

# **Krafttraining versus Ausdauertraining bei Patienten nach vorderer Kreuzbandplastik**

## **Hintergrund und Zweck der Studie**

Nach Verletzung und operativen Sanierung des vorderen Kreuzbandes sollte der M. quadriceps wieder zeit- und intensitätsgerecht eingesetzt werden. Störungen im sensomotorischen System sind dabei nicht zu verhindern. Zahlreiche wissenschaftliche Studien untermauern die Wichtigkeit sowohl des koordinativen Trainings als auch des Krafttrainings, kaum Evidenz gibt es hingegen im Bereich Ausdauertraining nach operativer Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur. Der Zweck dieser Studie ist die Untersuchung, inwieweit sich gezieltes Ausdauertraining im Vergleich zu einem Krafttraining positiv auf die verminderte Rekrutierbarkeit des M. quadriceps auswirkt.

## **Patienten und Methoden**

Die Studie wurde randomisiert kontrolliert durchgeführt. 6 Patientinnen (weiblich) mit rupturiertem vorderem Kreuzband wurden in die Studie eingeschlossen. Dabei wurden drei Patientinnen postoperativ zusätzlich zu Physiotherapie und Koordinationstraining mit Ausdauertraining, und drei Patientinnen mit Krafttraining versorgt. Alle Patientinnen hatten 36 Therapiesitzungen in einem Zeitraum bis zur 12. postoperativen Woche. Die Ergebnisse wurden in der Studie mittels Oberflächen EMG, einer Umfangmessung, der NRS Schmerzskala und mittels 2 Fragebögen, den SF-36 und den Tegnernscore, evaluiert. Die Messungen erfolgten vor der Operation sowie 6 und 12 Wochen nach der Operation.

## **Ergebnisse**

Die geringe Fallzahl an Studienteilnehmern pro Gruppe lässt keine Signifikanz zwischen den Gruppen erkennen. Im isometrischen Kraftvergleich befindet sich die Krafttrainingsgruppe, die zufällig mit einem geringeren Rekrutierungsniveau startet, 12 Wochen postoperativ auf dem Niveau der Ausdauertrainingsgruppe. Sie weist im Vergleich zum präoperativen Ansteuerungsniveau eine höhere Anzahl an rekrutierten

motorischen Einheiten des M. quadriceps gegenüber der Ausdauertrainingsgruppe auf. Der Vergleich zur gesunden Seite zeigt jedoch eine verbesserte Ansteuerung in der Ausdauertrainingsgruppe. In der funktionellen Übung der Halbkniebeuge verbessern sich beide Gruppen gegenüber dem Ausgangswert deutlich.

### **Stichworte für die Bibliothek**

„Vorderes Kreuzband“, „Rehabilitation“, „Krafttraining vs. Ausdauertraining“, „Elektromyographie“

### **Einleitung**

Kaum ein Thema in der orthopädischen Medizin wird so intensiv diskutiert wie die Fragestellung, ob ein gerissenes vorderes Kreuzband operativ oder konservativ versorgt werden sollte.

Aus dem klinischen Alltag ist gut bekannt, dass es nach einer Kreuzbandruptur nicht gelingt, den M. quadriceps vollwertig in den sensomotorischen Bewegungsablauf zu integrieren. Hierbei spielt es keine Rolle, ob die Kreuzbandverletzung konservativ oder operativ nachbehandelt wurde.

Das vordere Kreuzband ist ein wesentlicher Stabilisator des Kniegelenks gegen anteriore Translation und Innenrotation insbesondere in strecknaher Stellung. Entsprechend führt der Verlust des vorderen Kreuzbandes zu einer Störung der Kinematik und insbesondere zu einer Dissoziation der Roll-Gleit-Bewegung mit pathologischer vermehrter Rollbewegung. Zudem führt die vergrößerte Rotationsfreiheit zu einer Vermehrung der Innenrotation der Tibia, die sich für den Patienten im Pivot-shift-Phänomen äußert (20).

Geschätzte 100.000 - 200.000 Kreuzbandrisse werden alleine in den USA diagnostiziert, von denen sich 60.000 Patienten einem operativen Eingriff unterziehen. (3). Der Verletzungsmechanismus ist zu 50% ein Verdrehtrauma beim Schifahren, zu 27% beim Fußball und zu 23% beim Basketball (4). In einer Ski-Nation wie Österreich passieren pro Skisaison ebenfalls 30.000 - 40.000 Kreuzbandrisse.

Arthrosen und mediale Knorpelläsionen nach der Ruptur des vorderen Kreuzbandes sind bekannte und oftmals untersuchte Nebeneffekte sowohl bei operierten als auch bei nicht operierten Kreuzbandpatienten (10).

