

# BACHELORARBEIT II

Titel der Bachelorarbeit

Rehabilitation einer auftretenden Muskelschwäche am  
M. quadriceps femoris nach einer vorderen Kreuzbandruptur

Verfasser

Alexander Kornfeld BSc.

angestrebter akademischer Grad

Bachelor of Science in Health Studies (BSc.)

St. Pölten, 2019

Studiengang:

Physiotherapie

Jahrgang:

PT 16

Betreuerin / Betreuer:

Dr. Brian Horsak

# EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Dieses Bachelorarbeitsthema habe ich bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.

.....  
Datum

.....  
Unterschrift

## I. Abstract (Deutsch)

**Einleitung:** Aus physiologischer Sicht ist eine Muskelinhibition direkt nach einer Operation oder Verletzung ein notwendiger Schutz dafür, dass das Gewebe nicht zu stark beansprucht wird. Im späteren Heilungsverlauf verzögert sich die Rehabilitationsdauer allerdings aufgrund dieser Muskelinhibition. In der physiotherapeutischen Praxis ist eine arthrogene Muskelinhibition (AMI) des M. quadriceps femoris, als Folge eines traumatischen Erlebnisses oder einer Operation am Kniegelenk ein sehr häufig auftretendes Problem. Aufgrund der Tatsache, dass Muskelkraft und -ausdauer des Quadriceps eine tragende Rolle für eine gesunde Kniegelenksfunktion spielen, dürfen diese Komponenten zur Generierung einer physiologischen Quadricepsfunktion nach einer vorderen Kreuzbandverletzung in einem guten Rehabilitationsprogramm nicht fehlen. Ziel dieser Studie ist es daher die unterschiedlichen Rehabilitationsmaßnahmen zu benennen und zu erklären.

**Methodik:** Die Literaturrecherche dieser Arbeit fand vorwiegend in Pubmed, Springlink und in der Pedro-Datenbank statt. Durch verschiedene Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Studien gefiltert, sortiert und entweder für die Arbeit herangezogen oder verworfen. Nach Ausschluss jener Studien, die die Kriterien nicht erfüllt haben, erfolgte die Bewertung der methodischen Qualität der Studien durch die Pedro-Skala und die AMSTAR-Skala.

**Ergebnisse:** In dieser Arbeit wurden vier RCT, eine Längs-, eine Querschnittsstudie und eine Literaturarbeit untersucht. Die Ergebnisse der Studien, die dieser Arbeit zugrunde gelegt wurden lassen vermuten, dass eine Kombination der untersuchten Therapiemethoden den größten Erfolg im Hinblick auf die Wiederaktivierung des M. quadriceps femoris bei Patientinnen mit AMI nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion verspricht.

**Schlussfolgerung:** Das Resultat dieser Arbeit zeigt, dass eine Kombination der Therapiemethoden den höchsten Verbesserungseffekt aufweist. Jedoch untersuchten die herangezogenen Studien hauptsächlich zwei kombinierte Therapieformen, weshalb die Frage eines noch positiveren Effekts einer Kombination Mehrerer weitgehend offen bleibt. Hier sollte weitere Forschung hinsichtlich kombinierter Methoden betrieben werden.

**Schlagworte (mind. 3, max. 6):**

Arthrogene Muskelinhibition, ACL-Ruptur, Rehabilitation, M. quadriceps femoris

## II. Abstract

**Introduction:** From a physiological point of view a muscle inhibition, applied directly after surgery or injury, is necessary to protect tissue from being strained too much, however, in later stages of the healing process a muscle inhibition slows down the rehabilitation. In physiotherapy an arthrogenic muscle inhibition (AMI) of the M. quadriceps femoris is a commonly occurring result of a traumatic injury or surgery of the knee joint. Because muscle strength and stamina of the quadriceps play a fundamental role for a healthy functionality of the knee joint, components to generate a physiological quadriceps function after an injury to the anterior cruciate ligament are a must in every good rehabilitation program. The goal of this paper therefore is to list different methods of rehabilitation and to address those therapy methods.

**Methods:** The literature research for this paper was predominantly done using Pubmed, Springlink and the Pedro-database. Then the results were sorted by using inclusion and exclusion criteria. Then the methodological quality of the remaining studies was judged using the Pedro scale and the AMSTAR checklist.

**Results:** For this paper four RCT-studies, one longitudinal and one cross sectional study have been used. The data collected for this paper suggests that for patients with AMI after reconstructive surgery on the anterior cruciate ligament a combination of the studied methods yields the best results for re-activating the m. quadriceps femoris.

**Conclusion:** This paper shows, that a combination of therapeutical methods has the best positive effect for patients with AMI after reconstructive surgery on the anterior cruciate ligament. However, the studies mostly just looked at a combination of up to two methods. If a combination of more methods yields better results can therefore not be answered entirely. Further research on the effect of combined methods is needed.

**Keywords (at least 3, max. 6):**

Arthrogene muscle inhibition, ACL-Ruptur, rehabilitation, M. quadriceps femoris

### **III. Inhaltsverzeichnis**

<b>I. ABSTRACT (DEUTSCH)</b>	<b>I</b>
<b>II. ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>III. INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>III</b>
<b>IV. ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>VI</b>
<b>V. TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>VII</b>
<b>VI. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>VIII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 FRAGESTELLUNG	2
1.2 DIE ANATOMIE DES KNIEGELENKS	2
1.3 PASSIVE UND AKTIVE STABILITÄT DES KNIEGELENKS	3
1.4 VORDERE KREUZBANDRUPTUR	5
1.5 ARTHROGENE MUSKELINHIBITION	6
1.6 EVIDENZEN DER THERAPIEMAßNAHMEN	9
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>10</b>
2.1 EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	10
2.2 SUCHSTRATEGIE	10
2.3 ANALYSE DER STUDIENQUALITÄT	11

2.3.1	PEDro-Skala	11
2.3.2	AMSTAR-Skala	12
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>13</b>
3.1	QUELLENANGABEN	13
3.2	STUDIENBEZOGENE FAKTEN	14
3.3	BEWERTUNG DER STUDIENQUALITÄT	16
3.4	KRYOTHERAPIE	16
3.5	VERSCHIEDENE VARIANTEN VON ELEKTROSTIMULATIONEN	18
3.6	TRAININGSTHERAPIE	22
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>33</b>
<b>A</b>	<b>ANHANG PEDRO-SKALA</b>	<b>38</b>
<b>B</b>	<b>ANHANG AMSTAR-SKALA</b>	<b>40</b>
<b>C</b>	<b>ANHANG TRAININGSÜBUNGEN</b>	<b>42</b>
<b>D</b>	<b>ANHANG MUSKELKRAFT UND MUSKELAKTIVITÄT</b>	<b>43</b>
<b>E</b>	<b>ANHANG AUFLISTUNG DER BASISUNTERSUCHUNGEN</b>	<b>44</b>



## **IV. Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Aufbau der Bandstrukturen eines Kniegelenks.....	4
Abb. 2: Schematisches Diagramm zeigend die beitragenden Faktoren einer M. quadriceps Muskelinhibition.....	6
Abb. 3: Selektive Studienrecherche.....	13

## **V. Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Suchbegriff der Literaturrecherche.....	11
Tab. 2: Studienbeschreibung der sieben untersuchten Studien.....	15
Tab. 3: Studien mittels PEDro- und AMSTAR-Skala bewertet.....	16

## VI. Abkürzungsverzeichnis

EMG.....	Elektromyographie
AMI.....	Arthrogene Muskelinhibition
TENS.....	Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
NEMS.....	Muscle Stimulation Neuromuscular Electrical Stimulation
PEDro.....	Physiotherapie Evidenz Datenbank
AMSTAR.....	Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews
FES.....	Functional Electrical Stimulation
TT.....	Trainingstherapie
KT.....	Kryotherapie
B-EMG.....	Biofeedback Electromyography
PS.....	Polystim
KH.....	Kneehab

# VORWORT

Ich wählte dieses Thema einerseits aus persönlichen Gründen und andererseits, weil ich der Ansicht bin, dass der Physiotherapie vor allem im Bereich der Rehabilitation besondere Bedeutung zukommt. Der persönliche Grund bezieht sich auf meine eigene Vorgeschichte. In meiner Zeit als Fußballer erlitt ich selbst zwei vordere Kreuzbandrisse und musste mich mit sehr viel Training und Physiotherapie selbst wieder an den Punkt zurückkämpfen, wo ich schmerzfrei Sport betreiben kann. Bereits im Zuge meines Rehabilitationstrainings nach dem ersten Vorfall fiel mir stetig die verminderte Leistung des betroffenen Beins auf, was ich jedoch zu diesem Zeitpunkt noch der unmittelbar vorangehenden Verletzung zusprach. Im Zuge des langwierigen Rehabilitationsprogrammes landete ich schlussendlich bei einer sehr fähigen Physiotherapeutin, welche mich erstmals über eine mögliche Beschädigung der Gelenksrezeptoren im verletzten Gebiet aufgeklärt hat. Jedoch bereits bei den ersten Anzeichen der Genesung und eines möglichen Wiedereinstiegs in meinen damaligen Sportalltag, ignorierte ich die Hinweise meiner Therapeutin und startete als bald als möglich wieder mit dem Training. Die Folge dieses uneinsichtigen Verhaltens war mein zweiter Kreuzbandriss. Trotz neuerlicher Operation und täglicher Therapie blieben bis heute alle betroffenen Muskelgruppen atrophiert, sodass ein Wiedereinstieg in den Leistungssport nicht mehr möglich war. Mit dieser Bachelorarbeit möchte ich vor allem die zentrale Rolle der vollständigen Genesung und der damit einhergehenden Rehabilitationstherapie erläutern und für zukünftige PatientInnen die möglichst erfolversprechenden Behandlungsvarianten evaluieren. Der zweite Grund warum ich dieses Thema gewählt habe ist die zentrale Rolle der Physiotherapie im Hinblick auf die konkrete Verletzung des vorderen Kreuzbandes und der Möglichkeit durch gezielte Therapie einer potentiell auftretenden Muskelschwäche entgegenzuwirken. Durch strukturierte und individuell angepasste Anwendung von Physiotherapie mit einem evidenzbasierten Rehabilitationsprogramm könnten einerseits weitere Verletzungen vermieden werden und andererseits die möglichen Auswirkungen und Folgen bestmöglich therapiert werden umso den Wiedereinstieg in den Lebens- und Sportalltag schmerzfrei und frei von Einschränkungen zu gewährleisten.

Besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle meinem Betreuer Dr. Brian Horsak aussprechen, der mir die Möglichkeit gegeben hat, über dieses für mich persönlich wichtige Thema zu schreiben und mit mir den grundlegenden Aufbau dieses Werkes

erarbeitet hat, sowie jederzeit für Fragen und Erklärungen zur Verfügung stand. Weiters ist es mir ein Anliegen mich an diesem Punkt bei meiner Freundin und meinen Freunden für die zahlreichen Stunden zu bedanken, die sie aufgewendet haben um diese Arbeit Korrektur zu lesen.

# 1 Einleitung

Knieverletzungen gehören zu den zweit häufigsten muskuloskelettalen Verletzungen in der Primärversorgung, wobei eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes die am öftesten auftretende Bänderläsion darstellt. Typische Symptome dieser Verletzung sind Schmerz und Schwellung einhergehend mit Laxität im Kniegelenk (Ahmad, 2016).

Die Pathomechanik einer vorderen Kreuzbandruptur zeigt sich durch eine Kombination unterschiedlicher Faktoren. Ausschlaggebend für das Entstehen dieser Symptome sind typischerweise instabile Landungen nach einem Sprung mit ungenügender Knie-Hüftflexion, sowie abrupte Stoppbewegungen verbunden mit einem Richtungswechsel, wenn sich der Fuß in einer geschlossenen Kette befindet (Silvers & Mandelbaum, 2007). Die Behandlung dieser Läsion kann sowohl als rein konservatives Rehabilitationsprogramm konzipiert werden oder kombiniert mit einer präoperativen Rekonstruktion erfolgen. Jedoch wurde in zahlreichen Studien, bei beiden Behandlungsvarianten eine wiederholt auftretende Schwäche des M. quadriceps festgestellt, die eine optimale Zurückführung in den Alltag stark verlangsamen kann (Palmieri-Smith, Thomas & Wojtys, 2008; Ingersoll, Grindstaff, Pietrosimone & Hart 2008). Laut Rice & McNair (2010) lässt sich die Muskelschwäche in einem geringen Ausmaß der Muskelatrophie und zu einem größeren Teil der arthrogenen Muskelinhibition (AMI) zuschreiben. Eine so genannte AMI entwickelt sich durch traumatisch bedingte oder postoperative Schmerzen, intraartikuläre Volumenansammlung und/oder Entzündungen (Herzog & Suter, 1997). Die Studie von Herzog & Suter (1997) beschreibt die AMI als einen neuromuskulären Prozess, der durch Schmerzen und als Folge einer Operation die Aktivität und somit die Muskelkraftentfaltung reduziert. Diesen Prozessen legen sie zwei Ursachen zu Grunde, einerseits die verringerte Anzahl motorischer Einheiten, die rekrutiert werden und andererseits die niedrigere Aktivitätsfrequenz der Muskulatur. Die Modifizierung einer arthrogenen Muskelinhibition findet im Zentralnervensystem statt (Palmieri-Smith et al. 2008; Ingersoll et al. 2008). Ausgelöst anhand starker Schmerzen, Verletzungen und/oder Operationen werden die sensomotorischen Informationen der Mechanorezeptoren stark gehemmt und es werden unzureichend afferente Reize generiert. Die Folge ist eine verringerte Muskelaktivität, die durch eine reduzierte Erregbarkeit der Alpha- Motoneuronen verursacht wird. Die Größe dieses Effektes ist direkt abhängig von der Aktualität und der Schwere der Verletzung (Ingersoll et al. 2008).

## 1.1 Fragestellung

Diese Arbeit zielt darauf ab, die möglichen und zielführenden therapeutischen Maßnahmen für die Wiederaktivierung der Muskelfasern am M. quadriceps femoris, nach einer vorderen Kreuzbandruptur postoperativ und posttraumatisch im Rehabilitativtraining aufzuzeigen. Es soll der derzeitige Forschungsstand in der Literatur zur bestmöglichen Therapie einer AMI nach einer vorderen Kreuzbandruptur dargestellt werden. Ein weiterer wesentlicher Aspekt dieser Arbeit wird sein, die verschiedenen Rehabilitationsprogramme zu erklären.

## 1.2 Die Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk ist das größte und komplexeste Gelenk des menschlichen Körpers. Es arbeiten der Oberschenkelknochen, der Os femoris und die Unterschenkelknochen, Tibia und Fibula harmonisch miteinander (Appell, & Stang-Voss, 1996, p. 85). Zwischen den Femur-, und Tibiakondylen befindet sich ein bikondyläres Scharniergelenk. Die Patella liegt auf der Facies patellaris des Femurs auf und sie bilden zusammen das femoropatelläre Gleitlager. Innerhalb des Kniegelenks unterscheiden Mediziner zwischen zwei Einzelgelenken. Einerseits dem Articulatio femoropatellaris und andererseits dem Articulatio femorotibialis, welche von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umschlossen sind (Palastanga & Soames, p. 278, 2012). Diese beiden Gelenke wirken unterschiedlich jedoch zusammenhängend auf das Bewegungsmuster des Kniegelenks ein (Appell & Stang-Voss, 1996, p. 83-88). Im Art. femorotibialis ist in der frontrotransversalen Achse eine Extension von 5-10° und eine Flexion von 120-150° möglich. In der frontosagittal Achse ist eine Außenrotation von 30-40° und eine Innenrotation von 10° durchführbar (Schünke, Schulte, Schumacher, Voll & Wesker, 2011, p. 443). Das Art. femoropatellaris bildet mit der Patellastellung eine zentrale Bedeutung für die Funktion des Kniegelenks. Die Zentrierung und Gleitfähigkeit der ventralen Lage der Patella am Knie ermöglicht eine bessere Hebelwirkung und damit höhere resultierende Kraftentwicklungen bei der Knieextension (Jauch, Mutschler, Hoffmann & Knaz, 2013, p. 550). Essentiell für die Funktion und die Belastung des Kniegelenks ist das harmonische Zusammenspiel der Bänder, Sehnen, Knochen und Muskeln. Nur eine stabile Interaktion aus diesen Strukturen ermöglicht die für das Kniegelenk charakteristischen Dreh-, Roll- und Gleitbewegungen (Wirtz, p. 19, 2011).

Das Kniegelenk weist eine physiologisch inkongruente Gelenksfläche zwischen Femur und Tibia auf. Diese Unebenheiten werden durch zwei Menisci ausgeglichen, dem

Meniscus lateralis und dem Meniscus medialis. Beide sind mit der Kniegelenkscapsel verwachsen. Hauptaufgabe der beiden Menisci ist die Druckverteilung auf die Gelenksflächen und die Kontaktflächenvergrößerung für die Kraftaufnahme (Schünke et al. 2011, p. 440). Wesentlich ist dass die Menisci trotz Verankerung beweglich sind, um mögliche Verletzungen weitgehend verhindern zu können. Weitaus verletzungsanfälliger als der Meniscus lateralis ist der mediale Meniscus, da dieser mit dem Ligament collaterale tibiale verwachsen ist. Der Meniscus medialis besitzt daher eine deutlich geringere Mobilität als der Laterale, der nicht mit dem Lig. collaterale fibulare verbunden ist (Schünke et al. 2011, p. 440).

