

Literaturrecherche
für die
OMT-Abschlussarbeit

**Begünstigt ein früh begonnenes Training des M. quadriceps in der
offenen Kette nach Operation des vorderen Kreuzbandes eine
anterior-posteriore Instabilität?**

Vorgelegt von:
Nadine Helterhoff

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Vorgehensweise	4
3. Darstellung der einzelnen Studien	5
3.1. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. (Shaw, T. et al, 2005).....	5
3.2. Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post- operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. (Perry, M. et al, 2005).....	10
3.3. 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. (Mikkelsen, C. et al, 2000).....	16
3.4. Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. (Morrissey, M. et al, 2000).....	21
3.5. Abstracts.....	25
3.5.1. Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. (Heijne, A.; Werner, S., 2007).....	25
3.5.2. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. (Isberg, J. et al, 2006).....	27
3.5.3. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. (Bynum, Eb. et al, 1995).....	28
4. Diskussion	29
5. Literatur	33

1. Einleitung

In der Rehabilitation nach einer OP des vorderen Kreuzbandes tritt, nach meiner Beobachtung, immer wieder die Frage auf, wie, ab wann und mit welcher Intensität oder Methode darf der M. quadriceps trainiert werden? Viele Patienten zeigen bereits präoperativ eine Atrophie des M. quadriceps oder entwickeln diese in der ersten postoperativen Phase. In den, von den Ärzten ausgehändigten Behandlungsschemata, treten die unterschiedlichsten Vorgehensweisen für die Rehabilitation auf.

Selbst eine isometrische Anspannung des M. quadriceps in den ersten 2 Wochen postoperativ wird häufig abgelehnt und ein Training in der offenen Kette frühestens ab der 8. bis 10. Woche angewiesen. Mit der Begründung, dass durch eine isolierte Aktivität des M. quadriceps der Stress auf das operierte vordere Kreuzband zu groß wäre und dass die ventrale Translation dadurch verstärkt werden würde. Dies würde im weiteren Verlauf zu einer vermehrten ventralen Instabilität und damit Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes führen.

Mich interessiert an dieser Fragestellung vor allem die Auswirkung von einem Training in der offenen Kette auf die Stabilität des vorderen Kreuzbandes. Bei einem Training in der offenen Kette treten noch viele andere Aspekte, die eventuell gegen ein Training in der offenen Kette sprechen würden, wie z.B. Schmerzen im Bereich der Patellasehne, Funktionalität usw. auf, die ich in meiner Literaturrecherche aber nicht als Schwerpunkt angesehen habe. Für mich stellt sich die Frage, ob ein früheres Training des M. quadriceps wirklich zu einer vermehrten anteriore-posterioren Instabilität führt, oder ob man eventuell durch ein Training in der offenen Kette die Rehabilitation positiv beeinflussen könnte?

Es gibt seit vielen Jahren Studien, die sich mit dieser oder einer ähnlichen Fragestellung beschäftigen, aber trotzdem gibt es keine einheitliche Meinung zu diesem Thema, sodass mich vor

allem der aktuelle Stand der Forschung interessiert. Interessant war, dass 1995 ein Umdenken in Richtung Training in der geschlossenen Kette stattgefunden hat, welches durch die Studie von Bynum (Bynum, Eb. et al, 1995) eingeleitet wurde.

2. Vorgehensweise

Für diese Arbeit habe ich in PEDro und Pubmed recherchiert. Einschlusskriterien waren die zeitliche Begrenzung auf die letzten 10 Jahre und das Studiendesign musste ein RCT sein. Ich habe zunächst ca. 15 Studien gefunden, die sich teilweise mit meiner Fragestellung beschäftigten. Vier dieser Studien, die für mich am meisten Informationen lieferten, habe ich im Volltext bearbeitet. Bei weiteren drei Studien, habe ich mich auf die verfügbaren Abstracts beschränkt. Nicht berücksichtigt habe ich die Studien, die von der Fragestellung zunächst interessant erschienen, sich aber bei der näheren Durchsicht herausstellte, dass der Aspekt der anterior-posterioren Instabilität nur eine untergeordnete Rolle spielte. Zwei der ausgewählten Studien wurden in PEDro bereits bewertet. Die Studie von Shaw: Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. (Shaw, T. et al, 2005) wurde auf der PEDroskala mit 7 von 10 Punkten bewertet. Die Studie von Perry: Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8-to-14-week post-operative period after ACL reconstruction. (Perry, M. et al, 2005) wurde auf der PEDroskala mit 5 von 10 Punkten bewertet.

Im folgenden werde ich die verschiedenen Studien näher darstellen. Die Studien beschäftigen sich alle mit dem Vergleich, ob ein Training in der offenen Kette Vorteile gegenüber einem Training in der geschlossenen Kette bietet. Es wurden unterschiedliche Trainingszeiträume berücksichtigt, von einem Training, welches direkt postoperativ begann und eine weitere Untersuchung, die sich auf den Zeitraum zwischen der 8. und 14. Woche bezog. Die Ergebnisse wurden zum Teil bis 19 Monate postoperativ verfolgt und Retests durchgeführt.

3. Darstellung der einzelnen Studien

3.1. *Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. (Shaw, T. et al, 2005)*

Die Studie von Shaw beschäftigt sich mit der Fragestellung, ob ein spezifisches Training des M. quadriceps in der akuten postoperativen Phase ein anderes Ergebnis im Verlauf von 6 Monaten erreicht, als der Verzicht auf ein solches Rehabilitationsprogramm.

Die Teilnehmer dieser Studie mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen. Sie mussten älter als 18 Jahre sein, eine einseitige, arthroskopisch unterstützte Plastik des vorderen Kreuzbandes, entweder als Patellasehnenplastik oder als Semitendinosusplastik erhalten haben. Außerdem mussten sie sich mit ihrer Teilnahme an der Studie einverstanden erklären.

Ausgeschlossen wurden Personen, die bereits eine Operation am betroffenen Knie, ausgenommen einer Arthroskopie, hatten, oder die bereits eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes am betroffenen oder nicht betroffenen Knie erhalten haben. Weiterhin nicht zugelassen wurden Personen, die eine anhaltende Verletzung am contralateralen Knie zeigten und Personen, bei denen eine Begleitverletzung der Ligamente collaterale vorlag. Zuletzt wurden noch Personen ausgeschlossen, denen es nicht möglich gewesen wäre zu Nachuntersuchungen und Retests zu erscheinen.

Eine Gesamtheit von 103 Personen erfüllte die Einschlusskriterien und erklärte sich mit ihrer Teilnahme einverstanden. 91 Teilnehmer waren bis zur letzten Untersuchung, nach 6 Monaten, verfügbar.

Die Teilnehmer wurden dann der jeweiligen Behandlungsgruppe zufällig zugeordnet (Quadricepsübungsgruppe n=48, Vergleichsgruppe n=55). Die Behandlungsgruppen wiesen keine statistischen signifikanten Unterschiede bezüglich Alter, Größe, Gewicht und Dauer des stationären Aufenthaltes auf. Zwischen den Gruppen bestand ebenfalls kein Unterschied bezüglich des

Geschlechtes, der Rekonstruktionsart, rechts oder links betroffen oder der Zeitspanne zwischen Verletzung und Operation. Alle Teilnehmer beendeten die Studie in der Gruppe, der sie anfänglich zugeordnet wurden.

Der behandelnde Physiotherapeut leitete das Training des Teilnehmers an, war aber nicht an den Messungen und Tests beteiligt.

Der Hauptuntersucher war über den kompletten Untersuchungszeitraum bezüglich der Gruppenzugehörigkeit der Teilnehmer geblindet.

Die Behandlung der Teilnehmer unterschied sich in zwei Punkten.

No quadriceps exercise group	Quadriceps exercise group
1. Foot and ankle exercises	1. Foot and ankle exercises
2. Active assisted knee flexion	2. Active assisted knee flexion
3. Calf stretches	3. Calf stretches
4. Passive knee extension	4. Passive knee extension
5. Standing posture	5. Standing posture
6. Gait education	6. Gait education
7. Passive knee extension with weight	7. Passive knee extension with weight
	8. Static quadriceps contraction
	9. Straight leg raises

Exercises prescribed to each treatment group. (Shaw, T. et al, 2005)

Die Quadricepsübungsgruppe führte täglich in den ersten zwei postoperativen Wochen spezifische Übungen für den M. quadriceps durch und zwar die statische Kontraktion des M. quadriceps und straight leg raises (10 Wiederholungen / 3x täglich). Die Teilnehmer wurden von ihrem stationären Physiotherapeuten angewiesen, diese Übungen während ihres stationären Aufenthaltes durchzuführen, welcher zwischen 1 bis 2 Wochen dauerte. Nach dem stationären Aufenthalt begannen die Teilnehmer beider Gruppen ein Standardrehabilitationsprogramm.