Eine verminderte Rekrutierungsfähigkeit der motorischen Einheiten des M. quadriceps, die mittels EMG nachgewiesen werden kann, zeigt eine veränderte Struktur des sensomotorischen Systems. Diese führt immer auch zu einer bleibend veränderten Funktion (11, 12, 13, 14, 15, 16, 18). Diese funktionelle Narbe ist eine bevorzugt qualitativ veränderte Aktivierungsfähigkeit des M. quadriceps im Sinn der intramuskulären und intermuskulären koordinativen Störung.

Training verbessert aber die intra- und intermuskuläre Koordination. Sie ist verantwortlich für die Kraftsteigerung des Muskels, die die Ökonomisierung des Bewegungsablaufes gewährleistet. Krafttraining und koordinatives Training sind derzeit die State of the Art Methoden in der Rehabilitation kreuzbandverletzter Patienten.

Ausdauertraining hingegen ist noch unzureichend in diesem Kontext untersucht. Ausdauer ist die Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdung. Ausdauertraining verbessert die Kapillarisation und dient ebenfalls der Ökonomisierung des Bewegungsablaufes (17, 18, 19).

Die Kraftausdauer als Schnittstelle zur Ausdauer ist die Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegenüber lang dauernden Kraftleistungen im Kraftniveau zwischen 35 und 60% der Maximalkraft (17). Ein effektives Krafttraining ist aber nur möglich, wenn die Sauerstoffversorgung (durch Ausdauertraining) gewährleistet ist (19).

Daher geht diese Arbeit der Frage nach, ob man nach einer operativen Sanierung des vorderen Kreuzbandes mit Ausdauertraining, das mit koordinativem Training kombiniert wird, im Gegensatz zu einer Krafttrainingsgruppe kombiniert mit koordinativem Training eine bessere Kraftentwicklung des M. quadriceps erzielt?

## **Methode**

### **Ethikkommission**

Das Studiendesign wurde von der Ethikkommission Vorarlberg in Rankweil freigegeben und alle Patienten unterschrieben einen informed consent. Die Studie wurde als randomisierte, kontrollierte Studie geführt. Die Randomisierung erfolgte nach einer Liste in die in der Reihenfolge des Eintreffens der Patientinnen diese wechselseitig der Interventions- oder Kontrollgruppe zugeordnet wurden.

### **Probandenauswahl**

8 Patienten mit rupturiertem vorderem Kreuzband wurden für die Studie rekrutiert. 2 Patientinnen mussten aufgrund eines Knieinfektes bzw. einer verschobenen Operation ausgeschlossen werden.

Alle 6 Patientinnen waren weiblich im Alter von 18 - 49 Jahren. Die Operationsmethode war einheitlich Semitendinosusplastik. Die durchschnittliche Zeitspanne zwischen Verletzung und Operation lag bei 4 - 14 Wochen. Es wurden nur weibliche Probanden ausgewählt, um eine bessere Vergleichbarkeit der Gruppen herzustellen.

### **Einschlusskriterien**

- keine Knieverletzung im kontralateralen Bereich
- Patienten mit vorderer Kreuzbandplastik
- sportlich motivierte Patienten, die den Trainingsinhalt bewältigen können
- Patienten mit Begleitverletzung mediale Seitenbandruptur bzw. mediale Meniscusläsion
- regelmäßiges oder unregelmäßiges Training vor der Kreuzbandoperation

### **Ausschlusskriterien**

- Patienten mit komplexen Knietraumen
- Patienten, die nach dem Trauma innerhalb von 48 Stunden operiert werden
- Patienten mit weiteren Begleitverletzungen der oberen und der unteren Extremität
- Patienten mit neurologischen Erkrankungen
- Patienten mit Herz- Kreislauferkrankungen

### **Messungsinstrumente**

Die Bestimmung der intramuskulären Koordination des M. quadriceps femoris erfolgte mit der Oberflächen-Elektromyographie (SEMG) mit dem Gerät. MyoSystem der Firma Noraxon mit einer 4 Kanaleinheit. Die SEMG Messungen fanden präoperativ und jeweils 6 und 12 Wochen postoperativ statt. Dazu wurden 2 Elektroden von der Firma Ambu vom Typ Blue Sensor P in Faserrichtung der Innervationszone der zu messenden Muskeln, des M. rectus femoris, M. vastus

medialis und M. vastus lateralis geklebt. Eine indifferente Elektrode wurde an der Kniescheibe angebracht. Zuerst wurde die nichtoperierte, dann die operierte Seite gemessen. Die Patienten wurden zur Verstärkung der Muskelanspannung verbal motiviert.

Die Ausgangsstellungen der Messungen waren isometrisch im Langsitz mit einer Knierolle bei 30 Grad Knieflexion und im Einbeinstand bei 30 Grad Knieflexion mit geschlossenen und geöffneten Augen. Betrachtet wurde die Anspannung des M. quadriceps für 10 Sekunden in Zeitabschnitten von 5 Sekunden. Die zu messende Einheit beträgt dabei Mikrovolt mal Sekunde (1 Mikrovolt = 1 Millionstel Volt).

Die Datenanalyse erfolgte mit dem Softwareprogramm Myo Research.