Eine Vielzahl an Muskeln mit unterschiedlichsten Aufgaben umzieht das Kniegelenk. Allein an der Funktion der Flexion wirken zahlreiche Muskeln mit, der Musculus biceps femoris, M. gracilis, M. sartorius, M. semitendinosus, M. semimembranosus, M. gastrocnemius und der M. popliteus. Bei der Bewegung der Extension hingegen ist hauptsächlich der M. quadriceps femoris aktiv, er wird lediglich vom M. tensor fasciae latae unterstützt, jedoch ist diese Unterstützung vernachlässigbar klein. Für die Außenrotation des Unterschenkels ist fast ausschließlich der M. biceps femoris verantwortlich und für die Innenrotation sind die Muskeln M. sartorius, M. popliteus, M. semitendinosus, M. semimembranosus und der M. gracilis zuständig (Platzer, 2009, p.252).

### **1.3 Passive und aktive Stabilität des Kniegelenks**

Für die Stabilisation in der Bewegung des Kniegelenks sind hauptsächlich die Muskel-Sehnen-Einheiten gefordert. Sobald keine Muskelaktivität gegeben ist, wird das Gelenk nur noch passiv durch die Kapsel, Bänder, Gelenksflächen und die Meniscen stabilisiert. Jedoch können die passiven Strukturen die aktiven Stabilisatoren (Muskeln) beeinflussen und aktivieren. Die passiven Strukturen besitzen Propriozeptoren, die in Realzeit dem Zentralnervensystem die Muskel- und Gelenkspositionen (Situation) schicken und somit eine Muskelaktivität herbeiführen (Engelhardt & Freiwald, 1997). Bogdanis & Kalapotharakos (2015) beschreiben in ihrer Studie ausführlich wie wesentlich das Zusammenspiel des aktiven und passiven Bewegungsapparates für die Belastung und die Funktion des Kniegelenks ist.

Die Bewegung des Kniegelenks wird mit Hilfe vierer Bandstrukturen geführt. Einerseits durch die beiden Seitenbänder Lig. collaterale fibulare und Lig. collaterale tibiale, andererseits durch die zwei im Kniegelenk gelegenen Kreuzbänder Lig. cruciatum anterius und Lig. cruciatum posterius (Platzer, 2009, p. 208). Im Zusammenspiel mit den Bändern

wirken die faserknorpeligen Menisken unterstützend auf die passive Führung durch die kontinuierliche Verteilung des Drucks auf die Gelenksflächen. Abbildung 1 veranschaulicht den anatomischen Aufbau der passiven Strukturen des Kniegelenks.

Beide, Lig. cruciatum anterius und posterius, sind die zentralen Pfeiler des Kniegelenks und liegen in der Fossa intercondylaris. Mit zunehmender Beugung des Kniegelenks nimmt die passive Stabilität der Kreuzbänder zu. In einem gesunden Kniegelenk verhindern die beiden Kreuzbänder zu große Roll- und Gleitbewegungen und begrenzen den sogenannten Schubladeneffekt zwischen den Ober- und Unterschenkeln. Dadurch verhindert das vordere Kreuzband ein übermäßiges Gleiten des Unterschenkels nach vorne und das hintere Kreuzband blockiert ein Ausweichen des Unterschenkels nach hinten. Durch ein optimales Zusammenspiel der beiden Kreuzbänder ist in jeder Streck-, Beuge- und Drehstellung die notwendige Stabilität des Kniegelenks gegeben (Platzer, 2007, p. 208).

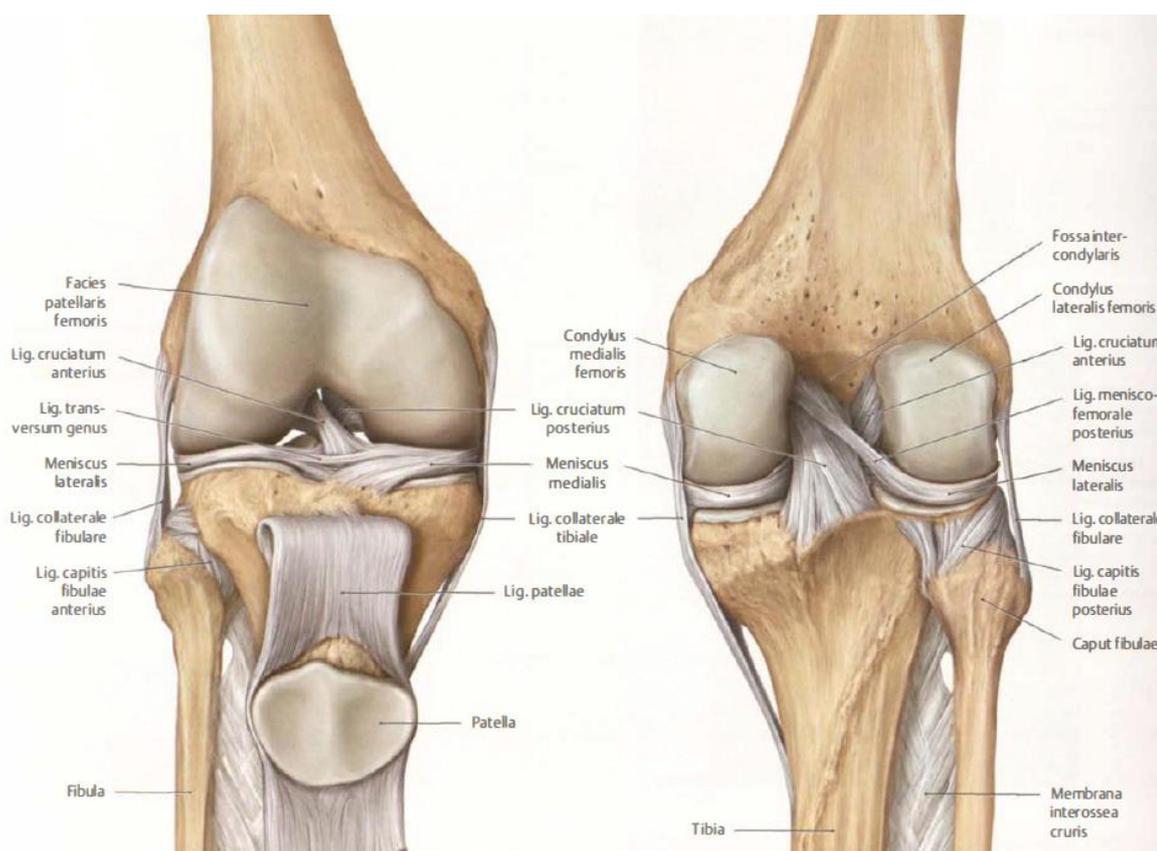


Abbildung 1: Aufbau der Bandstrukturen eines Kniegelenks (Schünke, et al., 2011)

Die beiden Seitenbänder Lig. collaterale tibiale und Lig. collaterale fibulare, ermöglichen eine sichere Streckung des Kniegelenks. Im Gegensatz zum lateralen Seitenband, ist das Mediale mit der Kapsel und dem medialen Meniscus verwachsen. Daher ist das mediale

Seitenband weniger beweglich und verletzungsanfälliger als das Laterale (Strobel, Stedtfeld & Eichhorn, 1995, p. 21-33).

Dass die Muskulatur eine immense Stützfunktion für das Kniegelenk garantiert, zeigte Writz (2011, pp 19-31) anhand isokinetischer und elektromyographischer Tests. Das Zusammenwirken von Bändern, Sehnen, Muskeln und Knochen ist wesentlich für die Stabilität und die optimale Funktionalität während der Belastung des Kniegelenks (Baliunas et al. 2002). Baliunas et al. (2002) stellten fest, dass es durch pathomechanische Ursachen (Operation, Krankheiten und Verletzung) zu Veränderungen in den Strukturen kommen kann, wodurch die Gelenksfunktionalität negativ beeinträchtigt werden kann.

## **1.4 Vordere Kreuzbandruptur**

Für eine vordere Kreuzbandruptur können unterschiedliche Verletzungsmechanismen verantwortlich sein, wobei ein plötzlicher Richtungswechsel bei fixiertem und flektiertem Unterschenkel als häufigste Ursache für eine Verletzung am vorderen Kreuzband gilt. Diese Stellung wird generell mit kombinierter Abduktion und Außenrotation im Hüftgelenk beobachtet. Als weitere häufige Verletzungsmechanismen gelten eine Hyperextension im Kniegelenk bei gleichzeitiger Innenrotation der Tibia sowie eine kurzfristige Valgusstellung von Femur und Tibia (Petersen, Forkel, Achtnich, Metzlaß & Zantop, 2012). Des Weiteren können Hormone, Umweltfaktoren, neuromuskuläre Aspekte und anatomische Voraussetzungen Verletzungen am vorderen Kreuzband begünstigen. Zusätzlich zu den bereits genannten Ursachen kann die Erschöpfung der neuromuskulären Ansteuerung, durch ein nicht optimales Zusammenspiel der Muskulatur eine weitere Begünstigung für einen vorderen Kreuzbandriss darstellen. Hormonell betrachtet sind vor allem Frauen betroffen, da der Östrogen-Spiegel einen großen Einfluss auf die anatomischen Strukturen ausübt. Ebenso zählen Umweltfaktoren wie Witterung, unebener Untergrund sowie die bei der Bewegung getragenen Schuhe zu nicht unwesentlichen Risikofaktoren, die häufig Rupturen des vorderen Kreuzbandes herbeiführen (Aichroth, Patel & Zorrilla, 2002).

Die Frage ob nach einer vorderen Kreuzbandruptur eine konservative oder operative Behandlung herangezogen werden soll, wird nach wie vor kontrovers diskutiert und beurteilt. Grundsätzlich können mit beiden Therapievarianten vordere Kreuzbandläsionen behandelt werden. Die Wahl der Therapieform wird von mehreren Aspekten beeinflusst wie beispielsweise die Art der Ruptur, den Begleitverletzungen, dem Alter des Betroffenen, allfälliges Instabilitätsgefühl und dem allgemeinen Lebensstil des Patienten

(Profisportler, Bauarbeiter, etc.) (Streich, Zimmermann, Bode, & Schmitt, 2010). Einige Studien treffen jedoch klare Aussagen über die positive Wiederherstellung der Kniestabilität bei operativ versorgten Kniegelenken (Zyst & Refior, 2000; Meuffels, Favejee, Vissers, Heijboer, Reijman & Verhaar, 2009; Streich, Zimmermann, Bode & Schmitt, 2010). Dennoch wurden partiell auch nach non-operativen Therapien gleichermaßen gute Ergebnisse, die einer gesunden Kniestabilität gleichkommen, erreicht (Ahn, Chang, Lee, Koh, Park & Eun, 2009). Studien über die Muskelfunktion belegen, dass der Outcome jener ProbandInnen die anhand konservativer Therapiemaßnahmen behandelt wurden erfolgversprechender war, als jener von den operativ versorgten PatientInnen (Meuffels et al. 2009; Hui, Salmon, Kok, Maeno, Linklater & Pinczewski, 2010). Die Wahl der Versorgungsart einer vorderen Kreuzbandläsion nimmt derzeit Forschungsergebnissen zufolge keinen bekannten Einfluss auf die AMI, da sich diese durch traumatisch bedingte oder postoperative Schmerzen, intraartikuläre Volumenansammlung und Entzündungen entwickelt (Herzog & Suter, 1997).

## **1.5 Arthrogene Muskelinhibition**

Ein bekanntes Phänomen nach Knieverletzungen und -operationen ist eine auftretende Muskelschwäche des M. quadriceps femoris (Engelhardt & Freiwald, 1997; Hart, Pietrosimone, Hertel & Ingersoll, 2010; Herzog & Suter, 1997; Rice & McNair, 2010; Rice, McNair & Lewis, 2011). Diese Schwäche wird einerseits durch eine allfällig auftretende Muskelatrophie und andererseits durch eine AMI verursacht (Hart et al. 2010; Rice & McNair, 2010; Rice et al. 2011). Vorerst dominiert die AMI, die eine vollständige Muskelaktivierung des M. quadriceps femoris hemmt (Rice & McNair, 2010; Rice et al. 2011). Jedoch schon nach kurzer Einschränkung der Mobilität zeigt sich der Auswirkungsbereich der Muskelatrophie und nimmt mit zunehmender Zeitdauer an Bedeutung und Stärke zu (Rice et al. 2011).

Für ein besseres Verständnis der AMI ist es wichtig die Verknüpfung der sensorischen Rezeptoren und deren Einfluss auf das Kniegelenk sowie dessen Funktionen zu verstehen (Rice & McNair, 2010). Zahlreiche Studien belegen, dass sich durch Arthrose oder Knieverletzungen und -operationen die afferente Reizweiterleitung verändern kann. Wie aus Abbildung 2. ersichtlich resultiert dies möglicherweise aus einer Schwellung, Entzündung, Gelenkslaxität und/oder durch den Verlust der sensorischen Gelenksrezeptoren, aufgrund struktureller Verletzungen (Hurley, 1997; Young, 1993). Dadurch erhöht die Schwellung den intraartikulären Druck und steigert die Entladung der Afferenzen vom Kniegelenk. Die Schwellung hat einen signifikanten Inhibitionseffekt auf

den M. quadriceps femoris, selbst bei klinisch unauffindbaren Effusionen kann es zu einer eindeutigen arthrogenen Muskelinhibition kommen (Wood & Ferrell, 1984). Aufgrund pathologischer Vorgänge steigern die Entzündungsmediatoren wiederum die afferente Entladungsrate von den sensibel innervierten freien Nervenenden. Dies kann dazu führen, dass die Nozizeptoren und diverse artikuläre oder periartikuläre Rezeptoren eine AMI auslösen (Schaible & Ebersberger, 2002). Bei der Gelenkslaxität kann es auch zu Veränderungen bei den sensorischen Rezeptoren im Kniegelenk kommen. Strukturelle Verletzungen oder Degenerationen führen in weiterer Folge zu einer größeren Übersetzung der Gelenksoberfläche während einer Bewegung, was gleichzeitig die Aktivierung der Mechanorezeptoren und Nozizeptoren erhöht, welche eine Limitierung der Gelenkbeweglichkeit anzeigen (Hurley, 1997).

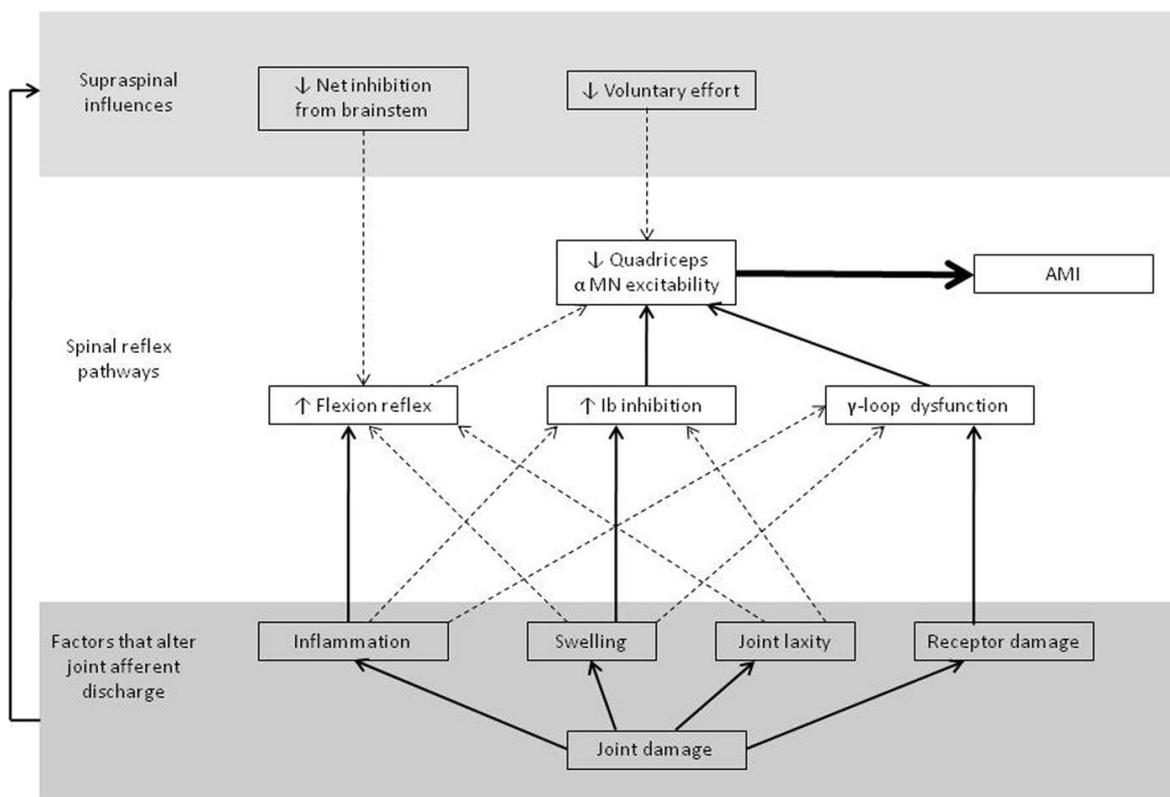


Abbildung 2: Dieses schematische Diagramm zeigt die beitragenden Faktoren einer M. quadriceps Muskelinhibition (Rice & McNair, 2010)

Weiters räumen etliche Studien (Appell, 1996; Engelhardt et al. 1997; Herzog & Suter, 1997; Wall, Dirks & Van Loon, 2013) dem Schmerz eine zentrale Rolle, bei der Entstehung einer AMI und deren zeitlichen Verlauf ein. aufgrund einiger Verschaltungen der Neuronen auf Rückenmarksebene unter Integration der Afferenzen aus den Muskelspindeln und der Nozizeptoren, könnte es zu einer Kraftadaption durch die

modifizierte Inhibition der Reflexverschaltung kommen (Appell, 1993; Engelhardt et al. 1997; Herzog & Suter, 1997; Wall, Dirks & Van Loon, 2013)