Die Compliance der Teilnehmer wurde anhand des Sports Injury Rehabilitation Adherence Score (SIRAS) und einer wöchentlichen Selbstauskunft dokumentiert. Hier gab es keinen Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen.

Für die Messungen wurde eine Kombination aus objektiven und subjektiven (Patientenbericht) Methoden gewählt. Während der gesamten Studie führte der Hauptuntersucher die Messungen durch. Ausschließlich den isokinetischen Test, der nach 6 Monaten von erfahrenen Physiotherapeuten im Rahmen des postoperativen Rehabilitationsprogramms durchgeführt wurde.

Gemessen wurde die aktive Knieflexion und -extension ROM (in Grad), der Unterschied zwischen aktiver und passiver Knieextension, der Umfang, Ruheschmerz (VAS), der Schmerz während der Übungen (VAS), Einbeinsprung ausgewertet über analysis of variance (ANOVA), Dreisprung (ANOVA), Knieinstabilität anterior/posterior gemessen mit dem KT-1000 mit zunächst 15 pound Kraft und anschließend 20 pound. Weitere Dokumentation durch die Anwendung des Cincinnati Knee Rating System (CKRS). Sieben verschiedene „rating scores“ wurden in dem Patientenfragebogen verwendet, bezüglich Symptome, Patientenzufriedenheit, sportliche Aktivität, ADL-Funktion, Sportfunktion, Probleme beim Sport, Arbeitsfähigkeit.

Zuletzt wurde die isokinetische Messung durchgeführt, konzentrische und exzentrische Kraft des M. quadriceps (60°/sek.) wurde gemessen.

Die Messungen wurden zu fünf verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen. Am ersten Tag postoperativ wurde die Beweglichkeit, der Umfang und der Schmerz in Ruhe und während der Übung gemessen. Die gleichen Messungen erfolgten nach 2 Wochen. Bei den Messungen nach einem Monat kam erstmals das Cincinnati Knee Rating System hinzu. Nach drei Monaten erfolgte die nächste Datenerhebung mit den oben angeführten Parametern. Bei den letzten Messungen nach sechs Monaten kamen noch die Sprungtests und die isokinetische Messung hinzu.

Die statistische Signifikanz für alle Messungen wurde auf einen Wert von $p < 0.05$ festgelegt.

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen wurden nach einem Monat in der Messung der aktiven Knieflexion gemessen (Quadricepsübungsgruppe: 128.2°, SD 12.7 zur Kontrollgruppe: 122.3°, SD 14.5; $p = 0.05$), ebenfalls bezüglich der aktiven Knieextension (Quadricepsübungsgruppe: -12.1°, SD 4.8 zur Kontrollgruppe: -14.8°, SD 6.4; $p = 0.05$). Kein

signifikanter Unterschied während aller Messungen wurde beim Unterschied zwischen aktiver und passiver Knieextension dokumentiert.

Bei der Umfangsmessung traten Unterschiede zwischen den zwei verschiedenen Operationsarten auf. Während es bei den Teilnehmern mit einer Semitendinosusplastik keinen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen gab, hatte bei den Teilnehmern mit einer Patellasehnenplastik die Kontrollgruppe einen größeren Umfang als die Quadricepsübungsgruppe (Kontrollgruppe: 103.7 cm, SD 1.6 cm zu Quadricepsübungsgruppe 101.5 cm, SD 1.5 cm; $p < 0.01$).

Bei der ersten Messung des Schmerzes bei der Übung gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen, wobei die Quadricepsübungsgruppe einen höheren Wert auf der visuellen Analogskala aufwies (Quadricepsübungsgruppe: 6.9, SD 2.0 zur Kontrollgruppe: 6, SD 2.1; $p = 0.02$). Bei allen weiteren Messungen den Schmerz betreffend, traten keine signifikanten Unterschiede auf.

Ein weiterer signifikanter Unterschied trat nach 6 Monaten postoperativ beim CKRS im Bereich Symptome und Probleme beim Sport auf. (Quadricepsübungsgruppe Symptome Score: 7.5, SD: 1.2 zur Kontrollgruppe: 6.8, SD: 1.1; $p = 0.005$; Quadricepsübungsgruppe Problems with Sport scores: 66.4, SD: 14.4 zur Kontrollgruppe: 61.6, SD: 15.2; $p = 0.05$)

Zur näheren Betrachtung wurde der CKRS Symptom Score durch den Mann-Whitney U Test in die einzelnen Parameter aufgeteilt in die Einzelparameter Schmerz, Schwellung, partial giving way und full giving way. Die Quadricepsübungsgruppe wies bei dieser Untersuchung signifikant höhere Wert im Bereich Schmerz (Quadricepsübungsgruppe: 7.1, SD: 1.5 zur Kontrollgruppe: 6.5, SD: 1.4; $p = 0.03$); partial giving way (Quadricepsübungsgruppe: 7.9, SD: 1.2 zur Kontrollgruppe: 7.1, SD: 1.7; $p = 0.03$) und full giving way (Quadricepsübungsgruppe: 8.0, SD: 1.3 zur Kontrollgruppe: 7.4, SD: 1.2; $p = 0.03$). Alle anderen CKRS scores wiesen über den gesamten Dokumentationszeitraum keine signifikanten Unterschiede auf.

Bei der Messung der anterior-posterioren Kniestabilität gab es nach 6 Monaten eine signifikant größere Anzahl von Teilnehmern in der Kontrollgruppe, die eine Instabilität zeigten. In der

Messung nach drei Monaten war kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen aufgetreten.

Sowohl bei den Sprungtests, als auch bei der isokinetischen Messung traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen auf. Ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bezüglich der isokinetischen Kraft des M. quadriceps gab es zwischen den beiden verschiedenen Behandlungsgruppen.

Zusammenfassendes Ergebnis dieser Studie ist, dass eine Durchführung von spezifischen Quadricepsübungen in den zwei ersten postoperativen Wochen zu keinem besseren Ergebnis nach 6 Monaten bezüglich Kraft und Funktion führt. Wenn man aber nicht nur die Wiedererlangung der Kraft in den Vordergrund stellt, stellt man fest, dass die Teilnehmer der Quadricepsübungsgruppe innerhalb des ersten Monats ihre Beweglichkeit schneller verbessern konnten. Nach Ablauf eines Monats hat sich dieses Ergebnis zwischen beiden Gruppen, allerdings wieder ausgeglichen.

Beachtenswerter ist die Tatsache, dass die Teilnehmer der Kontrollgruppe nach sechs Monaten eine höhere anteriore-posteriore Instabilität aufwiesen, als die Quadricepsübungsgruppe. Es muss allerdings auch erwähnt werden, dass kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen gemessener Instabilität und von Teilnehmern berichteter giving way gezeigt werden konnte.

Abschließend wird von den Autoren auf die geringe statistische Signifikanz hingewiesen, die diese Studie bezüglich eines spezifischen Quadricepsübungsprogramms erbringen konnte. Hervorgehoben wird allerdings auch der geringe Aufwand, den dieses Vorgehen erfordert und durch welchen eine kleine, aber statistisch signifikante Verbesserung in der Wiedererlangung von Bewegungsausmaß und Stabilität erreicht werden kann.

3.2. *Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. (Perry, M. et al, 2005)*

In der folgenden Studie von Perry geht es um den Einfluss eines Trainings in der offenen Kette in einem Zeitraum zwischen der 8. und 14. postoperativen Woche nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes.

In der Einleitung zu dieser Studie berichten die Autoren, dass es Anfang der 90er Jahre zu einem Umdenken vom Training in der offenen Kette zu einem Training in der geschlossenen Kette kam, da man davon ausging, dass ein Training in der offenen Kette eine anterior-posteriore Instabilität begünstigen würde. Desweiteren ging man davon aus, dass das Training in der geschlossenen Kette harmloser für das patello-femoral Gelenk sei. Für alle diese Annahmen fehlen bisher nach Aussage der Autoren die klinischen Untersuchungen, die diese Annahmen bestätigen.

