

# **BACHELORARBEIT II**

Titel der Bachelorarbeit

**Elektromyographische Untersuchung der vorderen und  
hinteren Oberschenkelmuskulatur während drei unter-  
schiedlichen Kräftigungsübungen**

Verfasserinnen

**Christiane Cikanek**

**&**

**Lisa Kainz, BSc**

Angestrebter Akademischer Grad

**Bachelor of Science in Health Studies (BSc)**

St. Pölten, am 31.01.2020

Studiengang:

Studiengang Physiotherapie

Jahrgang:

PT 17

Betreuer:

FH-Prof. 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 Cikanek

.....

Datum

.....

Unterschrift Kainz

## **I. Abstract (Englisch)**

Title: Electromyographic examination of the anterior and posterior musculature using three different strengthening exercises

### **Introduction**

Injuries to the thigh muscles can occur during a variety of movements and have a high tendency to re-injure after healing. That's the reason why it is important to minimize risk factors and focus on preventive work. These risk factors include muscle imbalances, rapid muscle fatigue, and insufficient flexibility in the muscles, especially those in the hip and knee joints.

This study was used to measure the difference in muscle activity of the quadriceps, biceps femoris and semitendinosus during the strengthening exercises Ball Leg Curl, Bulgarian Split Squat and Conventional Cross Lifting. The ratio of muscle activity of biceps femoris and semitendinosus between the exercises was tested for differences as well. Another aim was to assess the added value of the three selected exercises in order to select the optimal exercise for physiotherapeutic work.

### **Methods**

For this study, 15 healthy subjects between 20 and 35 years of age with partial previous experience in strength training who had not previously suffered any injuries to the musculoskeletal system were used. Muscle activity during the predefined exercises was recorded by electromyographic examination and the results were checked for significant differences using the SPSS Statistics Version 24 software program.

### **Results**

Signal evaluation and statistical analysis of the data revealed a largely significant difference in muscle activity of the three muscles between the exercises Ball Leg Curl, Bulgarian Split Squat and Conventional Deadlift. The second hypothesis was refuted, there was no significant difference in the ratio between biceps femoris and semitendinosus muscles during the three strengthening exercises.

**Keywords:** ischiocrural musculature, M. quadriceps, electromyography, muscle activity

## **I. Abstract (Deutsch)**

**Titel:** Elektromyographische Untersuchung der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur während drei unterschiedlichen Kräftigungsübungen

### **Einleitung**

Verletzungen an der Oberschenkelmuskulatur können bei einer Vielzahl von Bewegungen auftreten und haben nach der Heilung eine hohe Wiederverletzungstendenz. Aus diesem Grund gilt es, Risikofaktoren zu minimieren und den Fokus auf die präventive Arbeit zu legen. Zu diesen Risikofaktoren zählen vor allem Muskeldysbalancen, rasche Muskelermüdung, sowie eine zu geringe Flexibilität in der Muskulatur, welche vor allem jene in Hüft- und Kniegelenken betreffen, gering zu halten.

Anhand dieser Studie wurde der Unterschied in der Muskelaktivität des M. quadriceps, M. biceps femoris und M. semitendinosus während den Kräftigungsübungen Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat und Konventionellem Kreuzheben, gemessen. Zusätzlich wurde das Verhältnis der Muskelaktivitäten von M. biceps femoris und M. semitendinosus zwischen den Übungen auf Unterschied getestet. Ein weiteres Ziel war es, den Mehrwert der drei ausgewählten Übungen zu erfassen, um die optimale Übung für die physiotherapeutische Arbeit auswählen zu können.

### **Methodik**

Für diese Studie wurden 15 gesunde ProbandInnen zwischen 20 und 35 Jahren mit teilweiser Vorerfahrung im Krafttraining herangezogen, die zuvor keine Verletzungen am Bewegungsapparat erlitten haben. Die Muskelaktivitäten während den vordefinierten Übungen wurden mittels elektromyographischer Untersuchung erhoben und deren Ergebnisse anhand des Softwareprogramms SPSS Statistics Version 24 auf signifikante Unterschiede geprüft.

### **Ergebnisse**

Die Signalauswertung und statistische Analyse der Daten ergab einen größtenteils signifikanten Unterschied der Muskelaktivitäten der drei Muskeln zwischen den Übungen Ball Leg Curl, Bulgarischem Split Squat und Konventionellem Kreuzheben. Die zweite Hypothese wurde widerlegt, es gab keinen signifikanten Unterschied im Verhältnis zwischen M. biceps femoris und M. semitendinosus während den drei Kräftigungsübungen.