Die Wichtigkeit dieses Effekts ist noch nicht vollständig erforscht aber generell herrscht Einstimmigkeit darüber, dass die AMI mit einer Verminderung der sensomotorischen Rezeptoren am verletzten Kniegelenk einhergeht (Hurley, 1997). Eine essentielle Rolle in der Reflexinhibition spielen die Nozirezeptoren, jedoch die größte Wirkung der arthrogenen Muskelinhibition basiert auf Reizungen der Mechanorezeptoren aus dem beschädigten Gelenksgebiet (Hopinkins & Ingersoll, 2000). Durch die Inhibierung von Interneuronen der Gelenksrezeptoren, die auf die Motorneuronen verschaltet sind, kann eine arthrogenen Muskelinhibition effiziert werden (Hopinkins & Ingersoll, 2000). Zusätzlich zur pathologischen Umwandlung im Rückenmarksbereich werden diese inhibierten Bewegungsprogramme auf höherer neuronaler Ebene angepasst, was eine zentralbedingte Verminderung der Muskelkraft verursachen kann (Keller & Engelhardt, 2013). Diese beiden voneinander abhängigen Pathomechanismen haben zur Folge, dass nach Gelenksverletzungen die Muskeln nicht mit maximaler Frequenz angesteuert werden und daher generell eine geringere Anzahl an Muskelfasern rekrutiert wird (Engelhardt & Freiwald, 1997; Herzog & Suter, 1997). Dementsprechend sind bei einer Elektromyographie (EMG) -Messung ein flacher Anstieg sowie auch ein frühzeitiger Abfall der EMG-Muskelaktivitätsamplitude zu erkennen. Die AMI gilt als eine Art Schutzmechanismus des Körpers nach einer Gelenksverletzung, welche allerdings die Rehabilitation markant limitieren kann (Hopkins & Ingersoll, 2000). Anfangs unterstützen Schmerz, Bewegungseinschränkung und AMI die Heilung, da sie Belastungen verhindern (Akeson, Amiel, Abel, Garfin & Woo, 1987; Engelhardt & Freiwald, 1997). Auf längere Sicht gesehen kann eine AMI eine erfolgreiche Rehabilitation allerdings gravierend verlangsamen oder sogar verhindern (Streich et al. 2010; Harkey, Gribble, & Pietrosimone, 2014). Weitere Studien (Engelhardt & Freiwald, 1997; Herzog & Suter, 1997; Rice & McNair, 2010) belegen, dass die AMI ein neuronaler Prozess ist, bei dem Veränderungen in den Reflexantworten/-verschaltungen der zentralen Bewegungsprogramme stattfinden. Diese lassen ungeachtet willkürlicher maximaler Muskelkontraktionen nur eine submaximale Muskelkraftentfaltung zu. Über einen längeren Zeitraum wurde klinisch davon ausgegangen, dass die AMI an der Muskelatrophie mitbeteiligt ist und einem effektiven Krafttraining in der Rehabilitation entgegensteht. Festzuhalten ist jedoch, dass eine milde AMI das Muskelwachstum nicht verhindert, es schränkt lediglich die Größe des aktivierbaren Muskels ein (Bearne, Scott & Hurley, 2002). Trotz Krafttraining scheint es, als würde durch den Effekt der AMI die

Quadricepskraft unverändert bleiben oder sogar zurückgehen (Hurley, Jones & Newham, 1994; Stevens, Mizner & Snyder-Mackler, 2004). So hält eine Quadricepsschwäche häufig noch längere Zeit nach einer Gelenksverletzung an (Meier, Mizner, Marcus, Dibble, Peters & Lastayo, 2008; Palmieri-Smith, Thomas & Wojtys 2008). Eine anhaltende Muskelschwäche des M. quadriceps femoris hat einen immensen klinischen Stellenwert, da diese die dynamische Kniestabilität beeinflusst, die physiologische Funktionalität und die Lebensqualität sowie das erhöhte Risiko einer erneuten Verletzung und den Prozess einer Kniegelenksarthrose begünstigt (Hurley et al. 1994; Mikesky, Mazzuca, Brandt, Perkins, Damush & Lane, 2006; Yoshida, Mizner, Ramsey & Snyder-Mackler, 2008; Brandt, Dieppe & Radin, 2008).

## **1.6 Evidenzen der Therapiemaßnahmen**

In der Literatur werden die verschiedenen Behandlungsvarianten, welche den Effekt der AMI limitieren, mit divergierenden Ansätzen diskutiert. Die aus der derzeitigen Studienlage aussichtsreichsten Therapieansätze beinhalten sowohl Kryotherapie, transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) und neuromuscular electrical stimulation (NMES) (Stokes & Young, 1984; Hopkins, Ingersoll, Edwards & Klotwyk, 2002; Rice & McNair, 2010). Diese Methoden sollen die Muskelatrophie minimieren, die Muskelkraft verbessern und der AMI neben einem zusätzlichen Rehabilitationsprogramm entgegenwirken. Auch traditionelle Therapieübungen zeigen minimale Steigerungen der Muskelkraft und –aktivierung des M. quadriceps femoris (Fransen, McConnell, Harmer, Van der Esch, Simic & Bennell, 2015). Eine moderne Studie veranschaulicht, dass eine Kombination der oben genannten Therapieansätze mit einem traditionellen Trainingstherapie das klinische Outcome bei der willentlichen Muskelaktivierung zusätzlich erhöhen kann (Harkey et al. 2014). Eine weitere Arbeit (Hopkins, Ingersoll, Edwards & Klotwyk, 2002) dokumentierte, dass eine TENS Behandlung mit hohen Frequenzen die Abnahme des sogenannten Hoffmann-Reflexes, nach einer Flüssigkeitsinfusion in das Kniegelenk, verhindern kann. Weiters zeigt die Anwendung von TENS bei Hochfrequenzen, nach einer offenen Menishektomie und einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion eine erhöhte Aktivität des M. quadriceps femoris während anschließender maximaler willentlicher Kontraktion (Stokes & Young, 1984). Die therapeutischen Vorteile von NMES ergeben sich durch die direkte Muskelaktivierung und die Abgrenzung der gehemmten Motorneuronen (Young, 1993). NMES dürfte wesentlich daran beteiligt sein die Muskelatrophie nach einer Gelenksverletzung zu minimieren, jedoch nimmt es Studienergebnissen zufolge wenig Einfluss auf die AMI. Aus den oben

genannten Studien und Weiteren lässt sich schließen, dass aus einer Kombination von TENS und Übungen mit maximal willkürlichen Kontraktionsformen der effektivste Outcome resultiert. In weiterer Folge sind jedoch auch die anderen unterschiedlichen therapeutischen Ansätze noch genau zu recherchieren und zu hinterfragen, da auch diese Erfolge versprechen.

Ziel dieser Arbeit wird es sein, mittels Literaturrecherche die effektivsten Behandlungsmethoden für die Wiederherstellung von Muskelkraft und-aktivität des M. quadriceps femoris aufzuzeigen und analysieren

## **2 Material und Methoden**

Ziel dieser Arbeit ist die Beantwortung der Fragestellungen im Bereich der AMI nach einer vorderen Kreuzbandläsion. Dies soll durch eine umfangreiche und systematische Literaturrecherche gewährleistet werden. Dieser Arbeit wurde der aktuelle Wissenstand der Fachliteratur zugrunde gelegt und die daraus resultierenden Ergebnisse zusammengefasst und kritisch bewertet.

### **2.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Die für die systematische Literaturrecherche herangezogenen Artikel müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Es wurden Studien herangezogen, welche im Zeitraum von 2005 bis 2018 erschienen sind.
- Eingeschlossen wurden ausschließlich ProbandInnen mit einer traumatischen vorderen Kreuzbandruptur.
- Die vordere Kreuzbandläsion muss entweder non-operativ oder operativ versorgt worden sein.
- Die Studien müssen in englischer oder deutscher Sprache verfasst sein.
- Es muss eine Rehabilitation nach einer traumatischen oder operierten vorderen Kreuzbandruptur stattgefunden haben.
- Als Therapieansätze in der Rehabilitation wurden alle Formen, die zur Verbesserung der Muskelaktivität des M. quadriceps femoris beitragen berücksichtigt.

Folgende Literatur wurde in dieser Literaturrecherche nicht beachtet:

- ProbandInnen die kein Rehabilitationsprogramm erhielten.
- Studien, die keine vorderen Kreuzbandverletzungen untersuchten.
- Ausgeschlossen wurden Studien, die nicht den M. quadriceps femoris behandelten.

### **2.2 Suchstrategie**

Um essenzielle Studien für diese Arbeit zu erhalten, wurde in unterschiedlichsten Online-Datenbanken recherchiert. Für die Umsetzung der Suchstrategie wurde PubMed, Pedro,

und Science direct verwendet. Zusätzlich erfolgte die Suche auch auf Google und Researchgate.

Folgende Hauptsuchbegriffe wurden eingesetzt:

- Vordere Kreuzbandruptur
- Arthrogene Muskelinhibition
- M. quadriceps femoris
- Rehabilitation

Für eine ausführliche Suche wurden die Hauptsuchbegriffe untereinander und mit weiteren Suchbegriffen kombiniert.

Tabelle 1: Suchbegriff der Literaturrecherche

Suchbegriff	Datenquelle	Datum	Anzahl der Resultate
“ACL-ruptur” AND “muscle inhibition” AND “rehabilitation”	Pubmed	26.06.2018	20
“ACL-ruptur” AND “muscle inhibition” AND “M. quadriceps femoris”	Pubmed	10.06.2018	372
“ACL-ruptur” AND “muscle inhibition” AND “physiotherapy”	Pubmed	10.06.2018	257
“ACL-ruptur” AND “muscle inhibition”	PEDro	25.06.2018	11
“ACL-ruptur” AND “muscle inhibition” AND “strength training”	PEDro	24.06.2018	8

## 2.3 Analyse der Studienqualität

Analysiert werden die studien-, traumatischen- und rehabilitationsspezifischen Aspekte sowie Ergebnisse und ihre Schlussfolgerungen, um eine bestmögliche wissenschaftliche Beantwortung der Fragestellungen zu gewährleisten.

Zur Verwirklichung einer qualitativ hochwertigen Bewertungsanalyse der Studien wurden die PEDro-Skala und die AMSTAR- Skala als Messinstrumente herangezogen (siehe Anhang A). Für die randomisierten klinischen Studien (RCT) wurde weiters die PEDro-Skala und für Metaanalysen und Literaturarbeiten die AMSTAR-Skala einbezogen.

### 2.3.1 PEDro-Skala

Die PEDro-Skala umfasst elf Fragen, welche für die Beurteilung der methodischen Qualität einer Studie herangezogen werden. Die Fragen überprüfen die Qualität von randomisiert kontrollierten Studien (RCT). Die PEDro-Skala weist eine hohe Validität auf, was den Anlass gab diese Skala auch für diese Arbeit heranzuziehen (Maher, Sherrington, Herbert, Moseley & Elkins, 2003). Die bewerteten Studien können nach der

PEDro-Skala maximal zehn Punkte erreichen. Wenn ein Kriterium laut der Skala erfüllt ist, wird dieses Kriterium mit einem Punkt bewertet. Wird jedoch ein Kriterium nicht angeführt oder erfüllt, bekommt dieses Kriterium keinen Punkt. Um ein allfälliges BIAS-Risiko zu minimieren, wurden die Bewertungsergebnisse der PEDro-Skala mit den bestehenden Bewertungen der PEDro-Datenbank verglichen und bei verschiedenen Outcomes eine weitere Prüfung durchgeführt.

### **2.3.2 AMSTAR-Skala**

Die AMSTAR-Skala umschließt ebenfalls elf Fragen, welche verwendet werden, um die methodische Qualität von systematischen Literaturarbeiten zu überprüfen. Jede Frage wird mit einem Punkt bewertet, wenn das Kriterium vorhanden und zutreffend ist. Im Gegenzug gibt es keinen Punkt, wenn das Kriterium unklar, nicht erfüllt, oder keine Angaben dazu zu finden sind. Aus dieser Punktebewertung kann ein Gesamtwert von maximal elf Punkten erreicht werden. Die Gesamtpunkte der Qualität der Studien werden in drei Levels eingeteilt. Studien mit geringer Qualität umfassen eine Gesamtpunktzahl von null bis drei Punkten. Von Studien mit mittlerer Qualität wird gesprochen, wenn vier bis sieben Punkte erreicht werden und Studien mit hoher Qualität erreichen acht bis elf Punkte in der Bewertung (Sharif, Janjua-Sharif, Ali & Ahmed, 2013). Diese Qualitätsschemata spiegeln zusätzlich das BIAS-Risiko der jeweilig untersuchten Studie wieder.

### 3 Ergebnisse

Die beigezogenen Studien untersuchten welche Therapiemethoden die effektivste Möglichkeit der Wiederherstellung der Quadricepsfähigkeiten bieten. In den nachfolgenden Kapiteln wurden die Studien in die verschiedenen Behandlungsmethoden eingeteilt, detailliert beschrieben und die Ergebnisse der unterschiedlichen Therapiemethoden aufgezeigt.

#### 3.1 Quellenangaben

Das Resultat der Literatursuche in den Datenbanken Pubmed und Pedro ergab insgesamt 668 Literaturergebnisse. Durch Ergebnisse der Selbstrecherche sind insgesamt 680 Studien in den weiteren Studienpool aufgenommen worden. Duplikate und Falschstudien wurden sorgfältig analysiert und ausgeschlossen. Die verbliebenen Studien wurden nach den definierten Ein- und Ausschlusskriterien geprüft. Vorab wurden der Titel und die Zusammenfassung und anschließend der Volltext geprüft. Von 28 auf Volltext zu überprüfenden Studien wurden sieben Studien in diese Arbeit aufgenommen. Diese Vorgehensweise wird in Abbildung 3. dargestellt

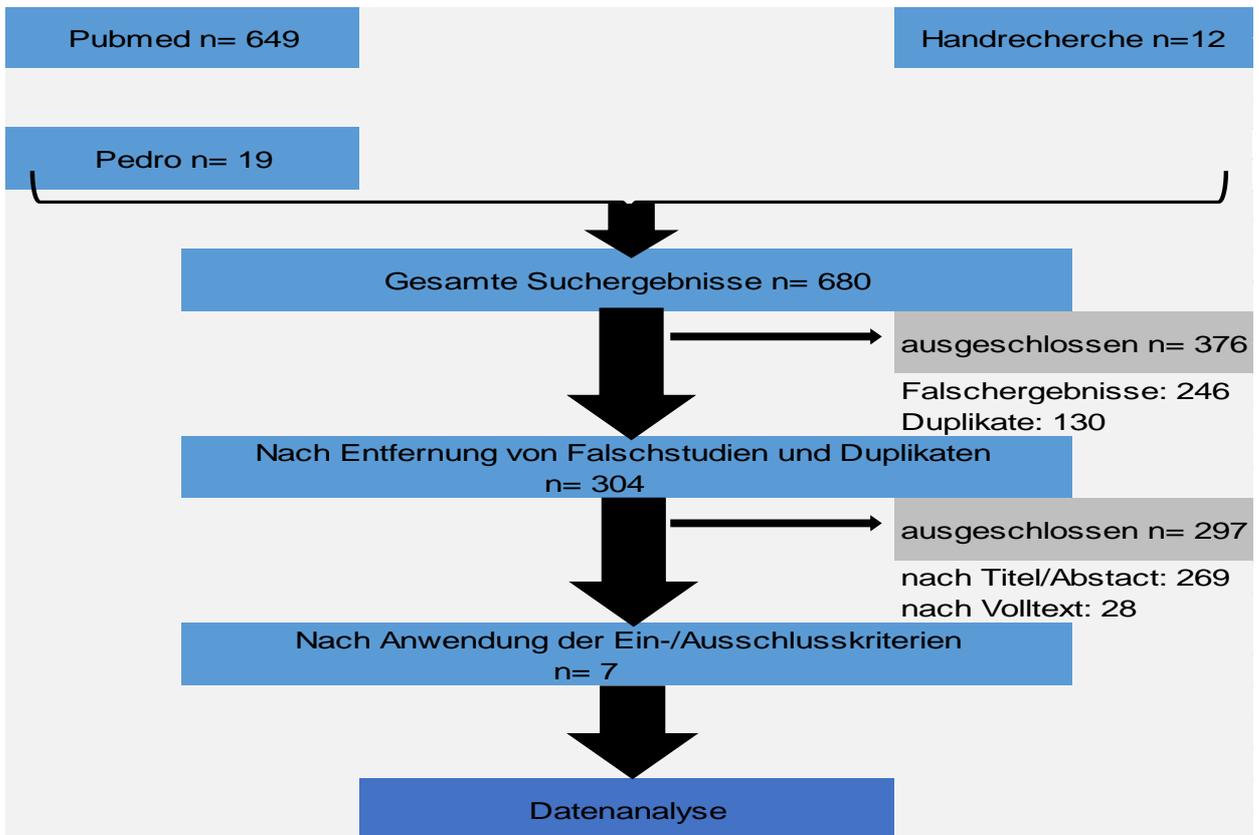


Abbildung 3: Selektive Studienrecherche  
n=Anzahl der Ergebnisse

### 3.2 Studienbezogene Fakten

Die durch die Ein- und Ausschlusskriterien verbliebenen sieben Studien umfassen sowohl eine Literatuarbeit als auch vier RCTS sowie eine Querschnitt- und eine Längsschnittstudie. Zusammenfassend wurde eine Gesamtpopulation von 384 ProbandInnen untersucht. Die randomisierten Studien wurden in Amerika, Polen, Iran, Brasilien und in England durchgeführt. Zwei der Studien (Hart, Kuenze, Diduch & Ingersoll, 2014; Lepley, Wojtys & Palmieri-Smith, 2015a) sind in der angeführten Literatuarbeit von Sonnery-Cottet et al. (2017) inkludiert. Die herangezogenen Studien untersuchten die Auswirkungen von TENS, die Effekte der Kryotherapie (KT) und die Ergebnisse nach der Anwendung von Trainingstherapie (TT), sowie die Wirkung von NMES und die Kombination von NMES und TT. Diese Arbeiten beschreiben hauptsächlich den kurzfristigen Effekt nach der jeweils entsprechenden Therapiemaßnahme. Eine der eingangs genannten Studien (Gerber, Marcus, Dibble, Greis, Burks & LaSayo, 2009) zeigt hingegen eine langfristige Wirkung bis zu einem Jahr auf. Hart et al. (2014) erörterte die Wirkung bereits nach zwei Wochen Therapie. Vakili, Mir, Moghadam & Gotbi (2016) dokumentierten die Auswirkungen nach einer drei wöchigen Therapiedauer und einer vier Wochen späteren Folgeuntersuchung. Feil, Newell, Minogue & Paessler (2011) stellten nach den zwölf Wochen Therapiedauer, die Effekte nach sechs, zwölf und 24 Wochen dar. Taradaj et al. (2013) verglichen die Ergebnisse der Gruppen unmittelbar anschließend an die vierwöchige Therapie, einen Monat, und drei Monate nach Abschluss der Therapie. In der Studie von Lepley et al. (2015a) zeigen die Autoren nach sechs Wochen Therapiedauer die Wirkung der Therapievarianten zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten auf. Ein Abschnitt lag zwischen präoperativ und return to play, ein weiterer zwischen präoperativ und zwölf Wochen post-operativ. Die wissenschaftliche Arbeit von Gerber et al. (2009) evaluierte die Effekte vom Zeitpunkt drei Wochen post-operativ bis zu dem Messzeitpunkt nach einem Jahr post-operativ. Genauere Details der nach den Ein- und Ausschlussverfahren verbliebenen sieben Werke werden in der Tabelle 2. angeführt.