Diese Untersuchung diente dem Vergleich eines Trainingsprogramms in der offenen Kette gegenüber einem Trainingsprogramm in der geschlossenen Kette, welches über eine Dauer von 6 Wochen in der achten postoperativen Woche begonnen wurde. Untersucht wurde der Effekt auf die Kniestabilität und die Wiedererlangung der Kniefunktion. Die Autoren beschränkten sich auf diese Zeitspanne, da es nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes zwei postoperative Phasen gibt, in denen die vordere Kreuzbandplastik besonders verletzungsanfällig ist. Zunächst ist es die direkte postoperative Phase, in der besonders die Fixation der vorderen Kreuzbandplastik empfindlich gegenüber von außen einwirkenden Kräften ist. Während in der 12. postoperativen Woche, wenn die Kraft der kniegelenkstabilisierenden Muskulatur sich bereits wieder verbessert hat, die Kreuzbandplastik, durch stattfindende Umbauprozesse, verletzungsanfällig gegenüber äußeren Krafteinwirkungen ist. Dieser Zeitraum galt dem besonderen Interesse der Autoren, da es über diesen bisher keine Untersuchungen gibt.

Folgende Einschlusskriterien wurden für diese Studie zugrundegelegt. Die Teilnehmer mussten zwischen 18 und 60 Jahren sein, durften keine Schädigung des hinteren Kreuzbandes auf der operierten Seite haben, sie durften keine Pathologie auf der kontralateralen unteren Extremität in den letzten 6 Monaten aufweisen und zuletzt musste der Operateur der Teilnahme an der Studie ebenfalls zu stimmen. 49 Teilnehmer haben die Studie beendet.

Die Teilnehmer kamen aus verschiedenen Londoner Krankenhäusern und wurden von insgesamt 12 Chirurgen nach verschiedenen Methoden operiert.

In der 8. postoperativen Woche wurden die Eingangstests mit den Teilnehmern durchgeführt. Mit Hilfe des Hughston Clinic Questionnaire, 28 Fragen umfassend, wurde die Patientenselbstauskunft bezüglich des aktuellen Zustandes des operierten Knies evaluiert. Die Messung in diesem Fragebogen erfolgte über eine visuelle Analogskala. Das Endergebnis der 28 Fragen wurde über eine Prozentangabe gegenüber der maximal erreichbaren Punktzahl angegeben, so dass eine Angabe von 0% einen perfekten Zustand des operierten Knies beschreibt, während eine Angabe von 100% das schlechteste Ergebnis beschreiben würde. Außerdem wurde mit Hilfe eines Goniometers das aktive Bewegungsausmaß in Flexion und Extension im Seitenvergleich gemessen. Die Umfangsmessung erfolgte ebenfalls im Seitenvergleich, einmal auf Höhe des Patellamittelpunktes und dann noch am oberen Patellarand.

Die passive Kniestabilität wurde von drei Untersuchern, die bezüglich der Gruppenzugehörigkeit zu allen Messzeitpunkten geblindet waren, durchgeführt. Außerdem wurden prä- und post-Test vom gleichen Untersucher ausgeführt. Die Messung erfolgte mit dem Knee Signature System (KSS). Der Test wurde in einer Knieflexion von 25° und neutraler Rotationseinstellung mit einer Kraft von 178 N im Seitenvergleich durchgeführt.

Zuletzt erhielt jeder Teilnehmer ein Tagebuch, in welchem alle körperlichen Aktivität, außer das angeleitete Training, dokumentiert werden sollten. Die Teilnehmer wurden angehalten ihre normale körperliche Aktivität beizubehalten, allerdings sollte außerhalb der Trainingseinheiten kein zusätzliches Krafttraining stattfinden.

Nach einer Trainingsphase von 6 Wochen, also in der 14. postoperativen Woche, erfolgte die

Wiederholung der oben aufgeführten Tests. Zusätzlich wurden noch drei Sprungtests durchgeführt. Zunächst der einbeinige Horizontalsprung, dann der einbeinige Vertikalsprung und zuletzt der einbeinige Dreisprung.

Am Ende der zweiten Testreihe wurden die Teilnehmer gebeten einen anonymen Fragebogen auszufüllen. Hierbei ging es darum den jeweiligen Trainingsort der Teilnehmer zu erfassen und herauszufinden, ob eine verbale Beeinflussung durch die Therapeuten bezüglich eines Therapiekonzeptes stattgefunden hat.

Nach dem Eingangstest erfolgte eine randomisierte Gruppeneinteilung in die Gruppe der offenen Kette (OKC) und die Gruppe der geschlossenen Kette (CKC). Die Teilnehmer wurden angehalten in den folgenden 6 Wochen dreimal in der Woche in einer der vier Physiotherapieabteilungen der National Health Service Hospitals in London zur Therapie zu erscheinen.

Die Gruppen unterschieden sich im Training der Hüft- und Knieextensoren. Die Gruppe CKC führte ein einbeiniges Kraustraining der Hüft- und Knieextensoren in der Beinpresse durch. Das Training begann aus der Rückenlage aus 90° Hüft- und Knieflexion und die Bewegung endete mit der vollen Knieextension. Die Gruppe OKC führte das Training entweder mit Hilfe von Gewichtsmanschetten am Sprunggelenk oder am Leg extension curl durch. Die Gewichtsmanschetten wurden allerdings nur verwendet, wenn der Teilnehmer nicht in der Lage war, das Eigengewicht des Gerätes zu bewältigen. Die Therapeuten waren angehalten, das Training so früh wie möglich am Gerät durchzuführen, um eine bessere Standardisierung zu erreichen. Hier trainierte der Teilnehmer aus der sitzenden Position mit einer Hüft- und Knieflexion von 90°. Das Gewicht wurde bis zum Ende der Knieextension bewegt. Die Hüftextensoren wurden mit Hilfe von Gewichtsmanschetten trainiert, die im Bereich der distalen Tibia befestigt wurden. Der Teilnehmer lag in halber Bauchlage am Bankende und hat die Hüfte aus 90° Flexion mit leicht flektiertem Knie in die endgradige Extension bewegt.

In den ersten 3 Wochen des 6-wöchigen Programms wurden die Hüft- und Knieextensoren mit 3 x 20 RM trainiert. Zu Beginn der 4. Woche wurde das Training auf 3 x 6 RM geändert. Das Gewicht wurde schmerzabhängig (VAS < 5) und abhängig vom Bewegungsablauf erhöht. Kein weiteres

Krafttraining, außer der Übungen, die beide Gruppen zusätzlich durchführten, während oder außerhalb des Trainings war erlaubt. Folgendes Programm wurde von beiden Gruppen zusätzlich durchgeführt:

1. 10 Minuten Ergometertraining
2. Statisches Dehnen der Hamstrings, des M. quadriceps und der Wadenmuskulatur
3. 3 x 10 Ausfallschritte, wobei das operierte Bein vorne steht und langsam bis auf 90° flektiert wird.
4. Patello-femorale und tibiofemorale Mobilisation nach Maitland, wenn erforderlich
5. Weichteilbehandlung, wenn erforderlich
6. einbeiniges Propriozeptionstraining auf dem Minitrampolin
7. beid- und einbeiniges Propriozeptionstraining auf dem Wackelbrett mit Ballwurf und – fangen
8. Seitsprünge
9. Z-Sprünge einbeinig
10. Krafttraining der Hamstrings
11. 3 x 10 Treppe auf- und abwärts
12. Wadentraining
13. Interferenzstrom, wenn erforderlich
14. Eistherapie, wenn erforderlich

Die Teilnehmer wurden in die Datenauswertung aufgenommen, wenn der Zeitraum zwischen Operation und Prätest zwischen 50 und 70 Tagen betrug und der Zeitraum zwischen Prä- und Posttest zwischen 35 und 55 Tagen betrug. Nach diesen Kriterien beendeten 49 Teilnehmer die Studie, davon 25 in CKC-Gruppe und 24 in der OKC-Gruppe.

Die unterschiedlichen Operationsmethoden wurden in der Datenauswertung nicht berücksichtigt, da nicht ausreichend Teilnehmer für die verschiedenen Untergruppen teilnahmen, um ein

aussagekräftiges Ergebnis zu haben. Zusätzlich zu der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes lagen bei 36 Teilnehmern noch Begleitpathologien vor. Anhand einer Chi- Square-Analyse wurden, bezüglich der Vergleichbarkeit der Gruppen, diese Pathologien untersucht. Diese Analyse zeigte keinen signifikanten Unterschied der Gruppen. Trotzdem wurde das Vorhandensein von Begleitpathologien in der Datenauswertung, als ein beeinflussender Faktor bezüglich der Kniefunktion und Stabilität berücksichtigt. Bezüglich einer vorhandenen Pathologie (CKC-Gruppe = 10 none pathology, OKC-Gruppe = 3 none pathology) bestand ein deutlicher numerischer Unterschied zwischen den Gruppen. Das Vorhandensein von Begleitpathologien fand im Bereich der Auswertung der Sprungtests keine Beachtung, da auch hierfür in den verschiedenen Untergruppen nicht ausreichend Teilnehmer vorhanden waren, um eine aussagekräftige Analyse vorzunehmen.