Zur Beschreibung des Schmerzes kam die NRS Skala von 0 - 10 zum Einsatz (28, 5). 0 bedeutet dabei kein Schmerz und 10 den maximal empfundenen Schmerz.

Auf Partizipationsebene wurde zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der SF-36 score (2,8) herangezogen. In der Studie wurde der Gesamtscore und als Untergruppe der Score für die körperliche Funktionsfähigkeit verwendet.

Die Funktionsebene des Kniegelenkes wurde mittels Tegnorscore bestimmt (1, 27).

Zur Beurteilung der Schwellung wurde der Gelenksumfang am Gelenksspalt, 5 cm caudal und 5 cm cranial davon gemessen. Da die Reliabilität und die Validität dieser Messung nicht sehr hoch ist, hat die Autorin die Messung mittels Reepschnur und gleichmäßigem Zug auf einer Federwaage (10 g) durchgeführt. Diese spezielle Messmethode müsste in einer eigenen Studie auf Reliabilität und Validität überprüft werden (26, 23).

Zur Erfassung der Ausdauerleistung der Probanden in der Interventionsgruppe diente das Modell S625X der Firma Polar. Mit dem Pulsmesser überprüften die Probanden der Interventionsgruppe ihre Trainingsleistung, sie mussten innerhalb der aeroben Zone (Grundlagenausdauerbereich 1) bleiben. Die Datenauswertung des Laufsensors erfolgte mit der Spezialsoftware Polar Pro Trainer 5 via Infrarotschnittstelle.

## **Behandlungsintervention**

Alle Patientinnen wurden am Tag der Operation mobilisiert und benutzten Gehstützen in der Dauer von 7 - 16 Tagen. Die 12 Wochen dauernde Physiotherapie mit 3 Therapieeinheiten pro Woche startete in 4 Fällen in der ersten postoperativen Woche und in 2 Fällen in der zweiten postoperativen Woche. Alle 6 Patientinnen wurden sowohl über den Verletzungsmechanismus als auch über Operationsmethoden und die Wichtigkeit der postoperativen Nachbehandlung bzw. des postoperativen Muskelaufbaus informiert. Alle Patientinnen trainierten nach dem Studienprotokoll und es gab keine Komplikationen innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Zusätzlich zum Training bekamen alle Patientinnen bei jeder Trainingseinheit Schwellstrom und 30 Minuten physiotherapeutische Behandlung, in den ersten Wochen hauptsächlich in Form von Lymphdrainagen und Extensionsmobilisation, ab der 3./4. postoperativen Woche zusätzlich mit Koordinationstraining am Kreisel.

## **Ausdauertrainingsgruppe (Interventionsgruppe):**

Das Rehabilitationsprogramm startet ab Anfang der 3. Woche nach der Operation, dreimal in der Woche für 12 Wochen. Dauer einer Einheit: 45 Minuten.

### **Phase 1 – 3 (Woche 3 – 12)**

Die individuelle aerobe/anaerobe Schwelle wurde in der 3. postoperativen Woche der Interventionsgruppe durch den Studienbetreuer mittels Lactatwertbestimmung eruiert.

Die Probanden der Interventionsgruppe trainierten in dem durch die Lactatmessung bestimmten Grundlagenausdauerbereich 1 (Lactat 2) dreimal pro Woche im Ausmaß von 45 Minuten.

## **Krafttrainingsgruppe (Kontrollgruppe):**

Das Rehabilitationsprogramm startet ab Anfang der 3. Woche nach der Operation, dreimal in der Woche für 12 Wochen. Dauer einer Einheit: 45 Minuten.

### **Phase 1 (Woche 1-3)**

**Verfahren:** mittlerer Kräfteinsätze und mittlerer Wiederholungszahl

**Intensität:** 40 - 60% der Maximalkraft, Ausführung mit operiertem Bein und mit gesundem Bein mit gleicher Gewichtsbelastung mit Rücksichtnahme auf eventuelle Schwellung im Kniegelenk.

**Umfang:** 3 Serien mit 10 - 12 Wiederholungen

**Ausführung:** zügig

- Stand volle Gewichtsbelastung auf beiden Beinen: mini squats mit Gewicht
- Stand Calfraises mit Gewicht
- Sitz Hamstringcurls: Kräftigung Hamstrings mit Gewicht
- Sitz/Stand Hüft Abduktion und Adduktion mit Gewicht
- Liegen Leg press: Beinpresse mit Gewicht

### **Phase 2 (Woche 4-8)**

**Verfahren:** mittlerer bis hoher Krafteinsatz und geringer Wiederholungsanzahl

**Intensität:** 60-80% der Maximalkraft, Ausführung mit operiertem und nichtoperiertem Bein mit gleicher Gewichtsbelastung mit Rücksichtnahme auf eventuelle Schwellung im Kniegelenk

**Umfang:** 3 Serien mit 4 - 8 Wiederholungen

Gleiche Übungen wie in Phase 1, zusätzlich

- Übungen im Einbeinstand mit Zugapparat in anteriore/posteriore/laterale Richtung