**Keywords:** ischiocrurale Muskulatur, M. quadriceps, Elektromyographie, Muskelaktivität

## II. Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Verletzungen der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur.....	2
1.2	Dysbalancen der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur .....	4
1.3	Prävention .....	7
1.4	Elektromyographische Untersuchung .....	9
1.5	Aktueller Forschungsstand .....	12
1.6	Zielsetzung und Forschungsfrage.....	14
<b>2</b>	<b>Material &amp; Methoden .....</b>	<b>16</b>
2.1	Studiendesign.....	16
2.2	Rekrutierung.....	17
2.3	Testprotokoll.....	17
2.4	Hautvorbereitung und Elektrodenpositionierung .....	22
2.5	Datenerhebung mittels Elektromyographie .....	24
2.6	Kräftigungsübungen .....	26
2.7	Signalverarbeitung.....	29
2.8	Statistische Analyse .....	33
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
3.1	Ergebnisse der gesamten Stichprobe.....	34
3.2	Ergebnisse der Muskelverhältnisse der Oberschenkelrückseite .....	38
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>39</b>
4.1	Interpretation .....	40
4.1.1	Interpretation der Kräftigungsübungen.....	40
4.1.2	Interpretation der Verhältnisse BF vs. ST zwischen den Kräftigungsübungen .....	45
4.2	Klinische Relevanz .....	46
4.3	Limitationen .....	48

<b>5 Schlussfolgerung und Ausblick .....</b>	<b>52</b>
<b>6 Zusammenfassung .....</b>	<b>54</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>56</b>
<b>A Anhang.....</b>	<b>60</b>

### **III. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1. Querschnitt eines Oberschenkels.....	6
Abbildung 2. EMG Gerät Noraxon DTS Desktop.....	20
Abbildung 3. Ausgangsstellung MVC Testung .....	22
Abbildung 4. Verwendetes Material zur Hautvorbereitung und Elektrodenapplikation .....	23
Abbildung 5. ASTE Elektrodenapplikation.....	24
Abbildung 6. Übersichtsdiagramm Messdurchführung. ....	26
Abbildung 7. Ball Leg Curl.....	27
Abbildung 8. Bulgarischer Split Squat. ....	28
Abbildung 9. Rumänisches Kreuzheben. ....	29
Abbildung 10. MVC-Messung Quadriceps vor und nach Signalverarbeitung.....	30
Abbildung 11. Phasenteilung Marker anhand Biceps femoris während Ball Leg Curl.....	31
Abbildung 12. Grafische Darstellung Muskelaktivität während Bulgarischem Split Squat.....	32
Abbildung 13. Grafische Darstellung der Ampituden-Mittelwerte während Exzentrik und Konzentrik.....	36
Abbildung 14. Grafische Darstellung der Signalspitzen während Exzentrik und Konzentrik .....	37

#### **IV. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Zeit- und Arbeitsplan .....	16
Tabelle 2. ProbandInnenangaben .....	17
Tabelle 3. Bestimmung Maximalkraft .....	19
Tabelle 4. Übersicht Verhältnis Biceps femoris:Semitendinosus .....	38



## **V. Abkürzungsverzeichnis**

PSLR	passive straight leg raise Test
MRT	Magnetresonanztomografie
MR	Magnetresonanz
EMG	Elektromyographie
RMS	Root Mean Square
MVC	Maximum Voluntary Contraction
ROM	Range of Motion
ASTE	Ausgangsstellung
ESTE	Endstellung
H:Q Ratio	Hamstring:Quadriceps Verhältnis
1RM	Einwiederholungsmaximum
Quadriceps	Musculus quadriceps
Rectus femoris	Musculus rectus femoris
Vastus medialis	Musculus vastus medialis
Vastus lateralis	Musculus vastus lateralis
Vastus intermedius	Musculus vastus intermedius
Biceps femoris	Musculus biceps femoris
Semitendinosus	Musculus semitendinosus
BLC	Ball Leg Curl
BSS	Bulgarischer Split Squat
CDL	Konventionelles Kreuzheben
KS-Test	Kolmogorov-Smirnov-Test
Total	Exzentrik und Konzentrik

## 1 Einleitung

Die Muskulatur des Oberschenkels gehört aufgrund ihrer anatomisch zweigelenkigen Anordnung und der Last, die sie zu tragen hat, zu jenen Muskeln, die des Öfteren zu Verletzungen neigen und Dysbalancen aufweisen (Ramos, u.a., 2017). Die Rehabilitationszeit nach diesen Verletzungen kann langwierig sein und aufgrund incompletter Heilung und verfrühter Belastung erneut zu Verletzungen führen (Ernlund & Vieira, 2016; Heiderscheit, 2010).