Die Auswertung des anonymen Fragebogens ergab keine Beeinflussung gegenüber einer Therapierichtung und damit verbunden eine eventuelle Voreingenommenheit.

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gab es in der Dauer des Ergometertrainings (CKC-Gruppe: 116 min (SD: 39 min), OKC-Gruppe: 92 min (SD: 42 min)). Da das Ergometertraining einen Trainingseffekt auf die Muskulatur hat und somit auf die Sprungtests, Kniefunktion und Kniestabilität, wurde die Dauer des Ergometertrainings als beeinflussender Faktor in die Datenanalyse aufgenommen. Einen weiteren signifikanten Unterschied gab es beim Gewicht im letzten Training der Knieextensoren (CKC-Gruppe: 79 kg (SD: 45 kg), OKC-Gruppe: 5 kg (SD: 4 kg)). Da bei der CKC-Gruppe durch das Training mit Hilfe der Beinpresse auch die Kraft der Hüftextensoren hinzu kam, wurde das Gewicht aus der Analyse herausgelassen, da in diesem Punkt keine Vergleichbarkeit der Gruppen, aufgrund der unterschiedlichen Durchführung und Beteiligung anderer Muskelgruppen, vorlag. Es kann daher keine Aussage bezüglich unterschiedlicher Kraftentwicklungen gemacht werden.

Desweiteren bestanden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Stabilität zwischen den beiden Gruppen.

Auffällig war außerdem, dass nicht alle Teilnehmer an den abschließenden Sprungtests teilnahmen. In der CKC-Gruppe führten 10 Teilnehmer nicht den vertikalen Sprung und den Horizontalsprung aus und beim einbeinigen Dreisprung waren es sogar 17 von 25 Teilnehmern der CKC-Gruppe, die diesen Test nicht durchführten.

Für die Nichtteilnahme gab es unterschiedliche Gründe. Zunächst einmal zog sich ein Teilnehmer eine kleine Verletzung während des Sprungtests zu (nicht näher beschrieben, welcher Art), was dazu führte, dass einige Teilnehmer die Durchführung des Tests ablehnten, andere wiederum lehnten die Teilnahme unabhängig von diesem Vorfall ab und bei einer weiteren Teilnehmergruppe lehnten die Therapeuten bzw. Ärzte die Durchführung der Tests ab. Alle diese Faktoren führten zu einem relativ großen Ausfall bei den abschließenden Sprungtests.

In der OKC-Gruppe nahmen 9 Teilnehmer nicht am Vertikalsprung teil, 10 nahmen nicht am Horizontalsprung teil und letztendlich nahmen 15 von 24 Teilnehmern der OKC-Gruppe nicht am einbeinigen Dreisprung teil. Bei der näheren Betrachtung der angeführten Zahlen, wurde deutlich, dass die Nichtteilnahme unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit war. Es hatte also nichts mit der Trainingsmethode zu tun. Aus einer weiteren Tabelle, die in dieser Studie aufgeführt wurde, ging hervor, dass es Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsstandorten gab, obwohl diese von der Ausstattung alle vier gleich waren.

In der Zusammenfassung ihrer Ergebnisse gingen die Autoren der Studie vor allem auf die Unterschiede zwischen den Trainingsstandorten ein. Grundsätzlich kamen sie zu dem Ergebnis, dass die beschriebenen Programme bei einem Training in der offenen Kette bzw. in der geschlossenen Kette keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Kniestabilität, in der Phase zwischen der 8.-14. Woche, machten. Die unterschiedlichen Ergebnisse an den verschiedenen Trainingsstandorten wurden mit der eventuell unterschiedlichen Aggressivität, mit der therapiert wird, interpretiert. Man ging davon aus, dass bei einem Training in der offenen Kette eine eher vorsichtige Vorgehensweise zugrunde liegt, während bei einem Training in der geschlossenen Kette eher forciert wird. Dieses Vorgehen ist therapeutenabhängig und es existieren keine Richtlinien, inwieweit und mit welcher

Intensität eine Gewichtssteigerung in der offenen Kette möglich ist.

Als Endergebnis kamen die Autoren zu dem Schluss, dass ein Training in der geschlossenen Kette weiterhin vorzuziehen ist, da die offene Kette keine deutlichen Vorteile bringt und man mit der geschlossenen Kette auf der sicheren Seite ist. Aber es wurde auch nochmals darauf hingewiesen, dass ein vorsichtiges Training in der offenen Kette nicht zu einer vermehrten anterior-posterioren Instabilität führt. Die Autoren wiesen außerdem daraufhin, dass sie nicht evaluieren konnten, inwieweit die unterschiedliche Aggressivität bei der Behandlung der beiden Gruppen die Ergebnisse beeinflusst hat.

3.3. 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. (Mikkelsen, C. et al, 2000)

In der Studie von Mikkelsen wurde die Rehabilitation mit einem Training des M. quadriceps in der geschlossenen Kette mit der Kombination von einem Training des M. quadriceps in der geschlossenen Kette und der offenen Kette nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes verglichen. Die Teilnehmer dieser Studie waren, bis auf eine Ausnahme, aktive Sportler unterschiedlicher Sportarten. Sodass diese Studie unter dem Aspekt der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität stand.

In ihrer Einleitung wiesen die Autoren darauf hin, dass es immer noch keine einheitliche Meinung zur Rehabilitation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes gibt. In den letzten zehn Jahren hat sich das Training in der geschlossenen Kette als Standardtherapie durchgesetzt. Häufiges Problem bei der Rehabilitation in der geschlossenen Kette ist, nach Aussage der Autoren, dass viele Patienten nach sechs Monaten in die sportliche Aktivität zurückkehren, ohne die vollständige Kraft des M. quadriceps im Seitenvergleich erreicht zu haben. Hieraus ergab sich für die Autoren die Fragestellung, ob ein Training des M. quadriceps in der offenen Kette zu einer besseren Kraftentwicklung und damit zur schnelleren Rückkehr in die sportliche Aktivität führt, als ein

ausschließliches Training in der geschlossenen Kette. Zusätzlich galt ihre Aufmerksamkeit der Fragestellung, ob das Training des M. quadriceps in der offenen Kette zu einer vermehrten anterior-posterioren Instabilität führt.

44 Patienten im Alter zwischen 18 und 40 Jahren nahmen an dieser Studie teil. Sie hatten alle ihre erste Verletzung des vorderen Kreuzbandes und eine unverletzte kontralaterale Seite. Patienten mit früheren Knieverletzungen oder Begleitverletzungen, die die Rehabilitation beeinflussen könnten, wurden ausgeschlossen.

Die Operationen wurden von drei erfahrenen Chirurgen durchgeführt. Alle Patienten erhielten eine Patellasehnenplastik.

Die Teilnehmer wurden randomisiert den jeweiligen Gruppen zugeteilt. In der Gruppe 1 wurde ausschließlich in der geschlossenen Kette trainiert, während in der Gruppe 2, ab der sechsten postoperativen Woche, das Training des M. quadriceps in der offenen Kette hinzu kam. Das Training in der geschlossenen Kette war für beide Gruppen gleich. Die Teilnehmer der einzelnen Gruppen waren hinsichtlich Alter, Geschlecht und Aktivitätsniveau vergleichbar.

Folgendes Training wurde von den Teilnehmern beider Gruppen durchgeführt:

- 0. - 2. Woche: passive Knieextension, aktive Knieflexion, Elektrostimulation des M. quadriceps und/oder der Hamstrings bei fehlender Kontraktionsfähigkeit
- 2. - 6. Woche, zusätzl.: Patellamobilisation, Gangschule, Übungen in der geschlossenen Kette für die Hamstrings und den M. quadriceps, isokinetisches Training der Hamstrings, Propriozeptionstraining, Fahrradergometer bei einer Knieflexion von 100°
- 6. - 12. Woche zusätzl.: Funktionstraining (Treppensteigen, Seilspringen, Skatingschritte)

- 3. - 4. Monat, zusätzl.: Joggen auf ebener Strecke
- 4. - 6. Monat, zusätzl.: Joggen auf unebener Strecke, Joggen mit Richtungswechseln von 90°, 180°, 360°, Steigerungsläufe, sportartspezifisches Training

Die Teilnehmer der Gruppe 2 führten ab der sechsten postoperativen Woche zusätzlich ein isokinetisches Training des M. quadriceps in der offenen Kette durch. In der 6. und 7. Woche mit einem Bewegungsausmaß von 90°-40°, 8. und 9. Woche 90°-30°, in der 10. und 11. Woche 90°-20° und in der 12. Woche 90°-10°.