### **Phase 3 (Woche 9 – 12)**

**Verfahren mittlerer bis hoher Krafteinsatz und höherer Wiederholungsanzahl:**

**Intensität:** 60 - 80% der Maximalkraft

Gleiche Übungen wie in Phase 2

**Umfang:** 5 Serien mit 8 - 12 Wiederholungen, Ausführung mit operiertem und nichtoperiertem Bein mit gleicher Gewichtsbelastung mit Rücksichtnahme auf eventuelle Schwellung im Kniegelenk

**Ausführung:** zügig bis schnell

## Statistische Methode

Zum Vergleich zwischen den Gruppen zum Basiszeitpunkt sowie 6 und 12 Wochen postoperativ kommt der gepaarte t-Test zum Einsatz.

Für den Vergleich zwischen den beiden unabhängigen Gruppen wird der ungepaarte t-Test herangezogen.

## Ergebnisse

	Interventionsgruppe		Kontrollgruppe		Mean differences	95% CI upper	Effect size
	No	Score	No	Score			
<b>Schmerz im RZ, NRS 0-10</b>							
Präoperativ	3	1,67 ± 0,58	3	1,67 ± 0,58	-30,00	1,31	1,00
12 Wo postop.	3	1,67 ± 1,15	3	1,00 ± 1,00	1,67	3,11	0,49
<b>Tegnerscore</b>							
Präoperativ	3	59,67 ± 18,58	3	88,33 ± 3,51	-28,67	1,65	0,06
12 Wo postop.	3	84,00 ± 5,00	3	88,00 ± 2,00	-4,00	4,63	0,27
<b>SF-36 allg.</b>							
Präoperativ	3	65,00 ± 9,85	3	89,67 ± 2,31	-24,67	-8,45	0,01‡
12 Wo postop.	3	82,00 ± 13,23	3	88,67 ± 3,21	-6,67	15,15	0,44
<b>SF-36 Körperl. Rollenf.</b>							
Präoperativ	3	60,00 ± 43,59	3	90,00 ± 5,00	-30,00	40,33	0,30
12 Wo postop	3	88,33 ± 5,77	3	86,67 ± 7,64	1,67	17,01	0,77
<b>Umfangmess. 5cm cr. Gel. spalt</b>							
Präoperativ	3	36,50 ± 1,32	3	34,33±1,53	2,17	5,40	0,14
12 Wo postop.	3	36,67 ± 2,08	3	34,38±2,75	1,83	7,36	0,41

Mean scores ± SD (Standardabweichung) pro Gruppe; Mean differences: negative Werte indizieren Verbesserung; 95% CI upper°=°95% iges Konfidenzintervall; Körperl. Rollenf°=°Körperliche Rollenfunktion; .cr°=°cranial; postop°=°postoperativ; Gel.spalt°=°Gelenkspalt; RZ°=°Ruhezustand; ‡P<0,05

Tabelle 1: Schmerz, Schwellung und körperliches Wohlbefinden

In Tabelle 1 sind die in der Studie beobachteten Parameter zu Schmerz, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF-36 allgemein), dem Score für die körperliche Funktionsfähigkeit (SF-36 Körperliche Rollenfunktion), die Funktionsebene des Kniegelenkes (Tegnerscore) und der Beurteilung der Schwellung (Umfangmessung) zusammengefasst. Die Betrachtung der unterschiedlichen Parameter zeigt dabei keine verwertbaren Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe.

So wird im Folgenden ausschließlich auf die Ergebnisse der SEMG Messungen eingegangen.

Es kommt in beiden Gruppen nach einem postoperativen Ansteuerungsverlust (21, 22) im operierten Bein zu einer sich bessernden Ansteuerung im Untersuchungszeitraum (bis zur 12. postoperativen Woche). Der Vergleich mit der gesunden Seite zeigt dabei eine bessere Ansteuerung in der Ausdauergruppe gegenüber der Krafttrainingsgruppe (Abb. 1, 2)

Die verminderte EMG Aktivität des M. quadriceps der verletzten Extremität, ausgedrückt in Prozente der nicht betroffenen Seite (Mittelwerte) bei isometrischer Muskelanspannung beträgt nach 6 Wochen bei den Probanden der Interventionsgruppe 72% und der Kontrollgruppe nur 39%. 12 Wochen postoperativ hat sich der Wert in der Interventionsgruppe auf 85% und der Kontrollgruppe auf 66% verbessert (Abb. 1)

Bei der Übung in der Halbkniebeuge mit visueller Kontrolle beträgt die EMG Aktivität des M. quadriceps der verletzten Extremität, ausgedrückt in Prozent der nicht betroffenen Seite (Mittelwerte) nach 6 Wochen bei den Probanden der Interventionsgruppe 90% und der Kontrollgruppe 117%. 12 Wochen postoperativ hat sich der Wert in der Interventionsgruppe auf 115% und der Kontrollgruppe von 109% verbessert (Abb. 2).

