts		Links	

Verletzungsort	Sport		Arbeit		Anderes	
Verletzungsdatum						
Unfallhergang (Kurzbeschreibung)						

3. Angaben zur Operation

OP-Datum					OP-Technik		
Op. Seite	Rechts		Linkes		Klinik		
Welchen Grund gab es für die Durchführung der OP? (Schmerzen, Unsicherheit/Instabilität, Empfehlung des Arztes, Berufliche o. Sportliche Aktivität)							
Wurden Sie hinsichtlich der OP-Technik beraten?					Ja		Nein
Wenn ja, durch wen?							

4. Anamnese seit VKB-Plasik (und nach Abschluss der Rehabilitation)

Haben Sie nach Abschluss der Rehabilitation ein muskulä- res Aufbautraining fortgesetzt?	Ja		Nein	
Wenn ja, wie lange (Monate)?				
Wenn ja, wo (Reha-Zentrum, Fitnessstudio, anderes)?				
Sind erneute Verletzungen am operierten Knie eingetreten?	Ja		Nein	
Wenn ja, wann?				

Wenn ja, wie (Sportunfall, Sturz,)?				
Wenn ja, welcher Art Verletzung?				
Wurden erneute Operationen/Arthroskopien am betroffenen Kniegelenk notwendig?	Ja		Nein	
Wenn ja, wann?				
Wenn ja, Grund der OP?				
Wurden erneute therapeutische Behandlungen (Krankengymnastik,) durchgeführt?	Ja		Nein	
Wenn ja, wann?				
Wenn ja, Grund der Behandlung?				
Subjektiv schmerz- und beschwerdefreies Gehen möglich	Ja		Nein	
Wenn nein, wie lange können Sie beschwerdefrei Gehen?	Bis 10 min		10-120 min	
Wenn nein, wie stark sind die Beschwerden auf einer Skala von 1 bis 10 (1...keine Schmerzen, 10 ... stärkste Schmerzen)				
Subjektiv schmerz- und beschwerdefreies Laufen/Joggen möglich?	Ja		Nein	
Wenn nein, wie lange können Sie beschwerdefrei Laufen?				
Wenn nein, wie stark sind die Beschwerden auf einer Skala von 1 bis 10 (1... keine Schmerzen, 10 ... stärkste Schmerzen)				
Wiederaufnahme des Trainings in der gleichen Sportart wie vor der Verletzung	Ja		Nein	
Wenn ja, wann (Monate nach OP)?				
Wenn nein, warum nicht?				
Wiederaufnahme des Trainings in der gleichen Intensität (Trainingshäufigkeit, Wettkampfteilnahme) wie vor der Verletzung?				
Wenn ja, seit wann (Monate nach OP)?				
Wenn nein, warum nicht?				
Wechsel auf eine andere Sportart (mit regelmäßigem Training)	Ja		Nein	
Wenn ja, welche?				
Wenn ja, warum?				

5. Derzeitige Trainingsanamnese

Regelmäßige Sportaktivität nach der VKB-Plastik (Sportarten)	1	
	2	
	3	
Gelegentliche Sportaktivität nach der VKB-Plastik (Sportart/en)	4	
	5	
	6	
Durchschnittliche Anzahl der TE/Woche (je o.g. Sportart)	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
Durchschnittliche Trainingsstunden/Woche aktuell (insgesamt)	Std.	

6. Orthopädietechnische Hilfsmittel

Nutzung kniegelenks-stabilisierender Hilfsmittel beim Sport? (Bandagen, Orthesen, Tape)	Ja, immer	
	Ja gelegentlich	
	Nein	
Wenn ja, welcher Art?		
Wenn ja, seit wann?		
Wenn ja, warum? (..wegen Instabilität, für subj. Sicherheit, wg. Sportartenrisiko, Empfehlung Arzt/Therapeut, Freund...)		
Sonstige Anmerkungen zur subjektiven Kniezufriedenheit, Sportfähigkeit, Folgebehandlungen seit Abschluss der Rehabilitation		

Datum & Ort:		Unterschrift:	
--------------	--	---------------	--

13.2 Fragbogen Kontrollgruppe

1. Persönliche Daten

Name, Vorname			
Probanden-Nr.		Gewicht (kg)	
Geburtsdatum		Größe (m)	
Geschlecht			

Dominante Seite		Rechts		Links	
-----------------	--	--------	--	-------	--

2. Verletzungsanamnese:

Hatten oder haben Sie Verletzungen/Schmerzen in den unteren Extremitäten?		Ja		Nein	
Wenn ja? Art der Verletzung?					

3. Trainingsanamnese

Regelmäßige Sportaktivität (Sportart/en)	1	
	2	
	3	
Gelegentliche Sportaktivität (Sportart/en)	4	
	5	
	6	
Durchschnittliche Anzahl der TE/Woche (je o.g. Sportart)	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
Durchschnittliche Trainingsstunden/Woche aktuell (insgesamt)	Std.	