Beide Gruppen führten ihr Rehabilitationsprogramm über 6 Monate durch. Die Rehabilitation fand für beide Gruppen im gleichen Krankenhaus unter Anleitung und Aufsicht eines Physiotherapeuten statt, der beide Gruppen über den ganzen Zeitraum betreute.

Für die Darstellung der unterschiedlichen Ergebnisse wurden präoperativ und 6 Monate postoperativ die Stabilität mit dem KT-1000 Arthrometer und die Kraft isokinetisch gemessen. Die Messungen wurden zu allen Zeitpunkten vom gleichen Untersucher durchgeführt.

Die Testung der Stabilität wurde in 30° Knieflexion gemessen. Der Teilnehmer lag bei der Messung auf dem Rücken. In der vorliegenden Studie ist die Höhe der einwirkenden Kraft, mit der die Messung der Stabilität durchgeführt wurde, nicht benannt. Die Messung erfolgte im Seitenvergleich.

Bei der isokinetischen Messung wurde die konzentrische und exzentrische Kraft der Hamstrings und des M. quadriceps im Seitenvergleich gemessen. Die Messung erfolgte aus der sitzenden Position in einem Bewegungsausmaß von 10°- 90° Knieflexion.

Anschließend wurde nach durchschnittlich 31 Monaten postoperativ von allen Teilnehmern ein Fragebogen, die Kniefunktion und Zufriedenheit mit dem postoperativen Ergebnis betreffend, ausgefüllt. Die Teilnehmer wurden gebeten, ihre Kniefunktion mit den vier Parametern „sehr gut, gut, zufriedenstellend oder schlecht“ zu bewerten. Anschließend sollten die Teilnehmer ihre

Zufriedenheit mit dem postoperativen Ergebnis mit weiteren vier Parametern „sehr zufrieden, zufrieden, nicht ganz zufrieden oder unzufrieden“ beurteilen. Zuletzt wurden von den Teilnehmern noch folgende Fragen beantwortet, ob sie in ihren Sport zurückgekehrt sind, wenn ja, auf dem gleichen oder einem niedrigerem Niveau als präoperativ. Wenn keine Rückkehr in die sportliche Aktivität, oder auf einem niedrigeren, Niveau oder in eine knieschonendere Sportart erfolgte, wurde um die Angabe der Ursache gebeten. Zuletzt wurde noch die Frage nach dem Zeitpunkt, an welchem die sportliche Aktivität wieder aufgenommen wurde, gefragt.

Bei der Auswertung der Messung der anterior-posterioren Stabilität konnte zwischen den beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen gab es in der Verbesserung der Kraft des M. quadriceps. Die Teilnehmer der Gruppe 2 hatten eine signifikante Verbesserung, vor allem der exzentrischen Kraft des M. quadriceps, erreicht. Außerdem war der Seitenunterschied bezüglich der Kraft des M. quadriceps in der Gruppe 2 ebenfalls geringer. Keinen signifikanten Unterschied gab es in der isokinetischen Messung nach 6 Monaten bei der konzentrischen und exzentrischen Kraft der Hamstrings.

Eine signifikant ($p < 0,05$) höhere Teilnehmerzahl aus der Gruppe 2 ist auf dem gleichen Level in den Sport zurückgekehrt wie aus der Gruppe 1. In der Gruppe 2 waren es 12 Teilnehmer, die nach einem Median von 7,5 Monaten auf gleichem Niveau in den Sport zurückkehrten. Acht Teilnehmer dieser Gruppe haben ihr sportliches Niveau reduziert, bzw. sind in eine knieschonendere Sportart gewechselt. Bei drei von ihnen lag eine eingeschränkte Kniefunktion dieser Entscheidung zugrunde. Bei weiteren dreien waren es soziale und familiäre Gründe und bei zweien war es die Angst vor einer erneuten Verletzung. Ein Teilnehmer der Gruppe 2 nahm keine sportliche Aktivität auf, da eine Verletzung der kontralateralen Seite hinzukam. Ein weiterer Teilnehmer dieser Gruppe war auch vor der Verletzung nicht sportlich aktiv.

Aus der Gruppe 1 kehrten fünf Teilnehmer, nach einem Median von 9,5 Monaten, auf gleichem Niveau in den Sport zurück. 15 Teilnehmer dieser Gruppe haben ihr sportliches Niveau reduziert

bzw. sind in eine knieschonendere Sportart gewechselt. Bei zehn von ihnen lag dieser Entscheidung eine behinderte Kniefunktion zugrunde. Soziale und familiäre Gründe waren bei vier Teilnehmern ausschlaggebend und die Angst vor einer erneuten Verletzung wurde von einem Teilnehmer dieser Gruppe genannt. Zwei Patienten dieser Gruppe kehrten zu keiner sportlichen Aktivität zurück. Einer von ihnen zog sich eine Fraktur der unteren Extremität zu und ein weiterer Teilnehmer hat den Fragebogen nicht beantwortet.

Bezüglich der Auswertung der Zufriedenheit mit dem postoperativen Ergebnis, gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen.

Nach Auswertung aller Ergebnisse kamen die Autoren dieser Studie zu dem Schluss, dass zwischen beiden Behandlungsgruppen kein Unterschied bezüglich der Kniestabilität aufgetreten ist. Das bedeutet, dass ein isokinetisches Training des M. quadriceps in der sechsten postoperativen Woche mit einem Bewegungsausmaß von zunächst 90°- 40°, die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nicht schädigt. Die Autoren weisen daraufhin, dass aus verschiedenen Tierstudien bekannt ist, dass eine gewisse Krafteinwirkung auf ein heilendes Band zur Ausbildung einer kräftigeren Struktur führt. Es ist allerdings nicht bekannt, wie groß diese Krafteinwirkung sein darf, damit es zu keiner Schädigung der heilenden Bandstruktur kommt. Unter diesen Gesichtspunkten sollte mit dem Training in der offenen Kette unter kontrollierten Bedingungen ab der sechsten postoperativen Woche begonnen werden.

Die Autoren halten die Kombination aus einem Training in der geschlossenen und offenen Kette für sinnvoll, da diese Patienten eine bessere Kraftentwicklung des M. quadriceps zeigen und schneller wieder sportliche Aktivitäten aufnehmen können. Außerdem hat diese Studie gezeigt, dass es bei einem kontrolliertem Training in der offenen Kette zu keiner vermehrten anterior-posterioren Instabilität kommt.

3.4. *Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. (Morrissey, M. et al, 2000)*

Die Studie von Perry hat sich mit den Auswirkungen eines Trainings in der offenen Kette im Zeitraum zwischen der 8. und 14. postoperativen Woche beschäftigt (Perry, M. et al, 2005). In der folgenden Studie von Morrissey geht es nun um die Effekte eines Trainings in der offenen Kette in der frühen Phase nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes im Vergleich zum Training in der geschlossenen Kette. Die Studie von Morrissey wurde im November 2000 veröffentlicht und einige der Autoren waren auch an der im Januar 2005 veröffentlichten Studie von Perry beteiligt.

In der vorliegenden Studie von Morrissey ging es vor allem um den Einfluss der unterschiedlichen Trainingsmethoden auf die anterior-posteriore Stabilität.

Die Teilnehmer kamen aus fünf Londoner Krankenhäusern und waren von drei orthopädischen Chirurgen operiert worden. Bei allen Teilnehmern wurde eine Rekonstruktion mit Hilfe der Patellasehne durchgeführt. Ein weiteres Einschlusskriterium für die Teilnahme war, dass keine vorrangige Verletzung an der contralateralen Seite vorliegen durfte.

In der zweiten postoperativen Woche erhielten die Patienten eine schriftliche und mündliche Aufklärung über die Studie. Anschließend wurden die Eingangsmessungen vorgenommen. Die Teilnehmer durften daran teilnehmen, wenn sie eine passive Knieflexion von 90° hatten und in der Lage waren ohne Gehhilfen zu gehen.