Die verminderte EMG Aktivität des M. quadriceps 6 Wochen postoperativ, ausgedrückt in Prozente der präoperativen Messung (Mittelwerte) bei isometrischer Muskelanspannung beträgt nach 6 Wochen bei den Probanden der Interventionsgruppe 60% und der Kontrollgruppe 68%. 12 Wochen postoperativ hat sich der Wert in der Interventionsgruppe auf 59% und der Kontrollgruppe von 112% verbessert (Abb. 1).

Bei der Übung in der Halbkniebeuge mit visueller Kontrolle beträgt die EMG Aktivität des M. quadriceps der verletzten Extremität 6 Wochen postoperativ, ausgedrückt in Prozente der präoperativen Messung (Mittelwerte) bei isometrischer Muskelanspannung bei den Probanden der Interventionsgruppe 85% und der Kontrollgruppe 91%. 12 Wochen postoperativ hat sich der Wert in der Interventionsgruppe auf 103% und der Kontrollgruppe von 141% verbessert (Abb. 2).

Deutlich ist dabei, dass die Kontrollgruppe mit einem wesentlich geringeren Ansteuerungsniveau präoperativ startet, dieses sich aber an den Wert der Interventionsgruppe 12 Wochen postoperativ angleicht, das heißt dass die Muskelrekrutierung des M. quadriceps in der Kontrollgruppe speziell in der Übung in der Halbkniebeuge mit optischer Kontrolle im Untersuchungszeitraum effizienter abläuft.

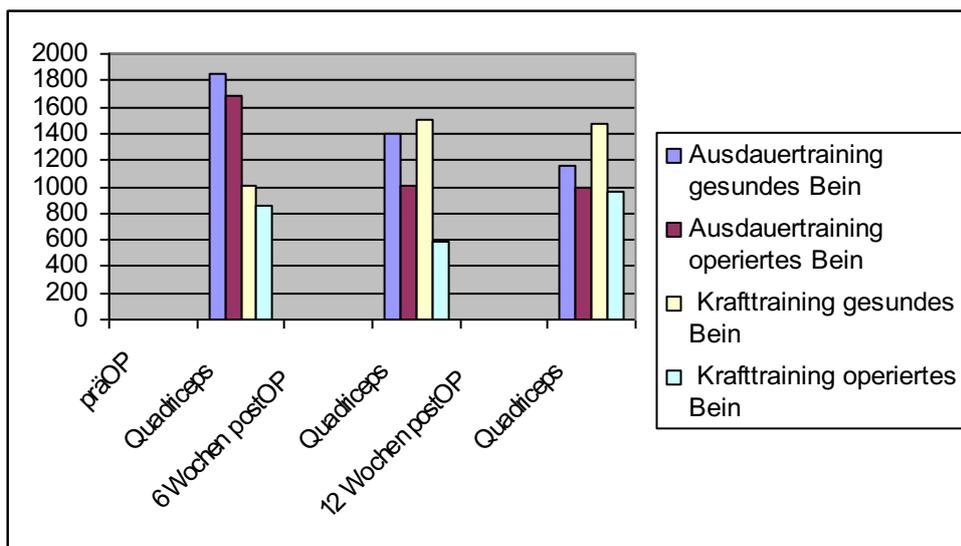


Abbildung 1: Quadricepsaktivität Isometrie Krafttrainingsgruppe / Ausdauergruppe im gesunden / operierten Bein IEMG ( $\mu\text{V}\cdot\text{sec}$ ) Mittelwert

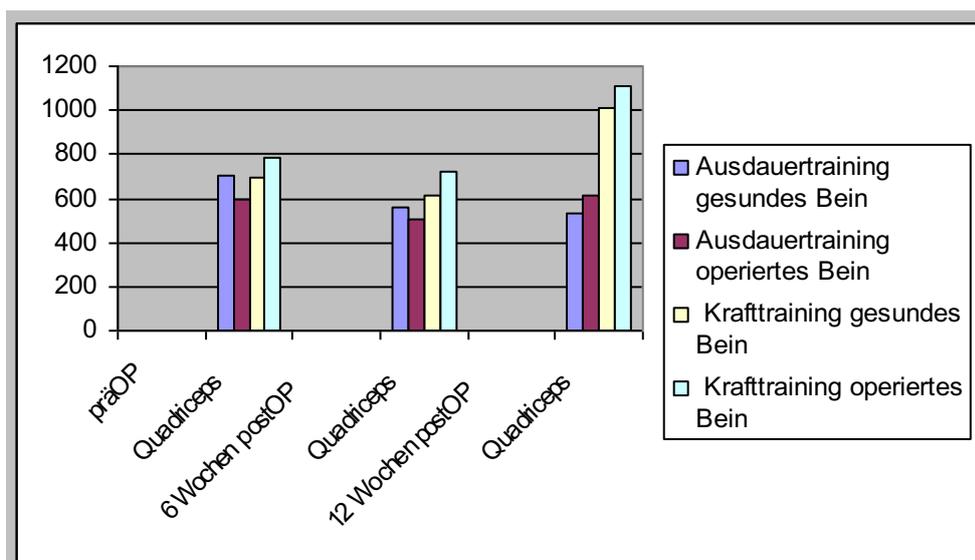


Abbildung 2: Quadricepsaktivität Einbeinstand Augen offen Krafttrainingsgruppe / Ausdauergruppe im gesunden / operierten Bein IEMG ( $\mu\text{V}\cdot\text{sec}$ ) Mittelwert