Die Oberschenkelmuskulatur wird in die ventrale und dorsale Muskulatur unterteilt. Jene ventrale Muskulatur, welche in folgender Arbeit relevant ist, ist der M. quadriceps (Quadriceps). Dieser hat, wie der Name bereits verrät, vier Anteile: M. rectus femoris (Rectus femoris), M. vastus medialis (Vastus medialis), M. vastus lateralis (Vastus lateralis) und M. vastus intermedius (Vastus intermedius). Der Rectus femoris ist hier der einzige Anteil des Quadriceps, der an der Spina iliaca anterior superior, daher am Becken entspringt und somit zweigelenkig ist. Die Tuberositas tibiae ist hier der gemeinsame Ansatz aller vier Anteile.

Die relevante dorsale Muskulatur, auch ischiocrurale Muskulatur oder Hamstrings genannt, wird mit folgenden Muskeln beschrieben: M. biceps femoris (Biceps femoris), welcher einen langen und einen kurzen Kopf besitzt, sowie M. semitendinosus (Semitendinosus). Der lange Kopf des Biceps femoris, sowie der Semitendinosus entspringen am Tuber ischiadicum, den Sitzbeinhöckern. Sie setzen unterhalb des Kniegelenks an und sind daher, ausgenommen vom kurzen Kopf des Biceps femoris, zweigelenkig (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2014, S. 488-490).

Die ventrale und dorsale Oberschenkelmuskulatur arbeiten immer als Einheit. Sobald die ischiocrurale Muskulatur konzentrisch arbeitet, wird der M. quadriceps auf der ventralen Seite exzentrisch kontrahiert und umgekehrt. Dieses Schauspiel wird Co-Aktivierung genannt und ist für das Verständnis der folgenden Arbeit von Vorteil (Coombs & Garbutt, 2002).

## **1.1 Verletzungen der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur**

Ganz allgemein betrachtet werden Muskelverletzungen anhand der American Medical Association (AMA) seit 1966 in drei Grade unterteilt. Grad 1 bezeichnet eine leichte Zerrung der Muskulatur mit lokalem Schmerz und leichter Einschränkung in der Bewegung. Grad 2 stellt die moderate Zerrung eines Muskels, daher ein Trauma einer musklotendinösen Einheit, durch heftige Kontraktion oder übermäßig erzwungener Dehnung dar. Der Schmerz ist ebenfalls lokalisierbar, eine mäßige Schwellung ist vorhanden. Grad 3 beschreibt den schwersten Grad der muskulären Verletzung. Der Traumahergang ist derselbe wie bei Grad 2, allerdings besteht hier zusätzlich der Verlust der Muskelfunktion. Eine Muskel- oder Sehnenruptur und eventuell der muskuläre Ausriss mit Knochen besteht (Hamilton et al., 2017).

Grundsätzlich gibt es zwischen der Einheit Sehne, die zur knöchernen Anhaftung gehört und der Einheit Muskelbauch, eine klare Trennung. Obwohl Studien besagen, dass an der Stelle des musklotendinösen Übergangs am häufigsten Verletzungen auftreten, ist aus klinischer Sicht klar, dass die häufigsten Verletzungen im Muskelbauch stattfinden. Mittels MRT-Untersuchungen wurde allerdings festgestellt, dass sich Teile der Sehnen bei vielen Muskeln bis in den Muskelbauch erstrecken und die Muskelbauchverletzungen an einem intramuskulären musklotendinösem Übergang auftreten, weshalb eine strikte Trennung dieser Einheiten nicht möglich ist (Brukner & Connell, 2016).

Bei genauerer Betrachtung der Muskulatur der Oberschenkelvorderseite fällt auf, dass intramuskuläre Sehnen- beziehungsweise Faserbeteiligungen, im Vergleich zu anderen Verletzungen des Rectus femoris, wie zum Beispiel Muskelzerrungen, einen deutlich längeren Heilungszeitraum benötigen. Brukner und Connell (2016) zeigten ebenfalls, dass bei Verletzungen, die die Hauptsehne oder Aponeurose betreffen, zusätzlich Flüssigkeit eingelagert werden kann, wodurch die Belastung steigt und zu intramuskulärer Faserschädigung führt. Eine weitere Schädigung des Muskels kann ein Auftreten des Kompartmentsyndroms sein, das bis zu einem medizinischen Notfall ausarten kann. How, Lee, Wei, und Chong (2015) zeigen auf, dass es, durch den erhöhten Druck im Gewebe, im osteofaszialen Kompartiment, zu einer Unterversorgung der Muskulatur und Hypoxie kommen kann, die im schlimmsten Fall bis zum Tod führt. Wird dieses nicht zeitgerecht diagnostiziert und behandelt, besteht die Möglichkeit einiger Komplikationen, wie zum Beispiel ischämischer Kontrakturen, neuromuskulärer Störungen, Infektionen, bis hin zum Zerfall der Muskulatur. Besonders schwer ist die Diagnosestellung der Verletzung, wenn