Tabelle 2: Studienbeschreibung der sieben untersuchten Studien

AutorInnen/ Jahr	TeilnehmerInnen	Quelle	Studiendesign	Verletzung	Intervention	Outcome	Effekte	Studienbewertung
Feil et al. (2011)	n= 131, Alter= 32,5 ± 1,45 22W/74M	Pubmed	RCT	Post-ACLR	3 Gruppen 1. Polystimm (PO) 3 Wochen; 20 Min. 5 mal in der Wo 2. Kneehab (KH) 3 Wochen; 20 Min. 5 mal in der Wo 3. Kontrollgruppe (KO) (nur Reha-Protokoll) Alle Gruppen absolvierten ein standardisiertes Rehabilitationsprotokoll-> sofort post-operativ bis RTS (ca. 6 Mo.) Messungen: Baseline, 6 Wo, 12 Wo, 24 Wo	Muskelfraft PS vergleich KO KH vergleich KO KH vergleich PS	P sign. > 0,5 0,7 <,001 <,001	PEDRO-Skala 7 von 10
Hart et al. (2014)	n= 30, Alter= 27,3 ± 11,4 10W/20M	Pubmed	Querschnittstudie	Post-ACLR	3 Gruppen 1. 20 Min. Kyrotherapie am Kniegelenk 2. Eine Stunde rehabilitative Trainingstherapie 3. Kyrotherapie + Trainingstherapie 4. Untersuchungen in 2 Wochen	MVIC Kyrotherapie allein Trainingstherapie allein Tkyrotherapie + Training	P sign. > 0,5 0,16 0,16 0,02	PEDRO-Skala 7 von 10
Lepley et al. (2015)	n= 46, Alter= 21,9 ± 4,9 17W/29M 13 Meniskusreparatur	Pedro	Längsschnittstudie	Post-ACLR	5 Gruppen 1. NMES & Training (N + E) 2. NMES allein (N) 3. Training allein (E) 4. STND 5. Gesundheit (G) Daten wurden 3 Mal erhoben, pre-operativ, 12 Wochen post-operativ und RTP Es wurden die Therapiemethoden mit einander verglichen und untersucht ob es zu gunsten von N+ E einen sign. Unterschied gibt.	Muskelfraft/ Muskelaktivität N+E vergleich N N+E vergleich E N+E vergleich STND	Pre-op zu 12 (P sign. > 0,5) 0,04/ keine sign. 0,29/ keine sign. 0,01/ keine sign. Pre-op zu RTP 0,03/ 0,09 0,32/ 0,63 0,03/ 0,04	PEDRO-Skala 5 von 10
Gerber et al. (2014)	n= 40, Alter= 29,3 ± 9,15 16W/24M	Referenzliste	RCT	Post-ACLR	2 Gruppen 1. Standardisiertes Training (STND) 2. Exznetrik (E) Veränderung des Muskelvolumens und der Muskelfraft von 3 Woche post-operativ zu 1 Jahr post-operativ. Beide Messfaktoren zeigen bei der E-Gruppe, in Zeit und Gruppe x zeitlicher Interaktionseffekt, in der Muskelfraft und Muskelvolumen sign. höhere Outcomes	Muskelfraft/ Muskelvolumen STND E	P sign. > 0,5 <,01 <,001	PEDRO-Skala 5 von 10
Sonnery-Cottet et al. (2017)	n= 512, Alter= 23,95 ± 9,15 201W/311M 20 Studien wurden untersucht	Pubmed	Review	Post-ACLR	Untersucht 1. Therapietraining 6. US 2. Kyrotherapie 7. TMS 3. TENS 8. T/B 4. NMES 9. VIB Die Daten wurden in einer Literaturrecherche erhoben und ausgewertet. Es wurden Therapiemethoden für die Reduktion der AMI untersucht plus	TENS NMES Kyrotherapie Trainingstherapie US TMS T/B VIB	geringe Qualität geringe Qualität mäßige Qualität mäßige Qualität sehr geringe Qualität kein Nachweis kein Nachweis sehr geringe Qualität	AMSTAR-Skala 10 von 11
Taradaj et al. (2013)	n= 80, Alter= 21,85 ± 5,72 80M	Pubmed	RCT	Post-ACLR	2 Gruppen 1. STND 2. NMES Gemessen wurden Quadricepskraft vor-, nach der Therapie + nach 1 und 3 Monat	Muskelfraft/ Muskelumfang STND nach Therapie N nach Therapie N vergleich STND 1 und 3 Monat danach	P sign. > 0,5 0,001/ 0,03 0,04/ 0,05 0,002/ 0,04 keine sign. >0,05	PEDRO-Skala 6 von 10
Vakili et al. (2016)	n= 102 Alter= 25,09 ± 5,28 16W/24M	Pubmed	RCT	Post-ACLR	4 Gruppen 1. FES 2. TENS 3. B-EMG 4. Kontrollgruppe Untersucht wurden die MVVA und Muskelfraft der ProbandInnen vor den Behandlungsbeginn, nach der Studie und 4 Wochen später. Im Zeitverlauf wurde der signifikante Unterschied bei beiden erhobenen Werten größerer. Die Muskelfraft zeigt keine signifikanten Unterschiede, jedoch steigerte sich die Muskelfraft über die Zeit bei allen 4 Gruppen signifikant	MVVA FES vergleich Kontroll FES vergleich B-EMG FES vergleich TENS Kontroll vergleich B-EMG Kontrolle vergleich TENS B-EMG vergleich TENS	P sign. > 0,5 0,012 0,018 0,012 0,888 0,73 0,854	PEDRO-Skala 6 von 10

ACLR= anterior cruciate ligament reconstruction; MVIC= maximal voluntary isometric contraction; MVVA= mean value of VMO activation pattern; RCT= randomised controlled trial; TENS= transcutaneous electrical nerve stimulation; NMES= neuromuscular electrical stimulation; FES= functional electrical stimulation; B-EMG= biofeedback electromyography; VIB= Vibration; TMS= transcranial magnetic stimulation; T/B= taping and bracing; US= ultrasound

### 3.3 Bewertung der Studienqualität

Die Bewertungsergebnisse der angeführten Studien erfolgten abhängig von dem Studiendesign mittels AMSTAR- oder PEDRO-Skala (ersichtlich in Anhang A und B) und sind in der nachfolgenden Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Studien mittels PEDro- und AMSTAR-Skala bewertet

Bewertung PEDRO	Fragen											Ergebnis
Studien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Feil et al. (2011)	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	7 von 10
Gerber et al. (2014)	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	5 von 10
Hart et al. (2014)	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	7 von 10
Lepley et al. (2015a)	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	5 von 10
Taradaj et al. (2013)	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	7 von 10
Vakili et al. (2016)	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	7 von 10
Bewertung AMSTAR												
Sonnery-Cottet et al. (2017)	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	10 von 11

### 3.4 Kryotherapie

Die Studie von Hart et.al (2014) widmete sich vor allem der Untersuchung der Effekte von Kryotherapie auf die Quadricepsmuskelfunktion nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Die 30 ProbandInnen wurden durch eine 1:1:1 Reihenfolge randomisiert und in drei Gruppen aufgeteilt. Alle PatientInnen durchliefen eine zweiwöchige Testung, die vier Überwachungstrainings mit einem nicht-verblindeten zertifizierten Sporttrainer und ein tägliches Heimprogramm inkludierte. Die erste Gruppe (Gr. 1) absolvierte jeden Tag 20 Minuten Kryotherapiebehandlung, die zweite Gruppe (Gr. 2) eine Stunde therapeutisches Rehabilitationsprogramm (Übungen) und die Dritte (Gr. 3) eine Kombination aus Kryotherapie und Therapietraining, wobei zuerst die Kryotherapie durchgeführt wurde und anschließend das Trainingsprogramm. Die TeilnehmerInnen der Gruppe 1 wurden instruiert sich täglich jeweils 20 Minuten einen Eisbeutel vorne und hinten auf das Kniegelenk aufzulegen. Fixiert wurden diese Eisbeutel mittels einer Bandage. Die Gruppe 2 unterzog sich einem Trainingsprogramm, welches sowohl Beinmuskeltraining als auch Balancetraining involvierte. Die Trainingseinheiten dauerten jeweils eine Stunde, wobei die Einheiten mit generellem Dehnen zu beginnen hatten. Das Training bestand aus einem traditionellen Krafttraining in einer offenen Kette und einem progressiven Krafttraining in einer geschlossenen Kette. Einen Überblick über die Trainingsübungen findet man im anschließenden Anhang C. Ebenso wie für Gruppe 1 waren die Trainingseinheiten der Gruppe 2 für jeden Tag konzipiert. Die TeilnehmerInnen der Gruppe 3 kombinierten beide Therapieprogramme. Bevor die ProbandInnen mit dem

Training starteten, legten sich die TeilnehmerInnen der Gruppe 3, 20 Minuten jeweils vorne und hinten am Kniegelenk Eisbeutel auf. Das Ziel der Studie (Hart et al. 2014) war es zu untersuchen welche Effekte die Kryotherapie auf die maximale willkürliche isometrische Quadricepskontraktion und den Hoffman- Reflex (H-Reflex) nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion haben kann. Die Kryotherapie sollte laut Hart et al. (2014) den Quadriceps-Motorneuronenpool öffnen und somit einer arthrogenen Muskelinhibition entgegenwirken. Die Studie (Hart et al. 2014) fand primär heraus, dass die ProbandInnen der Gruppe 3, welche beide Therapiemaßnahmen kombinierten einen größeren Kraftzuwachs des M. quadriceps femoris aufweisen konnten als die TeilnehmerInnen der anderen beiden Gruppen. Anhand dieser Studie erkannten die Autoren, dass die Kryotherapie den Motorneuronenpool öffnet und dass dieser Effekt vor allem für das sofort anschließende Training sehr nützlich war. Diese Tatsache appliziert wiederum, dass eine alleinige Disinhibitionsmodalität, wie Kryotherapie, nicht zwangsläufig eine Verbesserung von PatientInnen mit AMI zufolge hat.

Sonnery-Cottet et al. (2017) untersuchten anhand einer umfangreichen Literaturrecherche die erfolgversprechendsten Therapiemaßnahmen für eine arthrogene Muskelinhibition bei PatientInnen mit einer vorderen Kreuzbandruptur und anschließender vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Durch die zahlreichen Ausschlusskriterien der Literaturarbeit der AutorInnen verblieben lediglich vier Studien, die zur Evaluierung der Wirkung der Kryotherapie auf eine AMI herangezogen wurden. In jeder dieser Arbeiten wird eine Reduktion der AMI durch die Anwendung von Kryotherapie beschrieben. Drei dieser vier Studien waren als randomisierte Kontrollstudien konzipiert, welche eine Assoziation von Kryotherapie und einer erhöhten Muskelkraft des M. quadriceps femoris demonstrieren (Hart et al. 2014; Rice, McNair, Lewis & Dabeth, 2015; Kuenze, Eltoukhy, Kelly & Kim, 2017). Zusätzlich erläuterten die AutorInnen in ihrer Literaturarbeit die nicht randomisierte Kontrollstudie von Hopkins et al. (2002), welche in ihren Untersuchungen eine signifikante Verbesserung der Quadriceps-Motorneuronenpool Rekrutierungen zeigt. Wesentlich festzuhalten ist jedoch, dass zwei der Studien keine ProbandInnen mit einer vorderen Kreuzbandruptur evaluierten, sondern eine Laborstudie mit PatientInnen durchführten, welche einen künstlichen Knieerguss injiziert bekamen (Hopkins et al. 2002; Rice et al. 2015). Die Hauptideen dieses systematischen Reviews (Sonnery-Cottet et al. 2017) haben daher nur mittelmäßige Evidenzqualität hinsichtlich der unterstützenden Wirkung von Kryotherapie und Rehabilitationstraining für PatientInnen mit AMI nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.

### **3.5 Verschiedene Varianten von Elektrostimulationen**

Die empirische Studie von Vakili et al. (2016) untersuchte und verglich die Wirkung von TENS, Biofeedback Elektromyographie (B-EMG) und funktioneller Elektrostimulation (FES) in Kombination mit der Anwendung von Kryotherapie und therapeutischem Training auf die Muskelinhibition des M. quadriceps femoris nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Diese Studie war als eine randomisierte Kontrollstudie designt. Die Gesamtanzahl der TeilnehmerInnen belief sich auf 102 ProbandInnen, die randomisiert in eine TENS Gruppe, eine FES Gruppe, eine B-EMG Gruppe und eine Kontrollgruppe unterteilt wurden. Jede der vier Gruppen erhielt die Aufgabe sich acht Mal pro Tag, jede zweite Stunde für 15 Minuten Eispackungen um das Knie zu legen (Kryotherapie) sowie ein detailliertes Trainingsprotokoll, welches in den drei Wochen des Untersuchungszeitraums und während der vierten Woche bis zur Folgeuntersuchung absolviert werden sollte. Die ProbandInnen der TENS-Gruppe erhielten konventionelle TENS-Geräte, welche vor der Studie von der Manufaktur kalibriert wurden. Die Behandlung erstreckte sich insgesamt über drei Wochen. Die Anwendung der TENS-Therapie hatte fünf Mal in der Woche stattzufinden, wobei die Behandlungsdauer pro Person 45 Minuten betrug und jeder Testperson jeweils vier Elektroden entlang der Patella angebracht wurden. Den TeilnehmerInnen der FES-Gruppe wurde für die drei Wochen des Untersuchungszeitraums zur ordnungsgemäßen Durchführung ihrer Einheiten ein FES-Gerät zur Verfügung gestellt. Die ProbandInnen wurden fünf Mal die Woche zu je 15 Minuten mit dem FES-Gerät therapiert. Während jeder Einheit wurde eine Elektrode vier Zentimeter superior und drei Zentimeter medial von der Patella-Mitte auf den Vastus medialis des M. quadriceps femoris platziert und eine Weitere wurde zehn Zentimeter über der ersten Elektrode, ebenfalls am Vastus medialis angebracht. Die FES-Therapie wurde in einer sitzenden Stellung durchgeführt, währenddessen die ProbandInnen das Kniegelenk möglichst gestreckt zu halten hatten. Aufgabe jener Gruppe, die mit dem Biofeedback- Elektromyographen gearbeitet hat, war es während der Trainingsperiode (fünf Sekunden) eine maximale isometrische Quadricepskontraktion auszuführen und sich in der Pausenperiode zu erholen (zehn Sekunden). Die Behandlung erstreckte sich über drei Wochen und wurde fünf Mal in der Woche zu je 15 Minuten pro Einheit durchgeführt. Aufgrund dessen, dass jeden Tag die Grenzwelle des B-EMG erhöht wurde, mussten die ProbandInnen die Quadricepskontraktion stetig steigern. Die EMG-Biofeedback Therapie wurde ebenso im Sitzen und mit möglichst durchgestrecktem Knie absolviert. Der Zweck der Studie von Vakili et al. (2016) war es festzustellen welche der Therapiemaßnahmen (TENS, FES oder B-EMG) zusätzlich zu der Anwendung von

Kryotherapie und traditionellem Training einer arthrogenen Muskelinhibition und Muskelschwäche, nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion bestmöglich entgegenwirken kann. Das Ergebnis zeigt, dass vor allem die Zeit eine wesentliche Rolle spielt. In der Studie wird klar veranschaulicht, dass keine erheblichen Unterschiede zwischen den vier Gruppen vor und nach den Therapiemaßnahmen festgestellt werden konnten, jedoch ergab sich eine signifikante Veränderung zwischen den verschiedenen Gruppen nach der ersten Folgeuntersuchung, sowohl bei den durchschnittlichen Werten des Aktivitätsmusters des M. vastus medialis als auch geringfügig hinsichtlich der Quadricepskraft. Diese Ergebnisse werden im Anhang D graphisch dargestellt. Weiters kann aus den zuvor genannten Grafiken sehr deutlich erkannt werden, dass sich das Anstiegsmuster bei allen vier Gruppen erst im dritten Messzeitraum verbessert. Vergleiche zwischen den Testgruppen zeigen daher aussagekräftige Unterschiede im Durchschnittswert des Muskelaktivitätsmusters (M. vastus medialis), wobei sich die FES-Gruppe mit den gravierendsten Veränderungen präsentierte. Im Anhang D werden die Ergebnisse aller vier Versuchsgruppen und deren Therapieverläufe sehr übersichtlich bildlich dargestellt. Die Grafiken zeigen weiters, dass alle vier Gruppen einen Aufwärtstrend aufweisen wobei der größte Anstieg in der dritten Episode stattfindet. Zudem lässt sich aus den Grafiken genau erkennen, dass die Anwendung von FES-Therapie die positivste Wirkung erzielt hat, während die Kontrollgruppe im direkten Vergleich die geringsten Veränderungen aufgewiesen hat. Zusammenfassend konnten die AutorInnen (Vakilii et al. 2016) anhand ihrer Untersuchungen feststellen, dass durch die zusätzliche Anwendung von TENS, FES und B-EMG in Kombination mit Kryotherapie und therapeutischem Training die Muskeldis-inhibition im M. vastus medialis begünstigt und somit die Muskelkraft des M. quadriceps femoris verbessert werden kann. Abschließend kann daher gesagt werden, dass dieser Studie zufolge mit FES- Therapie in Kombination mit Kryotherapie unterstützt durch reines therapeutisches Training die signifikantesten Ergebnisse über den Therapiezeitraum erzielt werden konnten, die Anwendung von Kryotherapie unterstützt durch therapeutisches Training im Verhältnis allerdings den geringsten Verbesserungswert aufzeigte.