## Diskussion

Der präoperative Ansteuerungsverlust des M. quadriceps in der Interventionsgruppe von 9% und der Kontrollgruppe von 15% im Gegensatz zum gesunden Bein hält sich auf ähnlichem Niveau wie von McHugh et al (21) und Laube et al (13) mit 16% beschrieben, wobei der höhere Ausgangswert in der Interventionsgruppe eher dem Zufall zugeordnet werden kann.

Es kommt allerdings in beiden Gruppen nach einem postoperativen Ansteuerungsverlust (21) im operierten Bein zu einer sich bessernden Ansteuerung im Untersuchungszeitraum (bis zur 12. postoperativen Woche). Der Vergleich mit der gesunden Seite zeigt eine bessere Ansteuerung in der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Laube et al (13) postulierte in der 7. postoperativen Woche eine verminderte EMG Aktivität des M. quadriceps der verletzten Extremität, ausgedrückt in Prozente der nicht betroffenen Seite bei der Übung in Isometrie von 48 - 63%, was sich mit den Studienergebnissen annähernd deckt (39-72%). Die Verbesserung der Ansteuerung bei der Übung in Halbkniebeuge mit optischer Kontrolle von 90-117% der verletzten Extremität ausgedrückt in Prozente der nicht betroffenen Seite widerspricht der Aussage von Laube et al(13), der 65 - 75% postuliert.

Dass die Kontrollgruppe mit einem wesentlich geringeren Ansteuerungsniveau präoperativ startet, dieses sich aber an den Wert der Interventionsgruppe 12 Wochen postoperativ angleicht, wird auch in der Studie von Häkkinen et al (7), die ein Krafttrainingsprogramm mit einem kombinierten Ausdauer- und Krafttrainingsprogramm bei gesunden männlichen Probanden vergleichen, gestützt. Sie kommen zu dem Schluss, dass es bezüglich der neuromuskulären Anpassungen und Kraftentwicklung des M. quadriceps eine bessere Entwicklung in der Krafttrainingsgruppe gibt, obwohl die Gruppe mit dem kombinierten Training zwei Einheiten zusätzlich trainierte.

Bezüglich der Kraftentwicklung untersuchen Izquierdo et al (9) gesunde Probanden innerhalb einer Trainingsperiode von 16 Wochen mittels Krafttraining alleine, Ausdauertraining alleine, und einem kombinierten Programm von Kraft- und Ausdauertraining. Sie beobachten einen größeren Kraftanstieg der Kniestrecker Muskeln in der Krafttrainingsgruppe und in der kombinierten Gruppe im Gegensatz zur Ausdauergruppe alleine.

Ob sich die Studienergebnisse von Häkkinen et al (7) und Izquierdo et al (9) auf Patienten mit einer funktionellen Narbe nach vorderer Kreuzbandoperation übertragen lassen, muss an dieser Stelle offen gelassen werden.

Dabei ist zu bemerken, dass es bei einem Krafttraining in jedem Fall zu einer verbesserten Ansteuerung kommt. Jedoch fehlt der Effekt des Ausdauertrainings in

Bezug auf die verbesserte Kapillarisation des Muskels und Ökonomisierung des Bewegungsablaufes.

Dass die intramuskuläre Koordination in der Ausdauergruppe, aber auch in der Krafttrainingsgruppe bei der isometrischen Übung im Sinne einer funktionellen Narbe gestört ist, bestätigen auch Van Lent et al (29). Sie vergleichen in ihrer Studie kreuzbandoperierte Patienten mit Personen ohne Knieprobleme mittels EMG Messung. Sie betonen auch die Wichtigkeit des Ausdauertrainings im Zuge der Kreuzbandrehabilitation, die ihrer Ansicht nach mit Krafttraining und Koordinationstraining kombiniert werden sollte.

Die Trainierbarkeit des M. quadriceps ist somit reduziert. Die Krafttrainingsgruppe scheint allerdings mit einem besseren Ansteuerungsniveau speziell zwischen der 6. und 12. postoperativen Woche zu punkten. Bei der Übung in der Halbkniebeuge scheint die Ansteuerung über dem Niveau des gesunden Beines anzusteigen. Es ist auch eine Abschwächung des gesunden Beines in beiden Gruppen zu beobachten. Dieses hat sich im selben Maß an die Schwäche des operierten Beines angepasst.