keine Fraktur des Femurs vorliegt, jedoch stumpfe Gewalt auf den Oberschenkel ausgeübt wurde, da genannte Symptome auch erst Tage später auftreten können.

In Anbetracht der Verletzungen der dorsalen Oberschenkelmuskulatur, stellen diese, aufgrund der langsamen Heilung und der lang anhaltenden Symptome, eine besondere Herausforderung für die betroffenen Personen dar (Heiderscheit et al., 2010).

Sie entstehen häufig während einer Kombinationsbewegung mit Hüftbeugung und Kniestreckung, da während dieser Bewegung die Muskulatur in eine stark verlängerte Position gebracht wird (Heiderscheit et al., 2010).

Vor allem im Sport spielt die ischiocrurale Muskulatur eine große Rolle, da sie zu der am häufigsten verletzten Muskulatur mit einer sehr hohen Wiederverletzungsrate zählt. Dabei gilt, je proximaler die Verletzung ist, desto länger ist die Dauer, um wieder zurück in den Sport zu gelangen (Ernlund & Vieira, 2017). Die erneut verletzte Muskulatur benötigt deutlich länger um zu rehabilitieren (Wan et al., 2017). Dies bestätigten auch Engebretsen, Myklebust, Holme, Engebretsen, & Bahr (2010) anhand ihrer Studie mit männlichen Fußballspielern, bei der sie feststellten, dass die Wahrscheinlichkeit, sich erneut zu verletzen, doppelt so hoch ist, als sich eine Verletzung zum ersten Mal zuzuziehen.

Doch während welchen Bewegungen finden die Verletzungen statt? Studien haben gezeigt, dass die ischiocrurale Muskulatur am häufigsten während des Laufens, vor allem während Sprintbewegungen, in Mitleidenschaft gezogen wird. Dabei ist der Terminal Swing die gefährlichste Phase, in der die Muskulatur am stärksten in Dehnung gebracht wird und exzentrisch arbeitet, um das Bein für den kommenden Bodenkontakt vorzubereiten.

Die Wahrscheinlichkeit, dass bei dieser Bewegung der Biceps femoris verletzt wird, liegt deutlich höher als bei jener des Semitendinosus. Ebenfalls riskant sind typische Dehnbewegungen während des Tanzens, wo es zu einer gleichzeitigen Hüftflexion und Knieextension kommt (Erickson & Sherry, 2017).

## 1.2 Dysbalancen der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur

Dysbalancen in Muskelkraft und Flexibilität zwischen vorderer und hinterer Oberschenkelmuskulatur erhöhen das Verletzungsrisiko enorm. Dies ist vor allem im Sport ersichtlich, wenn schnelle Bewegungen, aber auch Bewegungen mit großer Bewegungsamplitude, die ischiocrurale Muskulatur in Dehnung bringen. Sie kommen sowohl unilateral, auf einem Bein, oder bilateral, auf beiden Beinen, vor. Zudem können Dysbalancen nicht nur zwischen Agonist und Antagonist herrschen, sondern auch im Vergleich beider Beine zwischen den jeweiligen Agonisten oder den Antagonisten. Gemessen wird die Muskelkraft häufig mit Hilfe eines Dynamometers (Carvalho et al., 2016).

Die Dominanz des Quadriceps bei Athleten hat häufig zur Folge, dass es zu einem Ungleichgewicht führt, das dafür verantwortlich ist, dass der Quadriceps häufiger aktiviert wird als die ischiocrurale Muskulatur. Dieses Prinzip der Coaktivierung spielt vor allem bei Verletzungsmechanismen eine große Rolle und ist für die Prävention bzw. der individuellen Rehabilitation nach Verletzungen äußerst wichtig (Shultz et al., 2015).

Um Dysbalancen in jener Muskulatur zu beschreiben, wird häufig das Hamstring-Quadriceps-Verhältnis herangezogen. Mit diesem werden Muskelkraft sowie Asymmetrien beurteilt, um mögliche Risiken von Verletzungen zu beschreiben (Ruas et al., 2017).