Die Messungen wurden von zwei Physiotherapeuten durchgeführt, die zu allen Messzeitpunkten bezüglich der Gruppenzugehörigkeit geblindet waren. Die Prä- und Posttestmessungen wurden jeweils vom gleichen Physiotherapeuten durchgeführt.

Die passive Kniestabilität wurde mit Hilfe des Knee Signature System (KSS) gemessen.

Die Messung erfolgte aus der sitzenden Position mit einer Knieflexion von 25° und einer neutralen Rotationsstellung im Seitenvergleich. Die einwirkende Kraft war auf 178 N festgelegt. Desweiteren wurde die Knieflexion und Extension mit einem Goniometer gemessen. Die Kraftmessung erfolgte

für die Hüftextensoren in der offenen Kette durch eine isokinetische konzentrische Kontraktion. Außerdem wurde die Kraft der Hüft- und Knieextensoren in der geschlossenen Kette mittels einer isotonischen Kontraktion gemessen und zuletzt wurde die Kraft der Knieextensoren und Flexoren mit Hilfe eines isometrischen und eines konzentrischen isokinetischen Testes gemessen. Die dynamischen Messungen erfolgten mit einem Bewegungsausmaß im Kniegelenk von 0°- 90° Knieflexion, während der isometrische Test der Knieflexoren und Extensoren in einer Knieflexion von 60° durchgeführt wurde. Außerdem wurde die Kniefunktion zusätzlich durch eine Ganganalyse und Treppensteigen beurteilt.

Nach der Eingangsmessung wurden die Teilnehmer randomisiert der jeweiligen Behandlungsgruppe (Gruppe C = geschlossene Kette, Gruppe O = offene Kette) zugeordnet. Bezüglich Geschlecht und Alter waren die Gruppen vergleichbar. Die Trainingseinheiten sollten über einen Zeitraum von vier Wochen dreimal wöchentlich in einer der beiden Trainingseinrichtungen durchgeführt werden. Das Training der beiden Behandlungsgruppen unterschied sich im Krafttraining der Hüft- und Knieextensoren. Die Teilnehmer der Gruppe C führten ein einbeiniges Training der Hüft- und Knieextensoren in der Beinpresse durch. Der Teilnehmer befand sich in der Ausgangsstellung in Rückenlage mit einer Hüft- und Knieflexion von 90° und führte dann eine Bewegung bis an das Ende der Knieextension durch. Zusätzlich wurde die Ferse mit einem Holzklötzchen unterlagert, und der Teilnehmer wurde angewiesen nicht mit dem Vorfuß die Plattform der Beinpresse zu berühren, um den Einsatz der Plantarflexoren auszuschließen.

Die Teilnehmer der Gruppe O führten das Training der Hüft- und Knieextensoren in der offenen Kette durch. Entweder geschah dies mit Hilfe von Gewichtsmanschetten, die im Bereich der distalen Tibia befestigt wurden, oder mit Hilfe des Leg Extension Curls bzw. Leg Flexion Curls. Die Therapeuten wurden angehalten, sobald als möglich mit den Geräten zu trainieren, um eine bessere Standardisierung zu erreichen.

In beiden Gruppen wurde das Krafttraining mit 3 x 20 RM durchgeführt. Die Winkelgeschwindigkeit wurde für die konzentrische Phase auf 60°/s und für die exzentrische Phase

auf 30°/s festgelegt. Das Bewegungsausmaß wurde für beide Gruppen, sowohl für das Training der Hüftextensoren, als auch Knieextensoren auf 90°- 0° ROM festgelegt.

Folgende Übungen zur Kräftigung durften von der Gruppe C nicht durchgeführt werden; Training der Hüft- und Knieextensoren in der offenen Kette, Treppensteigen und Squats. Die Teilnehmer der Gruppe O durften kein Training an der Beinpresse, keine Squats und kein Treppensteigen durchführen. Alle Teilnehmer durften ein Training mit dem Fahrradergometer durchführen, wobei Intensität, Frequenz und Dauer der Entscheidung des behandelnden Physiotherapeuten unterlagen. Außerdem war die Elektrostimulation und EMG-Biofeedback Behandlung der Hüftextensoren, Knieextensoren und -flexoren und Plantarflexoren untersagt. Keine Kontrollen gab es in der Behandlung von Schwellung, Schmerz und Hypomobilität. Auch das Training von Balance und Propriozeption lag im Ermessen des jeweiligen Therapeuten und wurde nicht weiter kontrolliert oder gemessen.

Die Teilnehmer wurden in die Datenanalyse aufgenommen, wenn zwischen Operation und Prätest weniger als 20 Tage lagen, zwischen Prä- und Posttest weniger als 35 Tage lagen und wenn 9 – 13 Behandlungen erfolgten. 36 Teilnehmer haben die Studie erfolgreich beendet.

Bei der Auswertung der Stabilitätsmessung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Behandlungsgruppen festgestellt werden ($p = 0,68$). Aus den Messungen geht hervor, dass bei beiden Gruppen die anterior-posteriore Bewegung zugenommen hat (Gruppe C : Prätest: 9,87mm, Posttest: 9,98mm; Gruppe O : Prätest: 9,46mm; Posttest: 10,25mm), aber es liegt kein signifikanter Unterschied vor.

Desweiteren wurden auch in dieser Studie Unterschiede zwischen den beiden Trainingseinrichtungen ausgewertet, was aber für die Auswertung der Kniestabilität keine Rolle spielte. Es gab zwischen den beiden Einrichtungen keine signifikanten Unterschiede.

In der abschliessenden Diskussion haben die Autoren verschiedene Gründe für die Ergebnisse der Studie aufgeführt. Sie ziehen in Erwägung, dass der Stress für die vordere Kreuzbandplastik beim

Training in der offenen Kette doch nicht so hoch ist, wie bisher angenommen. Eine weitere Erklärung für den fehlende Unterschied zwischen beiden Trainingsmethoden ist ihrer Meinung nach, dass beim Training in der offenen Kette weniger aggressiv trainiert wird, als in der geschlossenen Kette. Obwohl nach Angabe der Autoren die Therapeuten daraufhin gewiesen wurden, das Training beider Gruppen mit der gleichen Aggressivität durchzuführen, um eine Beeinflussung der Ergebnisse zu vermeiden. Für diesen Bereich des Trainings fehlen Richtlinien, eventuell wurden die Gewichte zu gering gesetzt, um einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen zu zeigen. Auch war der Trainingszeitraum von vier Wochen mit nur 9 – 13 Trainingseinheiten nach Aussage der Autoren sehr kurz gewählt. Desweiteren fand das Aktivitätsniveau der Teilnehmer außerhalb der Therapie keine Berücksichtigung in der Auswertung. Abschließend weisen die Autoren auf die Dringlichkeit weitere Untersuchungen auch im Bezug der Wichtigkeit der anterior-posterioren Instabilität hin. Es stellt sich die Frage, ob eine passive Instabilität ursächlich für spätere Knieprobleme wie Meniskuspathologien oder Arthrose ist, während von anderen Seiten behauptet wird, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen einer passiven Instabilität und einer späteren eintretenden Pathologie gibt. Hierzu fügen die Autoren an, dass die Teilnehmer nach 6 bzw. 12 Monaten erneut getestet wurden und Teilnehmer, die während der Studie eine deutliche Zunahme der anterior-posterioren Bewegung aufwiesen, keine Probleme in den folgenden 12 Monaten entwickelten. Hier liegen allerdings nur Einzelergebnisse vor und es bedarf weiteren Untersuchungen zu Langzeiteffekten.

Letztendlich kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass das Training in der geschlossenen Kette vorzuziehen ist, solange kein eindeutiger Vorteil der offenen Kette beim Training der Knieextensoren dargestellt werden kann.

3.5. Abstracts

Desweiteren habe ich noch drei weitere Studien gefunden, die sich mit der obengenannten Fragestellung annähernd beschäftigt haben. Die folgenden drei Studien habe ich nur in Form der verfügbaren Abstracts berücksichtigt.