Die Frage inwieweit sich gezieltes Ausdauertraining kombiniert mit koordinativem Training auf die Rekrutierungsfähigkeit des M. quadriceps auswirkt, wird auch mit der obigen Aussage beantwortet. Es scheint, dass Ausdauertraining in der Lage ist, die motorischen Einheiten im Sinne einer verbesserten Ansteuerung zu aktivieren.

Ausdauertraining ist zudem notwendig, um eine gewisse Ermüdungsresistenz für das Koordinations- und Krafttraining zu schaffen (19). Es verbessert sich die Belastbarkeit des passiven Anteils des Stütz- und Bewegungsapparates durch Adaptationen der Sehnen, der Bänder und des Knochens entsprechend der Hauptbelastungsrichtung der gewählten Belastungsarten (18). Die Kapillarisation des Muskels steigt und die Ökonomisierung der Bewegungsprozesse wird durch konsequentes Ausdauertraining erheblich verbessert (17).

Sinnvoll wären daher die Kombination der untersuchten Trainingsmethoden und die Anpassung des bisher eher krafttrainingsbetonten Behandlungsregimes nach vorderer Kreuzbandoperation aus den zuvor genannten Gründen.

Inwieweit sich das Ergebnis mit rein weiblichen Probanden, die 6 - 8mal so häufig von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes betroffen sind, auf Männer umlegen lässt, muss offen gelassen werden.

### **Zusammenfassung/Schlussfolgerung**

Im isometrischen Kraftvergleich befindet sich die Krafttrainingsgruppe, die zufällig mit einem geringeren Rekrutierungsniveau startet, 12 Wochen postoperativ auf dem Niveau der Ausdauertrainingsgruppe. Sie weist im Vergleich zum präoperativen Ansteuerungsniveau eine höhere Anzahl an rekrutierten motorischen Einheiten des M. quadriceps gegenüber der Ausdauertrainingsgruppe auf. Der Vergleich zur gesunden Seite zeigt jedoch eine verbesserte Ansteuerung in der Ausdauertrainingsgruppe. In der funktionellen Übung der Halbkniebeuge verbessern sich beide Gruppen gegenüber dem Ausgangswert deutlich. Ausdauertraining schafft zudem die Basis für das Krafttraining durch eine verbesserte Kapillarisation des Muskels und durch die Ökonomisierung des Bewegungsablaufes (19). Deshalb ist es als Ergänzung zum gängigen Rehabilitationsprozedere, bestehend aus Krafttraining und Koordinationstraining, zu empfehlen.

Es muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass in dieser Studie nur 6 Probanden randomisiert wurden und keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe festgestellt wurden. Da die Rehabilitation kreuzbandoperierter Patienten nicht in diesem Beobachtungszeitraum abgeschlossen ist, sollte die Wirkung des Ausdauertrainings auf die Rekrutierungsfähigkeit des M. quadriceps in einer größer angelegten Studie mit einer höheren Probandenanzahl über einen längeren Zeitraum von mindestens 2 Jahren untersucht werden.

### **Literatur**

- 1 Briggs KK**, Kocher MS, Rodkey WG, Steadman JR, (2006) „Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner activity scale for patients with meniscal injury of the knee“ J Bone Joint Surg Am.; 88(4):698-705
- 2 Bullinger M**, (1996) „Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem SF-36 Health Survey“ Rehabilitation; 35,27-29)
- 3 Chmielewski TL**, Hurd WJ, Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L, (2005) „Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction

after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture" Physical Therapy; 85(8):740-749

**4 Ciccotti MG**, Lombardo SJ, Nonweiler B, Pink M, (1994) „Non operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle- aged patients. Results after long- term follow-up“ Journal of. Bone and Joint Surgery; 76:1315-1321

**5 Ferraz MB**, Quaresma MR, Aquino LR, Atra E, Tugwell P, Goldsmith CH, (1990) „Reliability of pain scales in the assessment of literate and illiterate patients with rheumatoid arthritis" J Rheumatol.; 17(8):1022-4

**6 Gerdle B**, Larsson B, Karlsson S, (2000) „Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: a study of repetitive maximum isokinetic knee extensions" J ElectromyogrKinesiol.; Aug 10(4):225-232

**7 Häkkinen K**, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Häkkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L, (2003) „Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training" Eur J Appl Physiol.; Mar;89(1):42-52

**8 Hurst NP**, Ruta DA, Kind P, (1998) „Comparison of the MOS short form-12 (SF12) health status questionnaire with the SF36 in patients with rheumatoid arthritis" Br J Rheumatol.; 1998 37 (8):862-9

**9 Izquierdo M**, Häkkinen K, Ibàñez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM, (2005) „Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men" Eur J Appl Physiol.; May;94(1-2):70-75

**10 Jäger A**, Kappler C, Welsch F,. (2005) „Vordere Kreuzbandplastik:Langzeitprognosen" Arthroskopie; 18: 53-59

**11 Laube W**, (1997) „Neurophysiologische Funktionsstörungen des M. quadriceps femoris nach Kreuzbandverletzungen und Aspekte zur indikationsgerechten Therapie" Orthopädie- Technik; 12/97:1018-1033