Die einzige RCT (Hart, Kuenze, Pietrosimone, & Ingersoll, 2012) die Sonnery-Cottet et al. (2017) in der Literaturrecherche für die Betrachtung der Therapiemethode TENS herangezogen haben, zeigte bei allen ProbandInnen der jeweiligen Gruppe (reines Training, Training und TENS, Training und 20 Minuten Kryotherapie vor jedem Training) mit einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion, keine merklichen Differenzen hinsichtlich

der Aktivierungsrate des Quadriceps. Während alle Gruppen eine signifikante Verbesserung der Quadricepskraft aufweisen konnten und dadurch Anzeichen lieferten, die auf einen potentiell großen Effekt der klinischen Unterstützung für PatientInnen mit AMI hindeuteten, waren jedoch die Enthemmungsmodalitäten nicht besser als bei einer reinen Trainingstherapie. Drei weitere Studien (Hopkins et al. 2002; Son, Kim, Seeley, Frland & Hopkins, 2016; Konishi, McNair & Rice, 2017) verzeichneten bemerkenswerte Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung von TENS zur Verbesserung der AMI in einem laboratorischen Umfeld. Zwei dieser Forschungen (Son et al. 2016; Konishi et al. 2017) erkannten dabei eine markante Steigerung der Muskelkraft des M. quadriceps femoris und die dritte der eben erwähnten Studien (Hopkins et al. 2002) zeigte eine effektive Enthemmung des Quadriceps-Motorneuronenpools (gemessen an H-reflex). Durch diese Untersuchungen wurde erkannt, dass trotz der enthemmenden Wirkung von TENS auf den Motorneuronenpool während des Trainings, der nutzbringende Effekt nach nur 30 Minuten ab Beendigung der Behandlung bereits wieder verloren geht. Besonders zu erwähnen ist dieses Ergebnis vor allem im Vergleich mit der Anwendung von Kryotherapie bei der die positiven Auswirkungen noch bis zu 60 Minuten posttherapeutisch anhalten.

Feil et al. (2011) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen eines standardisierten Rehabilitationsprogrammes mit der Kombination von neuromuskulärer Elektrostimulation nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Hierfür wurden 131 ProbandInnen randomisiert in drei Gruppen eingeteilt und anschließend zwei NMES Gruppen und eine Kontrollgruppe gebildet. Die beiden NMES-Gruppen trainierten jeweils mit unterschiedlichen NMES-Geräten. Die KH-Gruppe arbeitete mit Kneehab (KH) und die PS-Gruppe mit Polystim (PS). Die Kontrollgruppe trainierte mit willkürlichen isometrischen Quadricesmuskelkontraktionen, jedoch mit keinem NMES-Gerät. Alle drei Gruppen waren instruiert diese Maßnahmen parallel zu dem standardisierten Rehabilitationsprotokoll anzuwenden. Sofort nach der Operation war ein beschleunigendes Rehabilitationsprogramm initiiert. Die ersten drei Wochen wurde mit einer Belastung von 20 bis 30 Kilogramm gearbeitet. Zusätzlich wurde ein Kühlungs- und Komprimierungssystem, (Aircast Cyro Cuff) vom ersten Tag an, bis die Schwellung signifikant zurückging, eingesetzt. Weiters arbeiteten die Autoren in den ersten sechs Wochen mit Stützbändern und geschlossenen Ketten. Mit sensomotorischem Training, Ergometer fahren und Wasserjogging wurde nach der dritten Woche begonnen und wurde dies für die folgenden drei Monate beibehalten. Joggen wurde nach dem dritten

Monat postoperativ erlaubt. Eine Periodendauer von sechs Monaten wurde für den Wiedereinstieg in den Sport empfohlen. Die ProbandInnen aus den Gruppen PS und KH trainierten zusätzlich mit den jeweiligen NMES-Geräten, beginnend am dritten oder vierten Tag postoperativ. Die Trainingseinheit belief sich jeweils auf 20 Minuten pro Tag, fünf Tag die Woche. Die Kontrollgruppe startete gleichzeitig das willkürliche isometrische Muskeltraining für den Quadriceps, jedoch ohne Stimulationen. Alle drei Gruppen führten ihre jeweilige Therapiemaßnahme während den gesamten zwölf Wochen der Untersuchungsdauer durch. Die Hypothese der Autoren war es, dass ein standardisiertes Rehabilitationsprogramm mit zusätzlicher NMES-Therapie die Genesung nach einer Operation beschleunigt. Das Resultat der Studie (Feil et al. 2011) zeigt, dass sich alle drei Gruppen verbessert haben, jedoch erreichten die ProbandInnen in KH-Gruppe konstant in allen drei Messzeitpunkten bessere Ergebnisse im Bereich Quadricepskraft und -funktion. Die zusammengefassten Dateien sind in Anhang E zu finden. Weiters erzielten die ProbandInnen der KH-Gruppe eine höhere Compliance-Rate, schnellere Fortschritte und konnten sieben Tage früher als die TeilnehmerInnen der beiden anderen Gruppen in ihre normale Arbeitsaktivität zurückkehren.

Die klinische Studie von Taradaj et al. (2013) erforschte den Effekt von NMES auf die Kraft und Funktion des M. quadriceps femoris bei professionellen Fußballspielern. Die Autoren widmeten diese Studie der Wichtigkeit eines schnellen und erfolgreichen Wiedereinstiegs in den Sportalltag nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Jedoch kann eine Quadricepsmuskelschwäche den Wiedereinstieg deutlich verzögern. Aus recherchierten vorhergehenden Studien erkannten die Forschenden NMES als eine Möglichkeit diese Symptomatik nach einer Kreuzbandoperation deutlich zu reduzieren. Für die Studienuntersuchung nahmen 80 professionelle männliche Fußballspieler an den Testungen teil. Die Athleten wurden randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt. Die Spieler der A Gruppe bekamen zusätzlich zu standardisiertem Therapieprogramm noch NMES-Therapie verschrieben, wobei die Gruppe B nur mittels des standardisierten Therapieprogramms trainierte. Alle Teilnehmer absolvierten ein Therapieprogramm, welches drei Mal wöchentlich (Montag, Mittwoch und Freitag), einen Monat lang durchgeführt wurde. Krafttraining wurde den Probanden für diesen Zeitraum untersagt. Die A Gruppe wurde additional, drei Mal täglich, drei Tage in der Woche (Dienstag, Donnerstag und Samstag) für vier Wochen, mit NMES therapiert. Die Autoren (Taradaj et al. 2013) stellten einen gravierenden Unterschied hinsichtlich der Muskelkraft zwischen den beiden Gruppen fest. Die Teilnehmer der Gruppe A wiesen nach einem Monat Therapie einen deutlich höheren Kraftzuwachs auf. Weiters wurde im Verhältnis beider

Gruppen eine signifikante Differenz hinsichtlich des Muskelvolumens festgehalten, da die Probanden der A Gruppe, welche mit dem NMES Gerät gearbeitet hatten, deutlich höhere Werte aufzeigen konnten. Das Resultat der Studie (Taradaj et al. 2013) veranschaulicht sehr gut, dass eine NMES-Therapie sehr effektiv für das Muskeltraining im Sport sein kann. Die Autoren verglichen ihre Studienergebnisse mit den Outcomes anderer AutorInnen (Paillard, Noe, Bernard, Dupui & Hazard, 2008) und erkannten, dass die Resultate korrelieren. Paillard et al. (2008) erforschten die Wirkung von zwei unterschiedlichen NMES-Programmen auf die Leistung von Vertikalsprüngen. Diese Studie teilte die TeilnehmerInnen per Zufallsprinzip in drei Gruppen ein, wobei eine Kontrollgruppe keine NMES Anwendungen erhielt und die beiden anderen Gruppen mit unterschiedlichen NMES-Programmen behandelt wurden. Der Vertikalsprung der TeilnehmerInnen wurde vor dem Start der Untersuchungen, nach einer und nach vier Wochen nach Beendigung des Trainingsprogramms eruiert. Das Resultat hat ergeben, dass die beiden Gruppen mit zusätzlicher NMES-Therapie, sich verglichen mit der Kontrollgruppe markant im Vertikalsprung verbessert haben.

In der systematischen Literaturrecherche von Sonnery-Cottet et al. (2017) untersuchten die Autoren zwei nicht-randomisierte Studien (Lepley et al. 2015a; Lepley, Wojtys und Palmieri-Smith, 2015b). In beiden Studien wurden die ProbandInnen in vier Gruppen aufgeteilt. Anhand der Erkenntnisse der biomechanischen Beinsymmetrie dokumentierten die HerausgeberInnen, dass die Gruppen welche neuromuskuläre Elektrostimulation mit exzentrischem Krafttraining kombinierten der gesunden Kontrollgruppe am nächsten kamen. Allerdings ergab sich dadurch kein wesentlicher Vorteil im Hinblick auf die Quadricepsstärke und -aktivität. Laut dieser Recherche wird durch exzentrisches Training verglichen mit einer reinen NMES oder standardisierten Rehabilitationsprogramm nach einer vorderen Kreuzbandruptur die Quadricepskraft besser wiederhergestellt.

### **3.6 Trainingstherapie**

Die Studie von Lepley et al. (2015a) untersuchte einen potentiellen Verbesserungseffekt der Kombination von exzentrischem Training und neuromuskulärer Elektrostimulation (NMES) auf die Wiederherstellung der Quadricepsfunktion nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion. Bei dieser Studie handelt es sich um eine Längsquerschnittsstudie die nicht randomisiert durchgeführt wurde. Für die Untersuchungen wurden 36 ProbandInnen, bei welchen jeweils eine vordere Kreuzbandrekonstruktion durchgeführt wurde, in vier Behandlungsgruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe (N+E Gruppe) arbeitete mit den Behandlungsmethoden NMES und

exzentrischem Training, die zweite Gruppe (E-Gruppe) ausschließlich mit exzentrischem Training und die TeilnehmerInnen der dritten Gruppe (N-Gruppe) wurden rein mit NMES therapiert. Die vierte Behandlungsgruppe (STND-Gruppe) absolvierte ein standardisiertes Rehabilitationsprogramm. Zusätzlich gab es eine Kontrollgruppe (K-Gruppe) bestehend aus zehn gesunden KontrollteilnehmerInnen. Die TeilnehmerInnen der beiden Gruppen, welche mit NMES behandelt wurden erhielten sechs Wochen lang, je zwei Mal in der Woche eine NMES-Therapieeinheit. Die ProbandInnen der Gruppen N+E und E wurden instruiert für den Zeitraum von sechs Wochen jeweils zwei Mal wöchentlich ein exzentrisches Training durchzuführen. Um die unterschiedlichen Gruppen miteinander vergleichen zu können wurden Messzeitpunkte präoperativ und 12 Wochen postoperativ festgelegt und zusätzlich dazu weitere Messzeitpunkte im Zeitraum präoperativ bis return to play. In diesen Messzeitpunkten wurde die Quadricepskraft und -aktivierung gemessen. Das Ergebnis der AutorInnen dieser Studie (Lepley et al. 2015a) hat ergeben, dass vor allem exzentrisches Training bei den ProbandInnen zu einer Verbesserung der Quadricepsaktivität und -kraft geführt hat. Im Vergleich hierzu erkannten Lepley et al (2015a) bei der Anwendung von NMES nur geringere Verbesserungen der Muskelaktivität und -kraft. Die Forschenden führten den ausbleibenden Effekt auf die Unfähigkeit des Gerätes, genügend kraftvolle Muskelaktivitäten zu generieren, zurück. Anhand der Ergebnisse der Studien erkannten die AutorInnen, dass exzentrisches Training für die Steigerung der Quadricepsfunktionalität erfolgversprechender ist als die Anwendung von NMES. Das Ergebnis dieser Studie hält fest, dass durch exzentrisches Training bessere Resultate als durch die Anwendung von NMES-Therapie, zur Wiederaktivierung der gehemmten Muskelfasern erzielt werden können und somit exzentrisches Training als Therapieanwendung vorzuziehen ist. Um jedoch einen realitätsnahen klinischen Effekt ermitteln zu können, müssten laut Lepley et al. (2015a) größere Populationen herangezogen und PatientInnen anhand randomisierter Studien untersucht werden.

Ziel der Studie von Gerber et al. (2009) war es den Effekt von einem frühen progressiven Exzentriktraining auf das Muskelvolumen und die Muskelfunktion ein Jahr postoperativ nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion zu evaluieren. Die AutorInnen berichteten vorweg, dass bei einem fokussierten exzentrischen Training während der ersten 15 Wochen nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion ein größerer kurzfristiger Zuwachs in Muskelvolumen, -kraft und -funktion, als bei einem standardisierten Rehabilitationsprogramm, relativiert werden kann. 40 Personen, welche sich einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion unterzogen hatten, wurden durch ein Zufallssystem in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe (EX-Gruppe) arbeitete mit einem früh progressiven

Exzentriktraining und die zweite Gruppe (ST-Gruppe) erhielt ein Standardrehabilitationsprogramm. Aufgabe der TeilnehmerInnen der ST-Gruppe war es im Gegenzug zum exzentrischen Ergometertraining der EX-Gruppe, ein konzentrisches Ergometertraining zu absolvieren. Nach dem das zwölfwöchige Trainingsprogramm abgeschlossen war, wurde das beaufsichtigte Rehabilitationsprogramm für beide Gruppen aufgehoben. Die TeilnehmerInnen wurden nun instruiert und ermutigt ein traditionelles progressives Krafttraining zwei bis drei Mal in der Woche als Hausübungsprogramm durchzuführen und allmählich ihr Aktivitätslevel über den Zeitraum von einem Jahr nach der Knieoperation abhängig von der jeweiligen individuellen Toleranz zu steigern. Periodische physikalische Evaluierungen wurden während dieses Zeitraums laufend durchgeführt. Das Ergebnis der Studie zeigt deutlich, dass sowohl das Muskelvolumen als auch die Muskelkraft bei den TeilnehmerInnen der EX-Gruppe signifikant größer waren. Wie aus Anhang F ersichtlich, weist das Muskelvolumen des M. quadriceps femoris bei jener Gruppe, die mit frühem progressiven exzentrischem Training gearbeitet hat, einen 50 Prozent größeren Muskelzuwachs auf, verglichen mit den TeilnehmerInnen der Kontrollgruppe. Die Ergebnisse der ProbandInnen der EX-Gruppe dokumentierten deutlich eine signifikante Verbesserung der gesamten Funktionalität. Anhand der aus dieser Studie (Gerber et al. 2009) gewonnenen Resultate heben die AutorInnen die Wichtigkeit eines progressiven exzentrischen Krafttrainings in einer frühen Phase eines Rehabilitationsprogrammes nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion hervor.

Die Literaturrecherche von Sonnery-Cottet et al. (2017) widmete sich weiters dem potentiellen positiven Effekt der Trainingstherapie. In dieser Literaturarbeit werden vier Studien (Hart et al. 2014; Lepley et al. 2015a; Kuenze et al. 2017; Lowe und Dong, 2018) analysiert, welche die Wirkung von Trainingstherapie bei PatientInnen mit AMI nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion untersuchten. Die eingangs erwähnten Studien beinhalten zwei Kryotherapiebezogene Studien von Hart et al. (2014) und Kuenze et al. (2015), welche ebenso die positiven Auswirkungen auf die Verbindung der Trainingstherapie mit der Kryotherapie zurückführten. Jede der beigezogenen Studien demonstrierte deutlich, dass eine Trainingstherapie mit einer signifikanten Verbesserung der Qadricepesaktivität einhergeht. Drei der Trainingsprogramme der oben angeführten Studien (Hart et al. 2014; Kuenze et al. 2015; Lepley et al. 2015a) kombinieren sowohl traditionelle Übungen mit Widerstand in offener Kette mit einem progressiven Krafttraining in geschlossener Kette für die Muskelgruppen des M. quadriceps femoris und der ischiocruralen Muskulatur. Mittels Fall-Kontrollstudien untersuchte die vierte Studie (Lowe

und Dong, 2018) bei PatientInnen mit AMI den positiven Effekt eines gezielten besonders auf die Hamstring ausgerichteten Trainingsprotokolls. Die TeilnehmerInnen jener Gruppe bei welchen vordere Kreuzbandrekonstruktionen durchgeführt wurden, zeigten im Untersuchungszeitpunkt nach dem Hamstring- Ermüdungstraining eine signifikant höhere Quadricepsaktivitätsrate als vor dem Training. Alle für diese Literaturarbeit herangezogenen Studien, welche zur Evaluierung der Wirkung von physikalisch therapeutischem Training (inkludiert Krafttraining in offener Kette, progressives Krafttraining in geschlossener Quadriceps und Hamstring Kette) bei PatientInnen mit AMI herangezogen wurden, beschreiben eine deutliche Verbesserung der Quadricepsfunktion. Die AutorInnen der untersuchten Studien führen dieses positive Resultat auf die verbesserte Wiederherstellung der neuromuskulären Funktion im Quadriceps zurück.