3.5.1. Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. (Heijne, A.; Werner, S., 2007)

Da wäre zunächst die Studie von Heijne, veröffentlicht im April 2007. Diese Studie wurde bei PEDro mit 6 von 10 Punkten bewertet. Die Autoren haben sich mit dem Unterschied eines frühen Trainings der Knieextensoren in der offenen Kette, ab der vierten postoperativen Woche, gegenüber einem Training in der offenen Kette ab der 12. postoperativen Woche beschäftigt. Zusätzlich wurde noch der Aspekt der Operationsmethode berücksichtigt. Es gab demnach vier Untersuchungsgruppen, zunächst einmal die Gruppe P4. Die Teilnehmer dieser Gruppe haben eine Patellasehnenplastik erhalten und haben das Training in der offenen Kette in der vierten postoperativen Woche begonnen. Die Teilnehmer der Gruppe P12 erhielten ebenfalls eine Patellasehnenplastik und haben das Training in der 12. postoperativen Woche begonnen. Desweiteren gab es die Teilnehmer der Gruppen H4 und H12, welche alle eine Hamstringsplastik erhielten und ebenfalls entweder in der 4. oder 12. postoperativen Woche mit dem Training der Knieextensoren in der offenen Kette begonnen haben. Insgesamt nahmen 68 Teilnehmer an der Studie teil. Jeweils die Hälfte der Teilnehmer hatte eine Patellasehnenplastik bzw. Hamstringsplastik erhalten. Die Teilnehmer wurden den Gruppen randomisiert zugeteilt. Folgende Parameter wurden zunächst präoperativ evaluiert: Range of motion (Goniometer), die anteriore Knielaxität (KT-1000), „postural sway“ (KAT 2000), die Kraft der Oberschenkelmuskulatur (Kin-Com dynamometer) und der vordere Knieschmerz anhand des anterior knee pain scores. Weitere Kontrollmessungen erfolgten nach 3, 5 und 7 Monaten.

Bezüglich der Beweglichkeit konnten zu allen Messzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gab es im Hinblick auf den anterioren Knieschmerz und den „postural sway“.

Allerdings zeigten die Teilnehmer der Gruppe H4 eine signifikant höhere anteriore Knielaxität als die Teilnehmer der Gruppe P4 ($p = 0,04$). Die Gruppe H4 wies auch im Vergleich mit der Gruppe H12 eine höhere anteriore Knielaxität auf ($p = 0,01$).

Außerdem wurden signifikante Unterschiede in der Wiedererlangung der Kraft des M. quadriceps und der Hamstrings gemessen. Alle Teilnehmer, außer die der Gruppe P4, haben nach 7 Monaten die Kraft des M. quadriceps, im Vergleich zum präoperativen Niveau, wiedererlangt. Die Gruppen H4 und H12 haben nach 7 Monaten eine geringere Kraft der Hamstrings vorgewiesen, als dies präoperativ der Fall war. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass ein frühes Training in der offenen Kette nach Hamstringplastik zu einer vermehrten anterioren Knielaxität führt. Im Vergleich zum später begonnenen Training, aber auch im Vergleich zu einer Patellasehnenplastik sowohl bei einem frühen, als auch späten Beginn des Trainings.

Sie weisen ebenfalls daraufhin, dass ein frühes Training des M. quadriceps in der offenen Kette keinen Einfluss auf das Wiedererlangen der Kraft des M. quadriceps hat, unabhängig von der Operationsmethode. Im Gegenteil, nach Auswertung der Ergebnisse, scheint in erster Linie die Operationsmethode und nicht die Auswahl der Rehabilitationsübungen ausschlaggebend für die Wiedererlangung der Kraft zu sein

Abschließend erwähnen die Autoren, dass sie anhand der vorliegenden Ergebnisse keinen geeigneten Zeitpunkt bestimmen können, zu dem ein Training in der offenen Kette nach Hamstringplastik begonnen werden kann. Um diese Frage zu klären, sind weitere Untersuchungen und vor allem Beobachtungen von Langzeiteffekten erforderlich.

3.5.2. *Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. (Isberg, J. et al, 2006)*

Die nächste Studie von Isberg wurde im November 2006 veröffentlicht. Die Autoren stellten sich die Frage, ob eine aktive Extension unmittelbar postoperativ zu einer vermehrten anterioren-posterioren Knieinstabilität führen würde. Ihre Hypothese war, dass eine endgradige passive und aktive Extension unmittelbar postoperativ keinen Effekt auf die anterior-posteriore Instabilität und die klinischen Ergebnisse 2 Jahre postoperativ haben würde.

22 Teilnehmer im Alter zwischen 17 und 41 Jahren nahmen an dieser Studie teil. Sie wurden alle vom gleichen Chirurgen mit einer Patellasehnenplastik versorgt. Keiner der Teilnehmer hatte Begleitverletzungen oder frühere Operationen auf der betroffenen Seite.

Die Teilnehmer wurden den Untersuchungsgruppen randomisiert zugeteilt. Das postoperative Rehabilitationsprogramm war für beide Gruppen, bis auf das Extensionstraining in den ersten vier postoperativen Wochen, gleich. Hier gab es die Gruppe A (n = 11), in welcher die endgradige aktive und passive Extension unmittelbar postoperativ erlaubt war und die Gruppe B (n = 11), in welcher die Extension zunächst auf 30° beschränkt war und innerhalb der folgenden 4 Wochen auf 10° erweitert wurde.

Folgende Parameter wurden präoperativ, nach 6 Monaten und nach 2 Jahren evaluiert; die anterior-posteriore Knielaxität, Range of Motion, Lysholm score und das Tegner activity level. Zur weiteren Dokumentation wurden das International Knee Documentation Committee (IKDC) evaluation system und der one-leg-hop Testquotient genutzt.

Nach der Auswertung aller Parameter konnten zwischen den beiden Behandlungsgruppen keine signifikanten Unterschiede, bezüglich der obengenannten Parameter, gefunden werden. Sodass von den Autoren folgendes Ergebnis formuliert wurde: Ein unlimitiertes Training der aktiven und passiven Extension unmittelbar postoperativ, nach Patellasehnenplastik, führt zu keiner vermehrten anterior-posterioren Knielaxität in den folgenden 2 postoperativen Jahren.

3.5.3. *Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. (Bynum, Eb. et al, 1995)*

Zuletzt möchte ich noch kurz die Studie vorstellen, die, ausschlaggebend für das Umdenken vom Training in der offenen Kette zur geschlossenen Kette, von allen Autoren immer wieder angeführt wurde. Diese Studie von Bynum wurde im August 1995 veröffentlicht. Von den Autoren wurde die Fragestellung formuliert, ob das Training in der geschlossenen Kette Vorteile bietet und sicherer ist, als die konventionelle Trainingsmethode, das Training in der offenen Kette.

Prä- und postoperativ wurden folgende Parameter evaluiert; die anterior-posteriore Knielaxität, Lysholm knee function scoring scale und Tegner activity rating scale. Die Ergebnisse wurden mindestens über ein Jahr und durchschnittlich über 19 Monate verfolgt. Das Rehabilitationsprogramm wurde im Abstract nicht näher beschrieben. Es gab zwei Untersuchungsgruppen, wovon eine das konventionelle Training in der offenen Kette durchführte, während die Teilnehmer der anderen Gruppe in der geschlossenen Kette trainierten. Desweiteren waren im Abstract keine näheren Zeitangaben erwähnt.

90% aller Teilnehmer haben ihre Kniestabilität wiedererlangt. 95% haben das volle Bewegungsausmaß erreicht und der präoperative patellofemorale Schmerz konnte bei allen signifikant reduziert werden. Die Teilnehmer der Gruppe, die in der geschlossenen Kette trainierten, hatten eine geringere Seitendifferenz bezüglich der anterior-posterioren Knielaxität, weniger patellofemorale Schmerzen und waren grundsätzlich mit dem Ergebnis zufriedener, als die Teilnehmer der Kontrollgruppe.

Abschließend erwähnen die Autoren, dass das Training in der geschlossenen Kette wichtige Vorteile gegenüber der offenen Kette hat, und sie aufgrund der erlangten Ergebnisse auf das Training in der geschlossenen Kette umgestellt haben.