**12 Laube W**, Weber J, Thue L, Schomacher J, (1998a) „Aktive Übungen- arbeitet der Zielmuskel wirklich? KinesiologischeElektromyographie, Teil 1" Manuelle Therapie; 2 :52-59

**13 Laube W**, Weber J, Thue L, Schleicher W, (1998b) „Persistierende Kraftdefizite nach Hüft-TEP und Kreuzband OP infolge gestörter Muskelaktivierung. Kinesiologische Elektromyographie Teil 2" Manuelle Therapie 2:120-129

**14 Laube W**, Hildebrandt H-D, (2000a) „Auswirkungen einer defizitären Propriozeption auf die Bewegungsprogrammierung- koordinative Aspekte nach Kniegelenkverletzung und bei Rückenpatienten" Orthopädie-Technik 06/00:534-550

**15 Laube W**, (2000b) „Die funktionellen Störungen im sensomotorischen System infolge struktureller Veränderungen im afferenten Teil nach Gelenkverletzungen (ACL) oder degenerativer Erkrankung (TEP des Hüftgelenkes) und der sensomotorische Stereotyp der Hüftgelenkextension bei klinisch gesunden Personen und low back pain Patienten als pathogenetischer Faktor“ In: Jerosch, J (Hrsg.) Sensomotorik-Aktuelle Aspekte zur Sensomotorik und Propriozeption in Forschung, Klinik und Praxis. Pro Sympos Eigenverlag Essen pp.9-26

**16 Laube W**, (2002) „Die Funktion des sensomotorischen Systems in der orthopädisch- traumatologischen Rehabilitation - Was ahnten wir? Was sollte sich ändern in der Rehabilitation nach Gelenkeingriffen?“ In: Frenzel G, Wuschech H (Hrsg.) Arthroskopische Gelenkchirurgie gestern- heute- morgen Standortbestimmung. Congress Compact Verlag Berlin pp. 162-178

**17 Laube W**, Müller K, (2004) „Der passive Muskeltonus als biophysikalische und der aktive Muskeltonus als neurophysiologische Zustandsgröße aus physiologischer und pathophysiologischer Sicht“ Österreich. Z. Phys. Med. Rehabil.; 14/1:10-28

**18 Laube W**, (2005a) „Physiologie, Leistungsphysiologie, Pathophysiologie und Trainingslehre“ In: Becker A, Dölken M, (Hrsg.) Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp. 127-319, ISBN 3-13-136861-6

**19 Laube W**, (2008a) „Was ist Koordination?“ In: Bertram AM, Laube W “Sensomotorische Koordination- Gleichgewichtstraining auf dem Kreisel” Thieme Verlag Stuttgart pp. 4-26 ISBN 978-313-143791-4

**20 Lobenhoffer P**, Agneskircher DJ, (2005) „Vorderes Kreuzband: was ist gesichert?“ Arthroskopie; 18:11-14

**21 McHugh MP**, Tyler TF, Nicholas SJ, Browne MG, Gleim GW, (2001) „Electromyographic predictors of residual quadriceps muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction“ Am. Journal for sports medicine; 30(3):334-339

**22 McHugh MP**, Tyler TF, Nicholas SJ, Browne MG, Gleim GW, (2001) „Electromyographic analysis of quadriceps fatigue after anterior cruciate ligament reconstruction“ J Orthop Sports PhysTher.; 31(1):25-32

**23 Nicolakis P**, Nicolakis M, Dorotka R, Ebenbichler G, Uher E, (2000) „Evaluating rehabilitation progress by measuring thigh circumference“. Z OrthopHreGrenzgeb.; Nov-Dec.138(6):526-9

**24 Roberts D**, Andersson G, Fridèn T, (2004) „Knee joint proprioception in ACL deficient knees is related to cartilage injury, laxity and age“ ActaOrthop. Scand.; 75 (1): 78-83

**25 Schiller M**, Hoffmann F, (2005) „Vordere Kreuzbandplastik: Wahl des Ersatzmaterials“ Arthroskopie; 18:21-23

**26 Soderberg GL**, Ballantyne BT, Kestel LL, (1996) „Reliability of lower extremity girth measurements after anterior cruciate ligament reconstruction” *Physiother Res Int*; 1(1):7-16

**27 Tegner Y**, Lysholm J, (1985) „Rating systems in the evaluation of knee injuries” *ClinOrthopRelat Res*; 198 (9):43-49

**28 Tiplady B**, Jackson SH, Maskrey VM, Swift CG, (1998) „Validity and sensitivity of visual analogue scales in young and older healthy subjects” *Age Ageing*; 27 (1):63-6

**29 Van Lent ME**, Drost MR, vdWildenberg FA, (1994) „EMG profiles of ACL-deficient patients during walking: the influence of mild fatigue” *Int. J. Sports Med.*; 15 (8):508-14