Doch ab wann wird von Dysbalance gesprochen? Ab wann ist ein Ungleichgewicht "abnormal"? In der Literatur gibt es diesbezüglich noch keine konkreten Daten. Es wird jedoch angenommen, dass ein Ungleichgewicht unter 10% bei gesunden Personen als "normal" und gesund gilt (Kulas et al., 2017).

In vielen Sportarten gilt ein Wert von 0,6 im Hamstring-Quadriceps-Verhältnis, für das Kraftverhältnis bei einer Flexion im Kniegelenk von 60°, als ideal, das bei höherer Geschwindigkeit auf 0,8 steigt. Ein geringerer Wert, der ein Ungleichgewicht zwischen Quadriceps und Hamstrings darstellen würde, kann als Indikation bzw. Risiko für Verletzungen gelten. Daher kann dieser Wert auch in der Prävention aussagekräftig sein (Daneshjoo et al., 2013).

Wan et al. (2017) zeigten in ihrer Studie, dass sich die optimale Länge der Hamstrings signifikant positiv auf die Flexibilität, aber nicht auf die Kraft, der Hamstrings auswirken. Ebenfalls wurde gezeigt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Flexibilität und Länge besteht. Je größer der Score der Flexibilität ist, desto größer ist die optimale Länge der Hamstringmuskulatur. Der Score der Flexibilität wurde mittels des passiven straight leg

raise Tests (PSLR) gemessen. Aus diesem Grund kann die Flexibilität als Risikofaktor für Verletzungen der dorsalen Muskulatur interpretiert werden.

Nicht zu vergessen bei diesem Thema ist, dass in vielen Sportarten Dysbalancen geradezu "antrainiert" werden. So haben beispielsweise Fußballer in ihrem dominanten Bein einen deutlich höheren Range of Motion (ROM) im Hüftgelenk, im Vergleich zu ihrem nicht-dominanten Bein. Denn während das dominante Bein bzw. Spielbein so weit wie möglich für den Schuss ausholen muss, ist das nicht-dominante Bein bzw. Standbein für die posturale Kontrolle bzw. Rumpfstabilität zuständig und benötigt daher nicht so viel Bewegungsumfang. Dadurch entstehen natürlich auch Dysbalancen in der Muskulatur. Aus diesem Grund raten (Daneshjoo et al., 2013) die Flexibilität und Muskelkraft beider Beine gleich viel zu trainieren.

Kulas et al. (2017) verglichen in ihrer Studie, an der nur gesunde Personen teilnahmen, nicht nur die Asymmetrien zwischen Quadriceps und Hamstrings, sondern auch die Unterschiede des Muskelvolumens innerhalb der ischiocruralen Muskelgruppe, anhand von MR-Daten. Die Größenordnungen der Asymmetrien des gesamten Quadriceps-Muskelvolumens schwankten zwischen 2% und 9%. Es scheint daher eine vernünftige Richtlinie zu sein, Quadriceps-Asymmetrien auf weniger als 10% gering zu halten, was auch den geschätzten klinischen Wert bestätigt. Die drei Vastii-Muskeln erschienen dabei fast symmetrisch, nur mit geringen Abweichungen. Die höchsten individuellen Unregelmäßigkeiten zeigten der lange und kurze Kopf des Biceps femoris, sowie der Rectus femoris.

Evangelidis, Massey, Pain, & Folland (2016) hingegen verglichen die Muskelkraft ebenfalls an gesunden Personen. Anhand eines Dynamometerstuhls wurden die Knieflexoren und – extensoren isometrisch, konzentrisch und exzentrisch gemessen. Dabei erreichten die Hamstrings höhere konzentrische und exzentrische Drehmomente als der Quadriceps. Das Muskelvolumen wurde zusätzlich getestet und ließ signifikant auf die Kraft rückschließen. So zeigten sich interindividuelle Unterschiede in der Kraft der beiden Extensoren (isometrisch 71%, konzentrisch 30-31%) und Flexoren (isometrisch 38%, konzentrisch 50-55%).