## 4 Diskussion

Sowohl die empirische Studie von Hart et al. (2014) als auch die Literaturrecherche von Sonnery-Cottet et al. (2017) zeigen den unterstützenden Effekt der kryotherapeutischen Maßnahmen auf die Disinhibition der Muskulatur. Hart et al. (2014) untersuchten den Einfluss der Kryotherapie, der Trainingstherapie und eine Kombination aus beiden Methoden auf das zentrale Aktivierungsverhältnis, das maximal willkürliche isometrische Kontraktionsdrehmoment, sowie die Auswirkungen auf den Hoffmann-Reflex und die Muskelreaktion am Quadriceps. Die gemessenen Outcomes der Therapiemaßnahme Kryotherapie zeigen vor allem bei der maximal willkürlichen isometrischen Kontraktion eine signifikante Verbesserung bei einer normalisierten Knieextension. Die erhofften Auswirkungen auf das zentrale Aktivierungsverhältnis, den Hoffmann-Reflex und die Muskelreaktion des M. quadriceps femoris blieben jedoch aus. Verglichen mit der Kryotherapie weisen sowohl das gemessene zentrale Aktivierungsverhältnis als auch der Hoffmann-Reflex und die Muskelreaktion durch Anwendung der Trainingstherapie bessere Outcomes auf. Die Auswirkungen der Trainingstherapie auf den Hoffmann-Reflex und die Muskelreaktion erzielten sogar noch bessere Ergebnisse, als bei der Anwendung der kombinierten Trainingsmethode. Allerdings konnte durch die Kombination beider Therapieansätze die signifikanteste Veränderung des zentralen Aktivierungsverhältnisses und des maximal willkürlichen isometrischen Kontraktionsdrehmoments erreicht werden. Die AutorInnen der Studie (Hart et al. 2014) gingen davon aus, dass die Anwendung der Kryotherapie den Motorneuronenpool öffnet und dadurch für das sofort anschließende Training eine vermehrte Zahl an Motorneuronen zur Verfügung stellt. Die Literaturrecherche von Sonnery-Cottet et al. (2017) hat ebenfalls ergeben, dass die Anwendung der Kryotherapie mit einer deutlichen Verbesserung der Quadricepskraft assoziiert wird. Aus den dokumentierten Ergebnissen wurde geschlossen, dass die Kryotherapie die Sensorezeptoren und die langsamen Gelenksnervenleitungen entlastet, was zur Folge hat, dass die Übertragung von afferenten Impulsen, die an der schädlichen Erregbarkeit des Rückgratreflexes mitbeteiligt sind, sinkt. Hopinks (2006) berichtet in seiner Studie ebenfalls davon, dass die Anwendung von Kryotherapie eine disinhibitorische Wirkung auf den M. quadriceps femoris hat. Der Autor bestätigt somit, dass die Anwendung dieser Therapiemethode sehr hilfreich für das Wiedererlangen der Muskelkraft und -aktivität bei PatientInnen mit AMI nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion sein kann. Ebenfalls verstärkt die Studie von Kim (2017) die These der positiven Wirkung der Anwendung von Kryotherapie auf die Muskelschwäche und zugleich dessen aussichtsreichen Effekt auf die Muskelfunktionsverbesserung.

Jedoch weist Kim (2017) in seiner Studie Besonders darauf hin, dass bei der Positionierung, der für die Kryotherapie benötigten Eisbeutel, genaue Präzision erforderlich ist. Durch falsches Auflegen kann durch direktes Kühlen der Muskulatur die Nervenleitgeschwindigkeit, die Muskelspindelsensibilität und sogar die Muskelkraft verringert werden. Bei der richtigen Anwendung der Kryotherapie ist nach Kim (2017) stets darauf zu achten, dass ausschließlich das betroffene Gelenk gekühlt wird und nicht die umliegende Muskulatur. Durch die direkte Gelenkskühlung kann sich die Muskelneuronenaktivität und somit die Muskelkraft und -funktion deutlich erhöhen. Jedoch ergeben sich anhand der Literaturarbeit (Sonnerly-Cottet et al. 2017) und der Studie von Hart et al. (2014) Übereinstimmungen, welche beschreiben, dass eine reine Behandlung mit Kryotherapie für gute Forschungsergebnisse nicht ausreichend ist. Um die größtmöglichen Effekte erzielen zu können raten die ForscherInnen zu einer Therapiekombination aus Kryotherapie und Trainingstherapie. Somit kann aus den recherchierten Studien festgehalten werden, dass Kryotherapie als Zusatzanwendung im Rehabilitationstraining für PatientInnen mit AMI nicht fehlen sollte.

Weiters wird in dieser Arbeit die Wirkung von transkutanelektischer Nervenstimulation; Biofeedback-Elektromyographie und funktioneller Elektrostimulation auf die AMI des Quadriceps nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion beleuchtet. Hierfür wurde eine empirische Studie (Vakilii et al. 2016) und die bereits oben erwähnte Literaturrecherche (Sonnerly-Cottet et al. 2017) herangezogen. Einige Studien untersuchten bereits zuvor den Effekt der unterschiedlichen Methoden, wie beispielsweise Biofeedback-Elektromyographie, TENS, functional electrical stimulation (FES), Trainingstherapie und Kryotherapie. auf die Quadricepsaktivität und -kraft. Jedoch findet sich in keiner dieser Studien ein direkter Vergleich der Therapiemethoden untereinander, um so den möglichst effektivsten Therapieansatz zu erkennen. Die Studie von Vakilii et al. (2016) zeigt die deutliche Erhöhung des durchschnittlichen Aktivitätsmusters des M. vastus medialis aufgrund der zusätzlichen Anwendung von FES zu einer Kombination aus Kryotherapie und traditionellem Training. Weitere AutorInnen gehen davon aus, dass FES, bei direkter Stimulation der gehemmten Alpha-Motorneuronen, die fehlende Muskelaktivität überspielt, was wiederum zu einer unbewussten Kontraktion der inhibierten Muskulatur führen kann (Lake, 1992; Binder-Macleod, Halden und Jungle, 1995). Dieses Ergebnis könnte daraus resultieren, dass die FES durch exogene Stimulation vor allem die Typ 2 Fasern mit größerem Durchmesser selektiv rekrutiert und dadurch ein größeres Potenzial an Muskelkraftproduktion ermöglicht (Binder-Macleod, Halden & Jungle, 1995). Eine weitere Studie (Stevens et al. 2004) korreliert mit den Ergebnissen dieser Arbeit und geht

zudem davon aus, dass FES ebenso die Muskelatrophie limitiert. Dieser Effekt wird in der Literatur jedoch widersprüchlich diskutiert. Einige andere Studien (Draper & Ballard, 1991; Paternostro-Sluga, Fialka, Alacamlioglu, Saradeth & Fialka-Moser, 1999) hingegen sprechen der FES-Therapie verglichen mit traditionellem Training keinen zusätzlichen Mehrwert zu. Jedoch weisen diese Artikel im Kapitel „Limitation“ diverse Unklarheiten auf. Einerseits zeigten die ProbandInnen eine hohe präoperative Quadricepskraft auf und andererseits kam es zu Schwankungen in den FES-Parameternutzungen über den Zeitraum des Experiments. Der oben erwähnten Literatur folgend ergeben sich widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der Wirkung von FES. Der Großteil der Publikationen in diesem Bereich bestätigt jedoch den positiven Effekt von FES auf eine vorliegende Muskelschwäche nach einer vorderen Kreuzbandverletzung.

Die Studie von Sonnery-Cottet et al. (2017) weist eine geringe Qualität der Evidenz im Hinblick auf die Behandlung mit TENS zur Verminderung der AMI auf. Die Anwendung von TENS demonstrierte hingegen eine höhere Wirkungsgröße im Laboratorium bei Kniegelenksergüssen. Zugleich zeigt die einzige klinische Studie der dieser Arbeit zugrunde liegenden Literaturrecherche (Sonnery-Cottet et al. 2017) bei PatientInnen mit einer vorderen Kreuzbandverletzung wenig Vorteile, wenn Kryotherapie oder Trainingstherapie zur alleinigen Anwendung kommen. Werden jedoch die Behandlungen mit TENS kombiniert, zeigt sich sehr deutlich ein unterstützender Effekt der Therapiemaßnahmen auf PatientInnen mit AMI. Allerdings ist festzuhalten, dass die TENS-Gruppe sich ebenso einer Trainingstherapie unterzogen hat und daher die Funktion von TENS in dieser Arbeit nicht isoliert evaluiert werden konnte.

Zusätzlich zu den übrigen Therapiegeräten wurde in dieser Literaturarbeit die Anwendung von NMES gegen eine AMI untersucht. Hierfür wurden zwei empirische Studien (Feil et al. 2011; Taradaj et al. 2013) herangezogen. Sowohl Taradaj et al. (2013) als auch Feil et al. (2011) unterstützen die These, dass eine Therapie mit zusätzlicher NMES-Behandlung zu einer besseren Steigerung der Muskelkraft und -funktion führen kann. Jedoch wurde das Training der Kontrollgruppe bei Taradaj et al. (2013) im Gegenzug zu jener Gruppe die additional mit NMES drei Mal die Woche therapiert wurde, nicht durch Ausgleichstherapie unterstützt. Daher darf nicht ignoriert werden, dass die Kontrollgruppe während der Studienzeit nicht die gleiche Trainingsintensität aufwies. In der Studie von Feil et al. (2011) mussten die Kontrollgruppen anstelle einer NMES- Therapie willkürliche isometrische Quadricepsmuskelnkontraktionsübungen absolvieren. Das Resultat ergab, dass sich alle Gruppen verbesserten, wobei jene Gruppe die mit dem NMES-Gerät „Kneehab“ gearbeitet hat, in jedem Messzeitpunkt die signifikantesten Outcomes

aufzeigen konnte. Einerseits könnte dieses Ergebnis auf die Unterschiede der Geräte zurückzuführen sein und andererseits bleibt die Frage ob mit willkürlichen isometrischen Kontraktionen eine ähnliche Kraftentwicklung wie bei den NMES-Geräten generiert werden kann, offen. Weiters ergab eine Studie von Lepley et al. (2015a), dass durch die Anwendung von exzentrischem Training höhere Quadricepskraftwerte erzielt werden können als durch eine NMES-Therapie. Die AutorInnen sind davon ausgegangen, dass die NMES-Geräte nicht in der Lage sind genügend Kraftentwicklung mit der Stimulation zu generieren. Allerdings zeigt die Vergleichsstudie von Stevens, Mizner & Snyder-Mackler (2003) aufgrund ihrer zahlreichen Untersuchungen bei PatientInnen mit Knie totalendoprothese, dass NMES zusätzlich zu einer Trainingstherapie die Defizite in Kraft und Aktivität der Quadricepsmuskulatur schneller lösen kann. Aus den Ergebnissen der recherchierten Studien kann daher geschlossen werden, dass eine NMES-Therapie zumindest in Kombination mit einer Trainingstherapie stattfinden sollte, um einen bestmöglichen Output zu gewährleisten.

Alle Ergebnisse der untersuchten Studien beinhalten trainingstherapeutische Maßnahmen. Die Trainingstherapie zieht sich wie ein roter Faden durch die einzelnen Studien. Lepley et al. (2015a) veranschaulichten, dass exzentrisches Training eine sehr hohe positive Auswirkung auf die Muskelkraft und -aktivität haben kann, sogar eine bessere als eine NMES-Therapie, ein standardisiertes Trainingsprotokoll oder als eine Kombination aus NMES-Therapie und exzentrischem Training. Gerber et al. (2009) unterstreichen mit ihren Resultaten die Effektivität eines exzentrischen Trainings und zeigen die Langzeitwirkung eines exzentrischen Trainings die Wichtigkeit in der frühen Rehabilitation auf. Diese Ergebnisse korrelieren mit Studien (Higbie, Cureton, Warren & Prior, 1996; Farthing & Chilibeck, 2003; Roig et al. 2009) welche für Kontrollzwecke herangezogen wurden. Zudem zeigen die Publikationen, dass exzentrisches Training im Vergleich zu einem konzentrischen Training mit einer höheren Muskelaktivierung und größerem Volumenwachstum einhergeht. Ergänzend beschreibt Roig et al. (2009); dass dies möglicherweise auf den größeren Kräften, die exzentrisch entwickelt werden können, beruht. Einen weiteren wesentlichen Ansatz der Trainingstherapie wies die Literaturrecherche von Sonnery-Cottet et al. (2017) auf. Die AutorInnen dokumentieren eine Studie von Lowe und Dong (2018) welche einen Zusammenhang zwischen ermüdeten Hamstrings und einer höheren Aktivierung der Quadricepsmuskulatur erkannte. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Reduktion der Quadricepsmuskelinhibition bei den PatientInnen vor und nach dem Hamstringtraining.

Die Hamstring-Ermüdung dürfte der Quadricepsinhibition entgegenwirken indem sie, wie die AutorInnen vermuten, die Beugereflex-Leitung miteinbindet (Rice et al. 2015).

Die elementarste Erkenntnis dieser Arbeit bestärkt, dass die Trainingstherapie den Grundstock der Rehabilitation ausmachen sollte. Diese könnte dann durch zusätzliche Therapiemethoden angepasst oder optimiert werden. So wäre in der Frührehabilitation ein exzentrisches Training für die positive Langzeitwirkung anzudenken. Additional sollten in die Trainingstherapie sowohl Kryotherapie (vor dem Therapietraining) als auch Trainingselemente, die zur Ermüdung der Hamstrings führen, miteinbezogen werden. Die Studien lassen vermuten, dass allein durch ein individuell angepasstes Therapietraining in Kombination mit Kryotherapie die AMI bei PatientInnen mit einer vorderen Kreuzbandverletzung sehr gut reduziert werden kann. Jedoch lassen sich die Erfolge durch weitere Therapiemaßnahmen vermutlich steigern. So könnte FES, TENS oder auch NMES als erweiterte Behandlung angewendet werden. Schlussendlich lässt sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit feststellen, dass für die Rehabilitation von PatientInnen mit AMI nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion ein kombiniertes Rehabilitationsprogramm erstellt werden sollte, worin sowohl Trainingstherapie, Kryotherapie als auch eine der drei muskelstimulierenden Behandlungen (FES, TENS und NMES) enthalten sein sollte.

Diese Arbeit weist einige Limitationen auf, die bei der Ergebnisanalyse mitberücksichtigt werden müssen. So wurde eine Laborstudie, welche für das klinische Szenario einer AMI bei PatientInnen nach einer vorderen Kreuzbandverletzung wenig Aussagekraft bietet, zur Ergebnisanalyse herangezogen. Eine wesentliche Limitation bildet auch die Tatsache, dass die untersuchten Studien hauptsächlich einzelne oder die Kombination zweier Therapiemethoden miteinander verglichen haben, wodurch keine qualitativ hochwertige evidenzbasierte Aussage bezüglich des positiven Effekts von mehreren kombinierten Therapiemethoden getroffen werden kann. Weiters wurden alle Kreuzbandverletzungen der PatientInnen operativ versorgt, wodurch keine direkte Verbindung zu einer nicht operierten vorderen Kreuzbandrehabilitation dargestellt werden kann. Eine andere Limitation ist weiters die geringe Anzahl an Studien, die zur Erstellung dieser Arbeit herangezogen wurden.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Fragestellung welche der analysierten Therapiemaßnahmen die möglichst größte Verbesserung der AMI, bei PatientInnen mit einer vorderen Kreuzbandverletzung erzielen kann, lässt sich schlussendlich auch durch die erworbenen Erkenntnisse dieser Arbeit nicht eindeutig beantworten. Werden die Ergebnisse mit den bewerteten Studien und deren Limitationen gemeinsam berücksichtigt, kommt der Trainingstherapie besondere Bedeutung zu. Wobei festzuhalten ist, dass auch bei dieser Form der Rehabilitation verschiedene Herangehensweisen möglich sind. Von einem exzentrischen Training, einem gezielten Training zur Hamstringermüdung bis zu einem standardisierten Training mit geschlossener und/oder offener Kette, bleiben den Physiotherapeuten alle Freiheiten. Hierbei wäre es vorteilhaft ein variables Trainingsprotokoll zu erstellen, bei welchem mehrere Aspekte der Trainingstherapie abgedeckt werden. Aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit ist auch der Anwendung der Kryotherapie ebenfalls eine wesentliche Bedeutung bei der Wiederaktivierung der inhibierten Muskelfasern zuzuschreiben. Allerdings sollten diese Behandlungsvarianten in kombinierter Form eingesetzt werden, um für den Patienten den besten Outcome zu erzielen, wobei darauf zu achten ist, dass die Kryotherapie stets vor dem Beginn der Trainingstherapie zur Anwendung kommt. Die übrigen in dieser Arbeit analysierten elektrostimulierenden Behandlungsmethoden zur Reduktion der AMI könnten zusätzlich in ein Therapieprogramm hinzugefügt werden. Durch die Untersuchung von drei Gruppen, welche jeweils eine Kombination aus drei Therapiemethoden durchliefen, bildet die Studie von Vakili et al. (2016) eine Vorreiterfunktion hinsichtlich zukunftsorientierter Rehabilitationprogramme für PatientInnen mit AMI. Jedoch sind weitere Untersuchungen durchzuführen um qualitativ hochwertige evidenzbasierte Rehabilitationsempfehlungen treffen zu können und neuerliche Untersuchungen müssen durchgeführt werden, um festzuhalten ob weitere Kombinationen von mehreren Rehabilitationsmethoden den vermuteten Erfolg auch tatsächlich bestätigen. Ich bin überzeugt, dass die Physiotherapie bezugnehmend auf die Wiederherstellung der Muskelfunktionalität in der Rehabilitation bei weitem noch nicht gänzlich ausgeschöpft ist, da kaum Studien eine Kombination von mehr als zwei Therapiemethoden untersuchten und somit wenige Vergleichsstudien für wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse vorliegen.