Datum & Ort:		Unterschrift:	
--------------	--	---------------	--

13.3 Abstract – Deutsche Version

Zur Beurteilung des Behandlungserfolges nach einer Vorderen Kreuzbandrekonstruktion wird die Wiederherstellung der Belastungs- und Sportfähigkeit herangezogen. Die Diskussion über die geeignete Messmethode, die zur Beurteilung verwendet werden kann, ist noch nicht abgeschlossen.

Zu diesem Zweck wurde eine neuartige Serie von Messmethoden zur Bestimmung der Parameter Muskelkraft, Muskelleistung und Stabilität des Kniegelenks ausgewählt. Die Testbatterie beinhaltet die Ermittlung der mechanischen Muskelleistung für die untere Extremität, Vertical Jump Test und einen Stabilisationstest.

Mit den Daten von 29 männliche Patienten nach einer VKB-Rekonstruktion (3 Jahre postoperativ) und einer Kontrollgruppe, bestehend aus 16 männlichen Probanden, sollte diese Testbatterie beurteilt werden.

Bei der Bestimmung der maximalen Muskelleistung an der Beinpresse konnte kein Unterschied zwischen dem operierten und dem gesunden Bein festgestellt werden, jedoch ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe. 73 % der VK-Gruppe weisen eine normale Muskelfunktion auf.

Keine Defizite wurden hinsichtlich der statischen Stabilität am Posturomed zwischen operiertem und gesundem Bein sowie im Vergleich zu Kontrollgruppe festgestellt.

Beim Vertical Jump Test weisen 48 % der VK-Gruppe eine anormale Beinsymmetrie bei der Sprunghöhe und 55 % beim Schnellkraftindex auf. Die Patienten unterscheiden sich ebenfalls signifikant von der Kontrollgruppe bei den Parametern Sprunghöhe und Schnellkraftindex.

Es konnte ein sehr schwacher Zusammenhang zwischen BSI der Muskelleistung und des BSI des Schnellkraftindex festgestellt werden.

Abschließend ist zu sagen, dass mit den ausgewählten Messmethoden die funktionelle Leistungsfähigkeit nach VK-Rekonstruktion beurteilt werden kann.

13.4 Abstract – Englische Version

Numerous physiological tests have been proposed to determine the treatment success after anterior cruciate ligament reconstruction. Regaining the ability to participate in sports and physical activity is considered to be a strong indicator of successful recovery. Therefore, in the present study a series of tests to determine muscular performance and balance was chosen to evaluate the outcome of post-operative rehabilitation. Specifically, knee extensor muscle power, single leg jumping ability and postural stability on an unstable surface were assessed in 29 male patients after anterior cruciate ligament reconstruction (three years postoperatively) and a control group consisting of 16 age-matched male subjects.

With respect to muscle power no significant differences could be found between the operated and the healthy leg. However, compared to the control group, muscular power was found to be significantly smaller. Balance abilities were found to be symmetrical between legs and not significantly different from the control group. In vertical jump tests, limb symmetry was found to be abnormal in approximately 50 % of patients. Likewise, overall jumping performance was significantly diminished following anterior cruciate ligament reconstruction. With respect to limb symmetry, poor correlations could be found between the values of muscle power and explosive jumping abilities.

The results of this survey suggest that three years after anterior cruciate ligament reconstruction, similar values of muscle power and coordinative abilities can be found in the operated and healthy leg. Yet, the general level of performance in explosive tasks still seems to be diminished. A priori poorer fitness, reduced physical activity after surgery and neural cross-over-effects may be made responsible for this phenomenon.

To conclude, the test series chosen allows for reliable measurements of functional performance and may provide valuable information on the status of recovery following anterior cruciate ligament reconstruction.

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name	Regina Schnabl
Geburtstag, - ort	16. März 1979, Oberpullendorf
Familienstand	ledig
Staatsbürgerschaft	Österreich
Religion	römisch-katholisch

Schul Ausbildung

1985-1989	Volksschule, Piringsdorf
1989-1993	Hauptschule, Steinberg/Dörfl
1993-1995	Hauswirtschaftsschule, Steinberg/Dörfl
2000-2004	Berufsreifeprüfung, Wien
2005-2007	Bakkalaureat Gesundheitssport
2007	Magisterstudium Sportwissenschaften

Berufspraktikum

Reha Klinik Maria Theresia, Bad Radkersburg
Reha Klinik Judendorf-Strassenengel
Jugend am Werk, Langlaufen mit Menschen mit Handicap

Zusatzqualifikationen

2005	Gesund- und Vitaltrainer
2005	Klassische Massage
2006	Sportmassage
2007	Fußreflexmassage
2009	Tuina - Massage