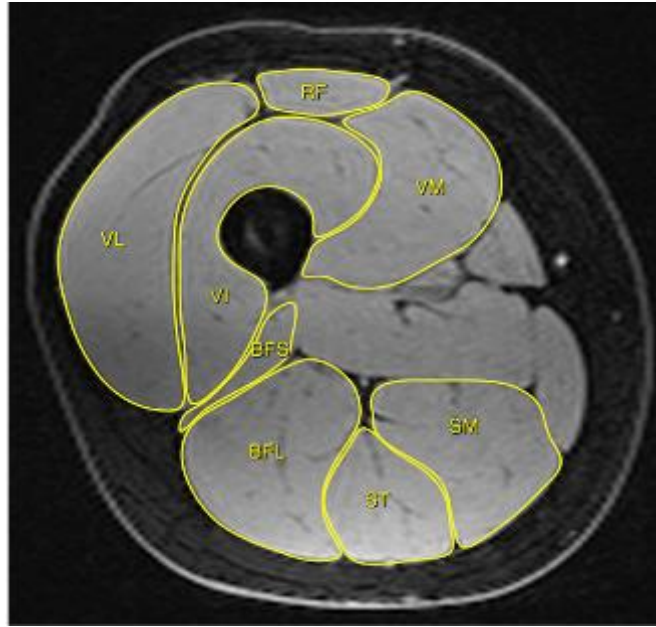


Abbildung 1. Querschnitt eines Oberschenkels  
(Kulas et al., 2017).

### 1.3 Prävention

Aufgrund der Tatsache, dass Verletzungen der Oberschenkelmuskulatur bei einer Vielzahl von Aktivitäten auftreten können bzw. eine hohe Tendenz haben erneut aufzutreten, ist es sehr wichtig Risikofaktoren zu erkennen und präventiv zu arbeiten (Heiderscheit et al., 2010).

In der Prävention wird empfohlen, Risikofaktoren wie Muskeldysbalancen, rasche Muskelermüdung, sowie eine zu geringe Flexibilität in der Muskulatur zu minimieren (Ramos et al., 2017). Hier liegt vor allem die Beweglichkeit der Muskulatur in Hüft- und Kniegelenken im Vordergrund. Zusätzlich dazu ist die Muskulatur im Hüft- bzw. Beckenbereich ebenfalls ein ausschlaggebender Faktor. So kann der M. iliopsoas, der für die Hüftbeugung zuständig ist, gleichzeitig einen Einfluss darstellen (Heiderscheit et al., 2010).

Korrekte Muskelaktivität nimmt einen hohen Stellenwert ein, wenn es um die Prävention von Verletzungen geht. So soll die Muskulatur, bevor die tatsächliche Übung durchgeführt wird, auf die folgende Bewegung vorbereitet werden, um mehr Muskelfasern ansprechen bzw. aktivieren zu können. In Bezug auf die Hamstrings wird die Muskelaktivität beispielsweise während eines Rumänischen Deadlifts maximiert, verglichen mit regulären Legcurls und Good mornings (O'Halloran et al., 2017).

In der Literatur gibt es mittlerweile einige Präventionsprogramme, die Verletzungen der ventralen und dorsalen Oberschenkelmuskulatur minimieren sollen. In jenen geht es vor allem um Stretching, korrektes Aufwärmen sowie um Krafttraining.

Bezüglich des Krafttrainings wird immer wieder ein Fokus auf die Exzentrik gelegt (Hibbert et al., 2008).

So wurde 2011 eine Studie von Schache (2012) durchgeführt, in der die Effektivität von exzentrischem Muskeltraining an Fußballspielern getestet wurde. Die Interventionsgruppe, die ein bis drei Mal pro Woche die Übung Nordic Hamstrings durchführte, zog sich bis Ende der Saison nur 15 Verletzungen an den Hamstrings (12 neu Verletzte, 3 wieder Verletzte), während sich die Kontrollgruppe 52 Verletzungen (32 neu Verletzte, 20 wieder Verletzte) zuzog.

Eine sehr aktuelle Studie nach Ruas, Brown, Lima, Costa, & Pinto (2017) zeigt ebenfalls sehr positive Effekte in Bezug auf das exzentrische Krafttraining. So wurden 40 junge Männer mit einem durchschnittlichen Alter von 23 Jahren, anhand von drei Trainingsprogrammen, die sich in ihrer Art der Muskelarbeit unterschieden, untereinander, sowie mit der Kontrollgruppe verglichen. Das rein exzentrische Training zeigte signifikante Unter-



schiede in allen vorher/nachher Testungen und zeigte damit die effektivsten Ergebnisse dieser Studie. Das konzentrische Training der Hamstrings jedoch zeigte nur positive Effekte bezüglich der dynamischen Sprünge in der funktionellen Testung. So kann interpretiert werden, dass exzentrisches Training für die Knieflexoren und – extensoren ein sehr effektiver Weg ist, um den funktionellen H:Q Ratio zu steigern. Es bildet daher eine Möglichkeit das Verletzungsrisiko zu senken und somit präventiv zu wirken.