4. Diskussion

Nach Durchsicht der oben aufgeführten Studien fällt auf, dass gerade zu dieser Fragestellung immer wieder Studien durchgeführt werden, aber keiner der Autoren ein allgemein gültiges Ergebnis formulieren kann. Erschwerend kommt hinzu, dass die verschiedenen Studien untereinander nicht vergleichbar sind, da es sich um verschiedene Zeiträume handelt, in denen ein Training begonnen wird, sodass man die Ergebnisse nicht miteinander vergleichen oder in Einklang bringen kann. Auch haben die Studien natürlich verschiedene Schwerpunkte, was sich bei der Auswahl der Messparameter und damit der Beeinflussung der Ergebnisse bemerkbar macht. Desweiteren scheint es unklar zu sein wieviel Stress ein operiertes vorderes Kreuzband verträgt und wieviel Stress eventuell sogar erforderlich ist, um die Ausbildung einer stabilen Struktur zu stimulieren. Diese Unklarheit mag der Grund dafür sein, dass die Autoren immer wieder darauf hinweisen, dass ein kontrolliertes Training in der offenen Kette zu keiner vermehrten anterior-posterioren Instabilität führt. Aber es kann nicht eindeutig definiert werden, was unter einem kontrollierten Training zu verstehen ist. In den meisten Behandlungsgruppen wurde das Training in der offenen Kette zunächst mit 3x20 RM begonnen. Hier stellt sich nun die Frage, ob diese Dosierung eventuell zu unterschwellig ist, um einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Instabilität zu zeigen oder aber auch, dass durch das Training in der offenen Kette vielleicht doch eine bessere Kraftentwicklung möglich ist, wenn man die Belastung im Krafttraining höher ansetzen würde. Diese Bedenken wurden auch von den Autoren Perry (Perry, M. et al, 2005) und Morrissey (Morrissey, M. et al, 2000) aufgeführt, die darauf hinweisen, dass in der offenen Kette weniger aggressiv trainiert wird und daher keine signifikanten Unterschiede der negativen oder positiven Art gezeigt werden konnten, was zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen würde.

Außer in der Studie von Heijne (Heijne, A.; Werner, S., 2007) konnte in keiner Studie ein Zusammenhang zwischen dem Training des M. quadriceps in der offenen Kette und einer anterior-posterioren Instabilität nachgewiesen werden. In der Studie von Heijne ging es vor allem um den Vergleich zweier Operationsmethoden und deren Rehabilitationsverlauf bezüglich einer anterior-posterioren Instabilität und der Wiedererlangung der Kraft des M. quadriceps und der Hamstrings.

Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Teilnehmer, die bereits in der vierten postoperativen Woche mit einem Training des M. quadriceps in der offenen Kette begonnen und eine Hamstringplastik erhalten haben, nach 7 Monaten eine signifikant höhere anterior-posteriore Instabilität aufwiesen, als alle anderen Teilnehmer der drei weiteren Behandlungsgruppen. Im Gegensatz dazu haben die Autoren ebenfalls gezeigt, dass ein Training des M. quadriceps in der offenen Kette ab der vierten postoperativen Woche, unabhängig von der Operationsmethode, keine Vorteile in der Wiedererlangung der Kraft bringt. Aufgrund der ausgewerteten Ergebnisse konnten die Autoren keinen geeigneten Zeitpunkt für den Beginn des Trainings in der offenen Kette benennen.

In allen anderen Studien konnte keine signifikante Zunahme der anterior-posterioren Instabilität durch ein Training des M. quadriceps in der offenen Kette nachgewiesen werden. Aber es konnte auch keine der angeführten Studien einen signifikanten Vorteil des Trainings in der offenen Kette nachweisen. In der Studie von Mikkelsen (Mikkelsen, C. et al, 2000) haben die Teilnehmer der Behandlungsgruppe, die zusätzlich zum Training in der geschlossenen Kette nach der sechsten postoperativen Woche ein Training in der offenen Kette ausführten, besser abgeschnitten im Bezug der Rückkehr in den Sport. Außerdem hatten die Teilnehmer dieser Gruppe bessere Werte bezüglich der Kraft des M. quadriceps, vor allem in der exzentrischen Kraft. Allerdings sind bei dieser Studie beide Behandlungsgruppen nur bedingt vergleichbar, da die Gruppe mit der Kombination von geschlossener und offener Kette einen deutlich größeren Trainingsumfang hatte und somit eine bessere Kraftentwicklung zu erwarten war. Durch die Vorgehensweise bei dieser Studie konnte in meinen Augen nicht nachgewiesen werden, dass das Training in der offenen Kette für das vorliegende Ergebnis ausschlaggebend war. Auffällig bei dieser Studie ist im Vergleich zu allen anderen Studien, dass das Training des M. quadriceps in der offenen Kette zunächst im Bewegungsausmaß mit erst einmal 90°- 40° ROM limitiert wurde, was im weiteren Trainingsverlauf erweitert wurde bis zur sechsten postoperativen Woche auf 90°- 10° ROM. Diese Art der Limitierung, um den Stress auf das vordere Kreuzband zu reduzieren, fand in keiner weiteren Studie Berücksichtigung. In der Studie von Mikkelsen (Mikkelsen, C. et al, 2000) konnte keine Zunahme der anterior-posterioren Instabilität signifikant nachgewiesen werden im Vergleich zur

Kontrollgruppe. Im Gegensatz zu der Studie von Mikkelsen erfolgte in der Studie von Morrissey (Morrissey, M. et al, 2000) das Training in der offenen Kette ab der zweiten postoperativen Woche mit einem Bewegungsaus Schlag von 90°-0° ROM, in beiden Studien wurde mit einer Intensität von 3x20 RM trainiert. Aber auch in dieser Studie konnte kein signifikanter Unterschied der anterior-posterioren Instabilität zwischen den Behandlungsgruppen nachgewiesen werden. Ein Grund hierfür könnte allerdings sein, dass die Trainingsphase über eine Dauer von vier Wochen mit 9-13 Trainingseinheiten zu kurz gewählt wurde, um signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen nachzuweisen. Außerdem wurde in dieser Studie das Aktivitätsniveau der Teilnehmer außerhalb der Trainingseinheiten nicht berücksichtigt bzw. es wurde nicht evaluiert. Was auch die Kontrollmessungen nach 12 Monaten in Frage stellt, da das Training nach der Studienperiode nicht evaluiert wurde und somit keine Aussage getroffen werden kann, ob das Ergebnis nach 6 bzw. 12 Monaten nicht eventuell durch nachfolgendes Training beeinflusst wurde. Aufgrund dieser vielen doch unterschiedlichen Ergebnisse, ist es schwierig ein abschließendes Ergebnis zu formulieren. Aber nach Durchsicht dieser Studien scheint zumindest ein aktives Extensionstraining unmittelbar postoperativ beginnend, die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes im Hinblick auf eine anterior-posteriore Instabilität nicht zu gefährden und in Bezug auf die Beweglichkeit sogar Vorteile zu bringen (Shaw, T. et al 2005). Aber bezüglich eines Krafttrainings des M. quadriceps in der offenen Kette fehlen signifikante Vorteile gegenüber der geschlossenen Kette, die einen frühen Beginn des Trainings in der offenen Kette rechtfertigen. Es konnte zwar nur in einer Studie ein Zusammenhang zwischen einer vermehrten anterior-posterioren Instabilität und Training in der offenen Kette nachgewiesen werden, allerdings wurde diese auch auf die Operationsmethode zurückgeführt. Aber es konnten in keiner Studie eindeutige Vorteile des Trainings in der offenen Kette nachgewiesen werden. Nur in der Studie von Shaw (Shaw, T. et al, 2005), wo die Teilnehmer unmittelbar postoperativ mit aktiven Extensionsübungen und isometrischer Quadricepsaktivierung begannen und im Vergleich zur Kontrollgruppe die Beweglichkeit in die Knieextension und -flexion schneller verbesserten, was sich allerdings zu späteren Messzeitpunkten wieder ausglich.

Letztendlich sind, wie bereits von den meisten Autoren erwähnt, weitere Untersuchungen und

Studien erforderlich. Offen bleibt die Frage, wie hoch ist die einwirkende Kraft während des Trainings der Knieextensoren in der offenen Kette auf das vordere Kreuzband, und wieviel Stress verträgt oder benötigt das vordere Kreuzband, um zu einer stabilen und belastbaren Struktur auszuheilen?

5. Literatur

Bynum, E. B. / Barrack, R. L. / Alexander A. H.: Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. In: Am J Sports Med. 1995; 23 (4): S. 401-406.

Heinje, A. / Werner, S.: Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. In: Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007; 15 (4): S. 402-414.

Isberg, J. / Faxén, E. / Brandsson, S. / Eriksson, B. I. / Kärrholm, J. / Karlsson, J.: Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. In: Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006; 14 (11): S. 1108-1115.

Mikkelsen, C. / Werner, S. / Eriksson, E.: 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. In: Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000; 8: S. 337-342.

Morrissey, M. C. / Hudson, Z. L. / Drechsler, W. I. / Coutts, F. J. / Knight, P. R. / King, J. B.: Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. In: Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000; 8: S. 343-348.

Perry, M. C. / Morrissey, M. C. / King, J. B. / Morrissey, D. / Earnshaw, P.: Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005; 13: S. 357-369.

Shaw, T. / Williams, M. T. / Chipchase, L. S.: Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. In: *Australian Journal of Physiotherapy.* 2005; 51: S. 9-17.