Werden diese Überlegungen und Erkenntnisse der Diskussion mit den Ergebnissen der erweiterten Literaturrecherche zusammengefasst, können daraus folgende Empfehlungen für die Praxis geschlossen werden:

- Die Kombinationen aus Kryotherapie und einer sofort anschließenden Trainingstherapie zeigen bereits erfolgversprechende Ansätze für eine positive Entwicklung der Verringerung der Muskelinhibition.
- NMES weist ebenfalls eine positive Wirkung auf, allerdings ist der tatsächliche Nutzen verglichen mit den anderen Therapiemethoden nicht bestätigt.
- TENS lässt eine disinhibitorische Wirkung erkennen, jedoch sind Therapien wie FES und exzentrisches Training als Alternativen auf diesem Gebiet deutlich effektiver.
- Grundsätzlich ist dem standardisierten Training ein progressives exzentrisches Training vorzuziehen.
- Die Anwendung von Elektrostimulationen mit kombinierter Trainingstherapie zeigt einen deutlich besseren Effekt als die reine Behandlung mit Elektrostimulationen.
- Aus der Literatur ergeben sich eindeutige Indikatoren, welche den Einsatz und die Verbindung von unterschiedlichen Therapiemaßnahmen für eine verbesserte Wiederaktivierung des M. quadriceps femoris nahelegen.

Trotz der Beendigung dieser Arbeit bleiben noch zahlreiche Fragen bezüglich der arthrogenen Muskelinhibition und deren passender Therapiemaßnahme für weitere Forschungen offen:

- So wäre eine mögliche Forschungsfrage, welche und wie viele Therapiemaßnahmen für ein bestmögliches Outcome kombiniert werden können und in wie fern sich die Erfolge durch die Mehranwendung von den bisherigen Resultaten unterscheiden.
- Welche Ergebnisse können durch Untersuchungen, die den direkten Vergleich der FES, TENS und NMES Anwendungen erforschen, erzielt werden.
- Weiters steht noch nicht fest, welcher Therapieaufbau den größten Langzeiterfolg verspricht.
- Als weitere Literaturarbeit könnten Studienvergleiche von bereits kombinierten Anwendungen herangezogen und auf ihre Effektivität untersucht werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ahmad, A.N. (2016) Ideal Rehabilitation Programme after Anterior Cruciate Ligament Injury: Review of Evidence. *International Journal of Science Culture and Sport*, 4(1), 56-67.
- Ahn, J.H., Chang, M.J., Lee, Y.S., Koh, K.H., Park, Y.S., & Eun, S.S. (2009). Nonoperative treatment of ACL-rupture with mild instability. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 130(8), 1001-1006.
- Aichroth, P.M., Patel, D.V., & Zorrilla, P. (2002). The natural history and treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 84(1), 38-41.
- Akeson, W.H., Amiel, D., Abel, M.F., Garfin, S.R., & Woo, S.L.Y. (1987). Effects of Immobilization on Joints. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 219, 28-37.
- Appell, H.J., & Stang-Voss, C. (1996). *Funktionelle Anatomie*. Berlin, Heidelberg; New York: Springer.
- Baliunas, A.J., Hurwitz, D.E., Ryals, A.B., Karrar, A., Case, J.P., Block, J.A., & Andriacchi, T.P. (2002). Increased knee joint loads during walking are present in subjects with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*, 10(7), 573-579.
- Bearne, L.M., Scott, D.L., Hurley, M.V. (2002). Exercise can reverse quadriceps sensorimotor dysfunction that is associated with rheumatoid arthritis without exacerbating disease activity. *Rheumatology Oxford*, 41(2), 157-66.
- Binder-Macleod, S.A., Halden, E.E., & Jungler, K.A. (1995). Effects of stimulation intensity on the physiological responses of human motor units. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(4), 556-565.
- Bogndanis, G.C., & Kalapotharakos, W. I. (2015). Knee extension strength and hamstrings-to-quadriceps imbalances in elite soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 1-6.
- Brandt, K.D., Dieppe, P., & Radin, E.L. (2008). Etiopathogenesis of osteoarthritis. *Rheumatic Diseases Clinics of North America*, 34(3), 531-59.
- Draper, V., & Ballard, L. (1991). Electrical stimulation versus electromyographic biofeedback in the recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament surgery. *Physical Therapy*, 71(6), 455-61.
- Engelhardt, M., & Freiwald, J. (1997). EMG-kontrollierte Muskelrehabilitation – Knieverletzungen. *Sportverletz Sportschaden*, 11, 87-99.
- Fransen, M., McConnell, S., Harmer, A.R., Van der Esch, M., Simic, M., Bennell, K.L. (2015). Exercise for osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 49(24), 1-144.
- Farthing, J.P., & Chilibeck, P.D. (2003) The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 578-86.
- Feil, S., Newell, J., Minogue, C., & Paessler, H.H. (2011). The Effectiveness of Supplementing a Standard Rehabilitation Program with Superimposed Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized, Single-Blind Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1238- 1248.
- Freiwald, J., Engelhardt, M., Reuter, I., Konrad, P., & Gnewuch, A. (1997). Die nervöse Versorgung der Kniegelenke. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 23(24), 531-541.
- Gerber, J.P., Marcus, R.L., Dibble, L.E., Greis, P.E., Burks, R.T., & LaStayo, P.C. (2009). The effect of neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and knee function

- in professional soccer players: return to sport after ACL reconstruction. *Physical Therapy*, 89(1), 51-59.
- Harkey, M.S., Gribble, P.A., & Pietrosimone, B.G., (2014). Disinhibitory Interventions and Voluntary Quadriceps Activation: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training*, 49(3), 411-421.
- Hart, J.M., Pietrosimone, B., Hertel, J., & Ingersoll, C.D. (2010): Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *Journal of Athletic Training*, 45(1), 87-97.
- Hart, J.M., Kuenze, C.M., Diduch, D.R., & Ingersoll, C.D. (2014). Quadriceps muscle function after rehabilitation with cryotherapy in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 49(6), 733–9.
- Herzog, W., & Suter, E. (1997). Muscle Inhibition Following Knee Injury and Disease. *Sportverletz Sportschaden*, 11(3), 74-78.
- Higbie, E.J., Cureton, K.J., Warren, G.L., & Prior, B.M. (1985). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173-81.
- Hopkins, J.T., & Ingersoll, C.D. (2000). Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 9(2), 135-159.
- Hopkins, J.T., Ingersoll, C.D., Edwards, J., & Klootwyk, T.E. (2002) Cryotherapy and transcutaneous electric neuromuscular stimulation decrease arthrogenic muscle inhibition of the vastus medialis after knee joint effusion. *Journal Athletic Training*, 37(1), 25-31.
- Hopkins, J.T. (2006). Knee Joint Effusion and Cryotherapy Alter Lower Chain Kinetics and Muscle Activity. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 177-184.
- Hui, C., Salmon, L. J., Kok, A., Maeno, S., Linklater, J., & Pinczewski, L. A. (2010). Fifteen-Year Outcome of Endoscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Patellar Tendon Autograft for “Isolated” Anterior Cruciate Ligament Tear. *The American Journal of sports medicine*, 39(1), 89-98.
- Hurley, M. V. (1997). The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation. *Manual Therapy*, 2(1), 11-17.
- Hurley, M.V., Jones, D.W., & Newham, D.J. (1994). Arthrogenic quadriceps inhibition and rehabilitation of patients with extensive traumatic knee injuries. *Clinical Science*, 86(3), 305-10.
- Ingersoll, C.D., Grindstaff, T.L., Pietrosimone, B.G., & Hart, J.M. (2008). Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clinics in Sports Medicine*, 27(3), 383-404.
- Jauch, K.W., Mutschler, W., Hoffmann, J. N., & Kanz, K.G. (2013). *Chirurgie Basiswissen: In 100 Schritten durch den Common Trunk*: Berlin: Springer Verlag.
- Keller, K. & Engelhardt, M. (2013). Muskelinhibition nach arthroskopischer Kniegelenksoperation. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64(9), 273-279.
- Kim, K.M. (2017). Effects of Joint Cryotherapy on Muscle Function. *Exercise Science*, 26(1), 1-7.
- Konishi, Y., McNair, P.J., & Rice, D.A. (2017). TENS Alleviates muscle weakness attributable to attenuation of Ia afferents. *International Journal of Sports Medicine*, 38(3), 253–257.
- Kuenze, C., Eltoukhy, M., Kelly, A., & Kim, C.Y. (2017). Impact of quadriceps strengthening on response to fatiguing exercise following ACL reconstruction. *Journal Science Medicine in Sport*, 20(1), 6–11.
- Lepley, L.K., Wojtys, E.M., & Palmieri-Smith, R.M., (2015a). Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve biomechanical limb symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Biomechanics*, 30(7), 738-47.

- Lowe, T., & Dong, X.N. (2018). The use of hamstring fatigue to reduce quadriceps inhibition after anterior cruciate ligament reconstruction. *Percept and Motor Skills*, 125(1), 81-92.
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713-721.
- Meier, W., Mizner, R.L., Marcus, R.L., Dibble, L.E., Peters, C., & Lastayo, P.C. (2008). Total knee arthroplasty: muscle impairments, functional limitations, and recommended rehabilitation approaches. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(5), 246-56.
- Meuffels, D. E., Favejee, M. M., Vissers, M. M., Heijboer, M. P., Reijman M., & Verhaar, J.A.N. (2009). Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *British journal of sports medicine*, 43(5), 347-351.
- Mikesky, A.E., Mazzuca, S.A., Brandt, K.D., Perkins, S.M., Damush, T., & Lane, K.A. (2006). Effects of strength training on the incidence and progression of knee osteoarthritis. *Arthritis & Rheumatology*, 55(5), 690-9.
- Paillard, T., Noe, F., Bernard, N., Dupui, P., & Hazard, C. (2008). Effects of two types of neuromuscular electrical stimulation training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1273–1278.
- Palastanga, N., & Soames, R., (2012). Anatomie und menschliche Bewegung – Strukturen und Funktion. München: Urban & Fischer-Verlag.
- Palmieri-Smith, R.M., Thomas, A.C., & Wojtyś, E.M., (2008). Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clinics in Sports Medicine*, 27(3), 405-42.
- Paternostro-Sluga, T., Fialka, C., Alacamlıoglu, Y., Saradeth, T., & Fialka-Moser, V. (1999). Neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament surgery. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 368, 166-75.
- Petersen, W., Forkel, P., Achtnich, A., Metzloff, S., & Zantop, T. (2012). Verletzungen des vorderen Kreuzbandes: Von der Prävention zur Therapie. *Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 1(6), 232-243.
- Platzer, W. (2009). *Bewegungsapparat* (10 ed.) Stuttgart, Thieme-Verlag.
- Rice, D.A., & McNair, P.J. (2010). Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: Neural Mechanisms and Treatment Perspectives. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 16(6), 250-266.
- Rice, D.A., McNair, P.J., & Lewis, G.N., (2011): Mechanisms of quadriceps muscle weakness in knee joint osteoarthritis: the effects of prolonged vibration on torque and muscle activation in osteoarthritis and healthy control subjects. *Arthritis Research and Therapy*, 13(5), 1-10.
- Rice, D. A., McNair, P. J., Lewis, G. N., & Dalbeth, N. (2015). The effects of joint aspiration and intra-articular corticosteroid injection on flexion reflex excitability, quadriceps strength and pain in individuals with knee synovitis: A prospective observational study. *Arthritis Research and Therapy*, 17(1), 191-200.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. & Reid, W.D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 556-68.
- Schaible, H.G., Ebersberger, A., & Von Banchet, G.S. (2002). Mechanisms of pain in arthritis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 966, 343-54.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. & Wesker, K. (2011). Prometheus. Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Sharif, M.O., Janjua-Sharif, F.N., Ali, H., & Ahmed, F., (2013). Systematic reviews explained: AMSTAR-how to tell the good from the bad and the ugly. *Oral Health and Dental Management*, 12(1), 9-16.
- Silvers, H.J. & Mandelbaum, B.R. (2007). Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injury in the Female Athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 41(1), 52-59.
- Son, S.J., Kim, H., Seeley, M.K., Frland, J.B., & Hopikns, J.T. (2016). Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on quadriceps function in individuals with experimental knee pain. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(9) ,1080–90.
- Sonnery-Cottet, B., Saithna, A., Quelard, B., Daggett, M., Borade, A., Ouanezar, H., Thauinat, M., & Blakeney, W.G. (2018). Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *British Journal of Sports Medicine*, 0, 1-11.
- Stevens, J.E., Mizner, R.L., & Snyder-Mackler, L. (2003). Quadriceps strength and volitional activation before and after total knee arthroplasty for osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(5), 775-9.
- Stevens, J.E., Mizner, R.L., & Snyder-Mackler, L. (2004). Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: a case series. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 34(1), 21-29.
- Streich, N. A., Zimmermann, D., Bode, G., Schmitt, H. (2010). Reconstructive versus nonreconstructive treatment of anterior cruciate ligament insufficiency. A retrospective matched-pair long-term follow-up. *International orthopaedics*, 35(4), 607-613.
- Strobel, M., Stedtfeld, H.W., & Eichhorn, H.J., (1995). *Diagnostik des Kniegelenks*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Stokes, M., & Young, A. (1984). The contribution of reflex inhibition to arthrogenous muscle weakness. *Clinical Science*, 67(1), 7-14.
- Taradaj, J., Halski, T., Kucharzewski, M., Walewicz, K., Smykia, A., Ozon, M., Slupska, L., Dymarek, R., Ptaszowski, K., Rajfur, J., & Pasternok, M. (2013). The Effect of NeuroMuscular Electrical Stimulation on Quadriceps Strength and Knee Function in Professional Soccer Players: Return to Sport after ACL Reconstruction. *BioMed Research International*, 1-9.
- Vakilii, S.H., Mir, S.M., Moghadam, B.A., & Gotbi, N. (2016). Comparing the Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, Biofeedback Electromyography and Functional Electrical Stimulation on Quadriceps Disinhibition after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Clinical Physiotherapy Research*, 2(2), 80-87.
- Wall, B.T., Dirks, M.L., & van Loon, L.J. (2013). Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: implications for age-related sarcopenia. *Ageing research reviews*; 12(04), 898-906.
- Wirtz, D.C. (2011). *AE-Manual der Endoprothetik: Knie*. New York: Springer -Verlag.
- Wood, L., Ferrell, W.R. (1984). Response of slowly adapting articular mechanoreceptors in the cat knee joint to alterations in intraarticular volume. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 43(2), 327-32.
- Yoshida, Y., Mizner, R.L., Ramsey, D.K., & Snyder-Mackler, L. (2008). Examining outcomes from total knee arthroplasty and the relationship between quadriceps strength and knee function over time. *Clinical Biomechanics*, 23(3), 320-8.
- Young, A. (1993). Current issues in arthrogenous inhibition. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 52(11), 829-34.
- Zyst, S. P., & Refior, H. J. (2000). Operative or conservative treatment of the acutely torn anterior cruciate ligament in middle-aged patients. A follow-up study of 133 patients between the ages of 40 and 59 years. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 120(1), 59-64.

## A Anhang PEDro-Skala

### PEDro scale

- 
- |   |   |
|---|---|
| 1. eligibility criteria were specified  | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 2. subjects were randomly allocated to groups (in a crossover study, subjects were randomly allocated an order in which treatments were received)   | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 3. allocation was concealed   | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 4. the groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators   | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 5. there was blinding of all subjects   | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 6. there was blinding of all therapists who administered the therapy  | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 7. there was blinding of all assessors who measured at least one key outcome  | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 8. measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups  | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 9. all subjects for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome was analysed by "intention to treat" | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 10. the results of between-group statistical comparisons are reported for at least one key outcome  | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
| 11. the study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome   | no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where: |
- 

The PEDro scale is based on the Delphi list developed by Verhagen and colleagues at the Department of Epidemiology, University of Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). The list is based on "expert consensus" not, for the most part, on empirical data. Two additional items not on the Delphi list (PEDro scale items 8 and 10) have been included in the PEDro scale. As more empirical data comes to hand it may become possible to "weight" scale items so that the PEDro score reflects the importance of individual scale items.

The purpose of the PEDro scale is to help the users of the PEDro database rapidly identify which of the known or suspected randomised clinical trials (ie RCTs or CCTs) archived on the PEDro database are likely to be internally valid (criteria 2-9), and could have sufficient statistical information to make their results interpretable (criteria 10-11). An additional criterion (criterion 1) that relates to the external validity (or "generalisability" or "applicability" of the trial) has been retained so that the Delphi list is complete, but this criterion will not be used to calculate the PEDro score reported on the PEDro web site.

The PEDro scale should not be used as a measure of the "validity" of a study's conclusions. In particular, we caution users of the PEDro scale that studies which show significant treatment effects and which score highly on the PEDro scale do not necessarily provide evidence that the treatment is clinically useful. Additional considerations include whether the treatment effect was big enough to be clinically worthwhile, whether the positive effects of the treatment outweigh its negative effects, and the cost-effectiveness of the treatment. The scale should not be used to compare the "quality" of trials performed in different areas of therapy, primarily because it is not possible to satisfy all scale items in some areas of physiotherapy practice.