Eine ebenfalls effektive Möglichkeit um den H:Q Ratio bestmöglich zu steigern, ist das trainieren auf instabilen Unterlagen, wie zum Beispiel auf Wackelbrettern oder Bosubällen. So kann die Therapie bzw. das Training individuell auf die Person angepasst werden um die Person individuell in ihren Einschränkungen und Dysbalancen zu fordern (Shultz et al., 2015).

Obwohl die Literatur in den letzten Jahren erheblich gewachsen und erweitert wurde, gibt es bis heute keine Verringerung der Inzidenz von Verletzungen der Oberschenkelmuskulatur. Besonders die ischiocrurale Muskulatur ist eine sehr verletzungsanfällige Muskulatur, weshalb noch weitere qualitative Forschung erforderlich ist (Brukner & Connell, 2016).

## 1.4 Elektromyographische Untersuchung

Die Elektromyographie beschäftigt sich mit der Aufzeichnung unterschiedlicher Zustände, wie Erregungs- und Kontraktionszustand eines Muskels während einer Bewegung. Erfasst werden myoelektrische Signale, Ausschläge der Muskelfasermembran, während willkürlicher Muskelaktivität an oberflächlicher Muskulatur. Die EMG findet Verwendung in der Forschung, Ergonomie, Rehabilitation und Sportwissenschaft, bei der eine objektive Beurteilung der Funktion eines Muskels ermöglicht wird. Diese tritt immer mehr in den Vordergrund und findet Gebrauch, um einen „Blick“ in die Muskulatur zu bekommen und Techniken zu analysieren (Banzer, Pfeifer, & Vogt, 2004; Konrad, 2011, S.5).

Damit ein EMG-Signal wahrgenommen und aufgezeichnet werden kann, muss im Muskel eine Kontraktion stattfinden. Grundlage einer solchen ist die motorische Einheit des Muskels. Das sind alle Muskelfasern zusammengefasst, die von einer einzigen motorischen Nervenfasern versorgt werden (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2014, S. 61). Das Alpha-Motoneuron, das im Vorderhorn des Rückenmarks liegt, ist ein Axon der motorischen Nervenzelle. Eine Muskelkontraktion findet statt, wenn das Alpha-Motoneuron, der motorische Nerv und alle Muskelfasern einer motorischen Einheit aktiviert werden und möglichst viele motorische Einheiten eines Muskels gleichzeitig arbeiten. Durch das Aufteilen des motorischen Axons, an der Grenze zur Muskelfaser, bildet es an jedem Ende der Abzweigung eine motorische Endplatte, an der die Übertragung des Aktionspotentials vom Motoneuron zur Muskelfaser stattfindet (Banzer et al., 2004, S. 167; Schünke et al., 2014, S. 61).

Durch einen überschwelligenden Reiz des Nerven kommt es zu einer Freisetzung des Transmitters Acetylcholin und bewirkt an der motorischen Endplatte ein Aktionspotential an der Muskelfasermembran. Es wird Spannung entladen und führt zu einer Fortleitung des Aktionspotentials entlang der Membran und somit zu einer Potentialänderung.

Bei niedriger elektrischer Spannung finden Muskeleinzelsuckungen statt und bei rasch hintereinander stattfindenden Aktionspotentialen tritt eine tetanische Kontraktion auf, das heißt zwischen den Verkürzungen gibt es kurze zeitliche Abstände.

Um die Potentialänderungen an der Muskelfasermembran aufzuzeichnen, werden Oberflächenelektroden verwendet und die Signale aller Aktionspotentiale summiert (Banzer et al., 2004, S. 167). Die EMG-Signale setzen sich aus der Differenz zweier Elektroden, bezogen auf die Referenzelektrode, zusammen. Die seit 1999 von SENIAM (Hermens et al., 2018) bestehenden Richtlinien der Elektrodenpositionierung sieht so aus, dass der Durchmesser einer Klebeelektrode in etwa ein Zentimeter groß ist und der Abstand zwi-

schen den Mittelpunkten zirka zwei Zentimeter beträgt. Sie werden im Muskelfaserverlauf am Muskelbauch auf der Haut angebracht, wobei die Positionierung auf die anatomischen Strukturen abgestimmt wird. Zu beachten ist, dass keine Signalüberlagerung durch benachbarte naheliegende Muskeln, sogenannte Cross Talks, passiert und der ursprünglich getestete Muskel dadurch gestört werden kann (Banzer et al., 2004, S. 169-170).