Last amended June 21st, 1999

**Notes on administration of the PEDro scale:**

All criteria	<b>Points are only awarded when a criterion is clearly satisfied.</b> If on a literal reading of the trial report it is possible that a criterion was not satisfied, a point should not be awarded for that criterion.
Criterion 1	This criterion is satisfied if the report describes the source of subjects and a list of criteria used to determine who was eligible to participate in the study.
Criterion 2	A study is considered to have used random allocation if the report states that allocation was random. The precise method of randomisation need not be specified. Procedures such as coin-tossing and dice-rolling should be considered random. Quasi-randomisation allocation procedures such as allocation by hospital record number or birth date, or alternation, do not satisfy this criterion.
Criterion 3	<i>Concealed allocation</i> means that the person who determined if a subject was eligible for inclusion in the trial was unaware, when this decision was made, of which group the subject would be allocated to. A point is awarded for this criteria, even if it is not stated that allocation was concealed, when the report states that allocation was by sealed opaque envelopes or that allocation involved contacting the holder of the allocation schedule who was “off-site”.
Criterion 4	At a minimum, in studies of therapeutic interventions, the report must describe at least one measure of the severity of the condition being treated and at least one (different) key outcome measure at baseline. The rater must be satisfied that the groups’ outcomes would not be expected to differ, on the basis of baseline differences in prognostic variables alone, by a clinically significant amount. This criterion is satisfied even if only baseline data of study completers are presented.
Criteria 4, 7-11	<i>Key outcomes</i> are those outcomes which provide the primary measure of the effectiveness (or lack of effectiveness) of the therapy. In most studies, more than one variable is used as an outcome measure.
Criterion 5-7	<i>Blinding</i> means the person in question (subject, therapist or assessor) did not know which group the subject had been allocated to. In addition, subjects and therapists are only considered to be “blind” if it could be expected that they would have been unable to distinguish between the treatments applied to different groups. In trials in which key outcomes are self-reported (eg, visual analogue scale, pain diary), the assessor is considered to be blind if the subject was blind.
Criterion 8	This criterion is only satisfied if the report explicitly states <i>both</i> the number of subjects initially allocated to groups <i>and</i> the number of subjects from whom key outcome measures were obtained. In trials in which outcomes are measured at several points in time, a key outcome must have been measured in more than 85% of subjects at one of those points in time.
Criterion 9	An <i>intention to treat</i> analysis means that, where subjects did not receive treatment (or the control condition) as allocated, and where measures of outcomes were available, the analysis was performed as if subjects received the treatment (or control condition) they were allocated to. This criterion is satisfied, even if there is no mention of analysis by intention to treat, if the report explicitly states that all subjects received treatment or control conditions as allocated.
Criterion 10	A <i>between-group</i> statistical comparison involves statistical comparison of one group with another. Depending on the design of the study, this may involve comparison of two or more treatments, or comparison of treatment with a control condition. The analysis may be a simple comparison of outcomes measured after the treatment was administered, or a comparison of the change in one group with the change in another (when a factorial analysis of variance has been used to analyse the data, the latter is often reported as a group × time interaction). The comparison may be in the form hypothesis testing (which provides a “p” value, describing the probability that the groups differed only by chance) or in the form of an estimate (for example, the mean or median difference, or a difference in proportions, or number needed to treat, or a relative risk or hazard ratio) and its confidence interval.
Criterion 11	A <i>point measure</i> is a measure of the size of the treatment effect. The treatment effect may be described as a difference in group outcomes, or as the outcome in (each of) all groups. <i>Measures of variability</i> include standard deviations, standard errors, confidence intervals, interquartile ranges (or other quantile ranges), and ranges. Point measures and/or measures of variability may be provided graphically (for example, SDs may be given as error bars in a Figure) as long as it is clear what is being graphed (for example, as long as it is clear whether error bars represent SDs or SEs). Where outcomes are categorical, this criterion is considered to have been met if the number of subjects in each category is given for each group.

## B Anhang AMSTAR-Skala

### AMSTAR – a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews.

#### 1. Was an 'a priori' design provided?

The research question and inclusion criteria should be established before the conduct of the review.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Need to refer to a protocol, ethics approval, or pre-determined/a priori published research objectives to score a "yes."*

---

#### 2. Was there duplicate study selection and data extraction?

There should be at least two independent data extractors and a consensus procedure for disagreements should be in place.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: 2 people do study selection, 2 people do data extraction, consensus process or one person checks the other's work.*

---

#### 3. Was a comprehensive literature search performed?

At least two electronic sources should be searched. The report must include years and databases used (e.g., Central, EMBASE, and MEDLINE). Key words and/or MESH terms must be stated and where feasible the search strategy should be provided. All searches should be supplemented by consulting current contents, reviews, textbooks, specialized registers, or experts in the particular field of study, and by reviewing the references in the studies found.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: If at least 2 sources + one supplementary strategy used, select "yes" (Cochrane register/Central counts as 2 sources; a grey literature search counts as supplementary).*

---

#### 4. Was the status of publication (i.e. grey literature) used as an inclusion criterion?

The authors should state that they searched for reports regardless of their publication type. The authors should state whether or not they excluded any reports (from the systematic review), based on their publication status, language etc.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: If review indicates that there was a search for "grey literature" or "unpublished literature," indicate "yes." SIGLE database, dissertations, conference proceedings, and trial registries are all considered grey for this purpose. If searching a source that contains both grey and non-grey, must specify that they were searching for grey/unpublished lit.*

---

#### 5. Was a list of studies (included and excluded) provided?

A list of included and excluded studies should be provided.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Acceptable if the excluded studies are referenced. If there is an electronic link to the list but the link is dead, select "no."*

---

#### 6. Were the characteristics of the included studies provided?

In an aggregated form such as a table, data from the original studies should be provided on the participants, interventions and outcomes. The ranges of characteristics in all the studies analyzed e.g., age, race, sex, relevant socioeconomic data, disease status, duration, severity, or other diseases should be reported.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Acceptable if not in table format as long as they are described as above.*

---

**7. Was the scientific quality of the included studies assessed and documented?**

'A priori' methods of assessment should be provided (e.g., for effectiveness studies if the author(s) chose to include only randomized, double-blind, placebo controlled studies, or allocation concealment as inclusion criteria); for other types of studies alternative items will be relevant.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Can include use of a quality scoring tool or checklist, e.g., Jadad scale, risk of bias, sensitivity analysis, etc., or a description of quality items, with some kind of result for EACH study ("low" or "high" is fine, as long as it is clear which studies scored "low" and which scored "high"; a summary score/range for all studies is not acceptable).*

---

**8. Was the scientific quality of the included studies used appropriately in formulating conclusions?**

The results of the methodological rigor and scientific quality should be considered in the analysis and the conclusions of the review, and explicitly stated in formulating recommendations.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Might say something such as "the results should be interpreted with caution due to poor quality of included studies." Cannot score "yes" for this question if scored "no" for question 7.*

---

**9. Were the methods used to combine the findings of studies appropriate?**

For the pooled results, a test should be done to ensure the studies were combinable, to assess their homogeneity (i.e., Chi-squared test for homogeneity,  $I^2$ ). If heterogeneity exists a random effects model should be used and/or the clinical appropriateness of combining should be taken into consideration (i.e., is it sensible to combine?).

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: Indicate "yes" if they mention or describe heterogeneity, i.e., if they explain that they cannot pool because of heterogeneity/variability between interventions.*

---

**10. Was the likelihood of publication bias assessed?**

An assessment of publication bias should include a combination of graphical aids (e.g., funnel plot, other available tests) and/or statistical tests (e.g., Egger regression test, Hedges-Olken).

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: If no test values or funnel plot included, score "no". Score "yes" if mentions that publication bias could not be assessed because there were fewer than 10 included studies.*

---

**11. Was the conflict of interest included?**

Potential sources of support should be clearly acknowledged in both the systematic review and the included studies.

- Yes
- No
- Can't answer
- Not applicable

*Note: To get a "yes," must indicate source of funding or support for the systematic review AND for each of the included studies.*

---

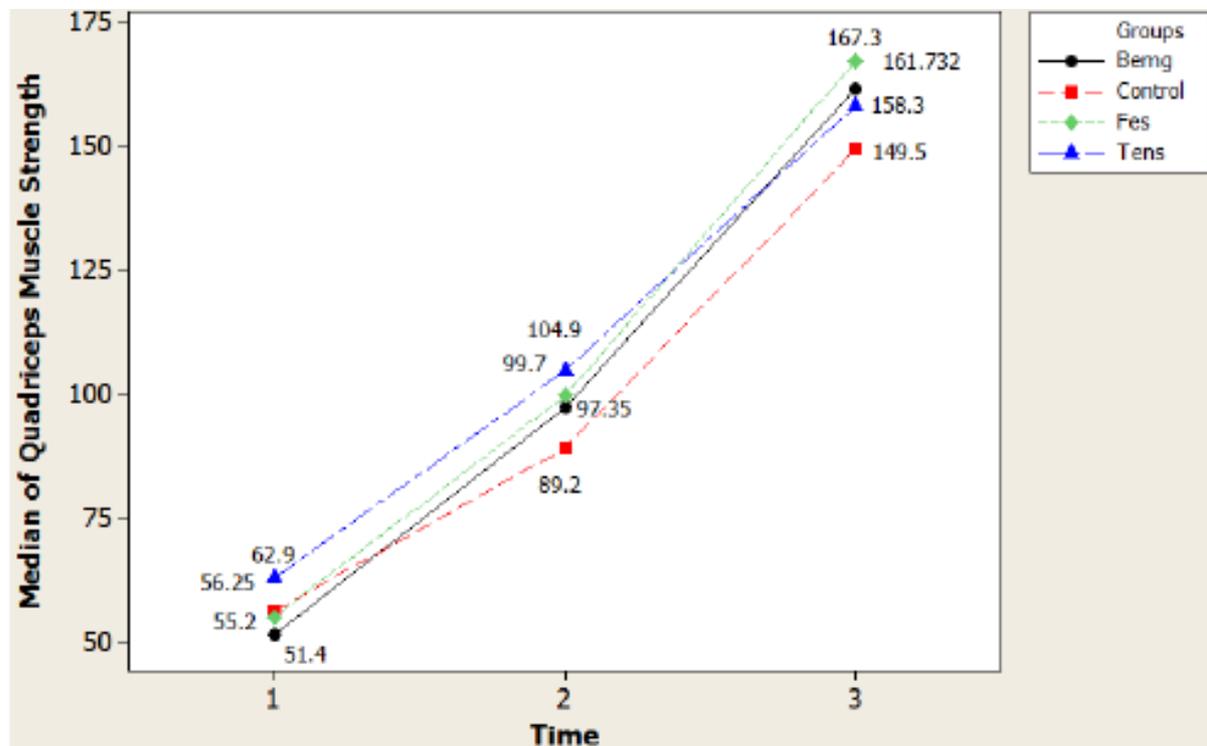
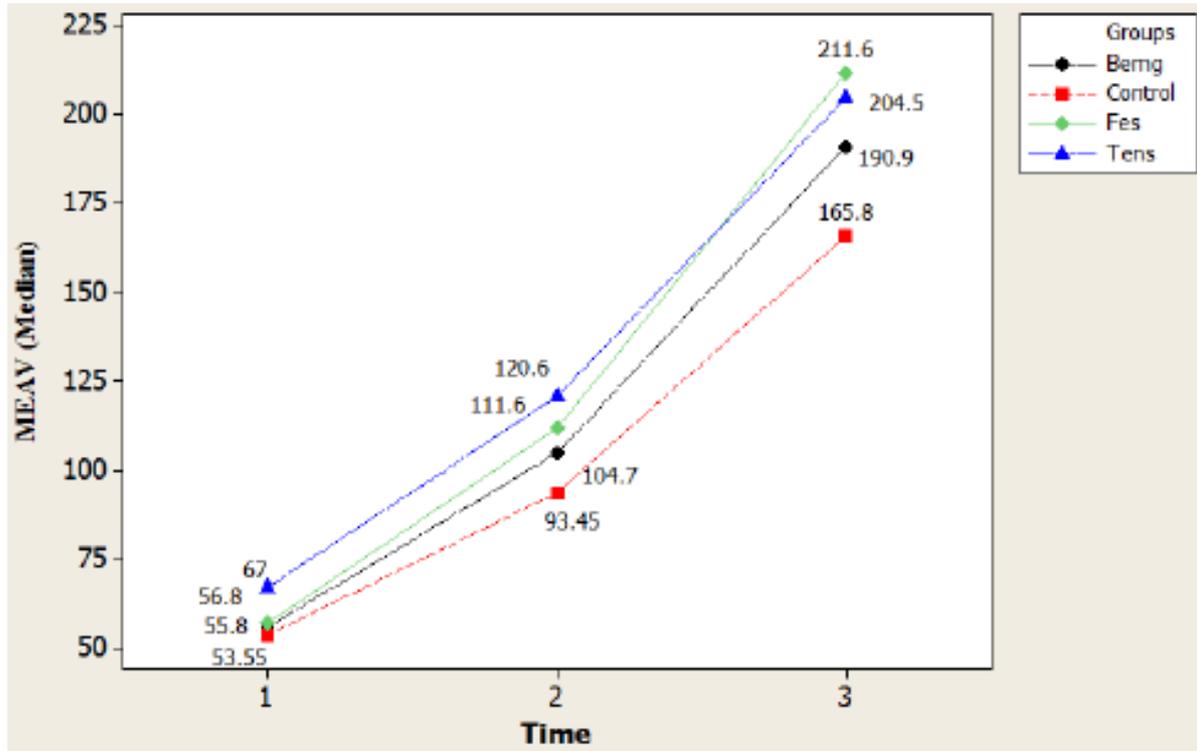
Shea et al. *BMC Medical Research Methodology* 2007 **7**:10 doi:10.1186/1471-2288-7-10

*Additional notes (in italics) made by Michelle Weir, Julia Worswick, and Carolyn Wayne based on conversations with Bev Shea and/or Jeremy Grimshaw in June and October 2008 and July and September 2010.*

## C Anhang Trainingsübungen

Treatment	Group					
	Cryotherapy		Exercise		Cryotherapy + Exercise	
	Clinic	Home	Clinic	Home	Clinic	Home
Cryotherapy treatment	X	X			X	X
Stretching			X	X	X	X
Quadriceps sets			X	X	X	X
Straight-leg raise			X	X	X	X
Calf raises			X	X	X	X
Resisted knee extension			X		X	
Resisted knee flexion			X		X	
Lunges			X	X	X	X
Lateral step-down			X		X	
Wall squats			X		X	
Balance training			X		X	

## D Anhang Muskelkraft und Muskelaktivität



## E Anhang Auflistung der Basisuntersuchungen

Response Variable	Baseline	6 Weeks	12 Weeks	24 Weeks
Lysholm score				
CO	81.26 ± 11.23	88.21 ± 7.61	95.35 ± 4.66	98.31 ± 2.82
KH	78.00 ± 11.53	91.39 ± 4.87	96.15 ± 3.46	99.06 ± 2.19
PS	80.66 ± 11.02	87.45 ± 8.06	94.03 ± 5.72	97.45 ± 3.20
Tegner score				
CO	3.47 ± 1.08	3.29 ± 0.52	3.82 ± 0.52	4.84 ± 0.85
KH	3.61 ± 1.37	3.36 ± 0.55	4.33 ± 0.85	5.76 ± 1.42
PS	3.45 ± 0.87	3.20 ± 0.68	3.90 ± 0.72	4.86 ± 0.60
KT-1000 arthrometer difference, mm				
CO	5.57 ± 1.61	0.12 ± 0.40	0.33 ± 0.59	0.38 ± 0.49
KH	5.71 ± 1.49	0.13 ± 0.41	0.31 ± 0.53	0.36 ± 0.49
PS	5.38 ± 1.40	0.13 ± 0.34	0.36 ± 0.60	0.38 ± 0.56

<sup>a</sup>Data are mean ± SD. CO, control; KH, Kneehab; PS, Polystim.

## F Anhang Muskelvolumen und Muskelkraft

Measure	Pretraining	1 y
Quadriceps femoris muscle strength (N·m)		
Eccentric exercise group	137±34	182±45 <sup>b</sup>
Standard rehabilitation group	141±41	153±39
Hamstring muscle strength (N·m)		
Eccentric exercise group	86±26	124±38
Standard rehabilitation group	82±25	107±25
Single-leg hop (cm)		
Eccentric exercise group	71±13	107±31 <sup>b</sup>
Standard rehabilitation group	69±14	83±34
Activities of Daily Living Scale		
Eccentric exercise group	71±10	94±6
Standard rehabilitation group	72±10	94±4
Lysholm Knee Rating Scale		
Eccentric exercise group	67±13	92±7
Standard rehabilitation group	64±10	92±4
KT-1000 (mm)		
Eccentric exercise group	5.8±2.5	1.7±1.6
Standard rehabilitation group	5.6±2.2	1.9±0.9

<sup>a</sup> Values are mean ± standard deviation. Pretraining values were prior to surgery. KT-1000 results indicate the laxity difference between knees (manual maximum force).

<sup>b</sup> Compared with pretraining values, quadriceps femoris muscle strength and hopping distance of the involved lower extremity at 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction were significantly greater in the eccentric exercise group ( $P \leq .01$ ).

Muscle	Pretraining	1 y
Quadriceps femoris		
Eccentric exercise group	1,430±426	1,763±458 <sup>b</sup>
Standard rehabilitation group	1,384±247	1,569±293
Gluteus maximus		
Eccentric exercise group	596±173	719±179 <sup>b</sup>
Standard rehabilitation group	621±156	693±188
Hamstring		
Eccentric exercise group	673±177	712±169
Standard rehabilitation group	651±151	687±173
Gracilis		
Eccentric exercise group	87±31	80±35
Standard rehabilitation group	85±29	77±33

<sup>a</sup> Values are mean ± standard deviation.

<sup>b</sup> Compared with pretraining values, muscle volume increases of the involved thigh at 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction were significantly greater in the eccentric exercise group ( $P \leq .01$ ).