Um ein aussagekräftiges Signal zu erhalten, muss Rücksicht auf einige mögliche Einflussfaktoren beziehungsweise Störfaktoren genommen werden, wie zum Beispiel die spezielle Hautvorbereitung der ProbandInnen vor dem Kleben der Elektroden auf die Haut. Ein weiterer Faktor ist die Positionierung der Elektroden am Muskelbauch, besonders wichtig bei dynamischer Testung der Muskulatur, da trotz Verkürzung des Muskels der Elektrodenabstand verhältnismäßig gleich bleiben und am Muskelbauch verbleiben sollte. Ebenso ist zu bedenken, dass jeder Mensch eine unterschiedliche Leitfähigkeit des Gewebes besitzt, das heißt, dass der Gewebetyp, die Gewebedicke und Hauttemperatur ein Signal beeinflussen können. Die zwei letzten möglichen Faktoren beziehen sich auf die Anzahl motorischer Einheiten des Muskels, sowie die Muskelfaserleitgeschwindigkeit.

Nicht außer Acht zu lassen ist die richtige Fixation der Elektroden, denn man muss bedenken, dass sich während der Bewegung eine Elektrode ablösen kann und die Ergebnisse verfälscht. Deshalb ist es wichtig die Verbindungskabel zum Gerät auf der Haut zu fixieren, durch beispielsweise Kinesio-Tapes, damit während der Bewegung und Durchführung der Übungen der Hautkontakt der Elektroden nicht verloren geht.

Bevor eine Untersuchung durchgeführt werden kann, sollten einige Schritte überprüft werden, um im Nachhinein nicht feststellen zu müssen, dass die Messung ungültig ist. Laut Konrad (2011, S.21) ist die Überprüfung der Signalvalidität mittels Muskelfunktions-tests wichtig, um die Korrektheit des Kanals zu bestätigen. Für die Testerinnen ist es von Bedeutung zu wissen, ob die ProbandInnen den zu testenden Muskel ansteuern können. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Hautvorbereitung, die mittels Ohm-Widerstand zwischen den Elektroden überprüft wird, und laut Empfehlung von Konrad (2011, S. 21) den Impedanzbereich 1-5KOhm erreichen soll. Ob die Vorbereitung korrekt durchgeführt wurde, erkennt man daran, dass die Haut eine Rötung aufweist. Damit es zu keiner Verfälschung der Werte kommt, sollen mindestens fünf Minuten zwischen Anbringung der Elektroden und Testung liegen, da die Elektroden erst dann einen stabilen Zustand erlangen.

Die Begutachtung der Roh-EMG-Nulllinie ist mitunter der wichtigste Punkt und wird unterteilt in Nulllinienrauschen, Nulllinien-Offset und Nulllinien-Shifts. Da es zu kleinen Ausreißern kommen kann, ist ein absolut rauschfreies Messen nicht möglich. Aus der Berech-

nung eines fünf Sekunden Ausschnittes, sollten diese allerdings nicht höher als 15 Mikrovolt sein und das Grundrauschen zwischen 1 und 3,5 Mikrovolt liegen. Damit es zu keinem Nulllinien-Offset kommt, korrigiert in der Regel der Verstärker die Unterschiede, beziehungsweise die Amplituden zwischen EMG-Nulllinie und eigentlicher Nulllinie. Unter Nulllinien-Shifts versteht man, dass, bevor eine neue Kontraktion stattfindet, die Nulllinie nicht wieder zurück zur Ausgangslinie findet und dies die Werte beeinflusst (Konrad, 2011, S. 22).

Das EMG wird verwendet, um Muskelaktivitäten aufzuzeichnen und Vergleiche ziehen zu können. Doch um Muskeln oder unterschiedliche Personen miteinander zu vergleichen, müssen Normierungsverfahren stattfinden. Es gibt zwei Möglichkeiten, entweder mittels Bildung des Mittelwertes oder Bestimmung des Root Mean Square-Wertes (RMS) während eines ausgewählten Kurvenabschnittes. Die gängigste Festlegung der Aktivitätshöhe ist durch die Maximum Voluntary Contraction (MVC) möglich (Banzer et al., 2004, S. 173). Die Muskelaktivitätshöhe oder maximale Kontraktion des Muskels gegen Widerstand ist stark beeinflussbar. Es könnte dann ein Problem auftreten, wenn die ProbandInnen nicht gezielt den gewünschten Muskel isoliert und maximal kontrahieren können. Konrad (2011, S. 33) meint, Vorteile der MVC Testung sind die ungefähre Abschätzbarkeit der Belastung der ProbandInnen, der Übungstrainingsreiz auf die Muskulatur, sowie einheitliche valide Werte aller Durchführenden.

## 1.5 Aktueller Forschungsstand

Bezüglich der Muskelaktivität am Oberschenkel während verschiedener Übungen bzw. deren Vergleich miteinander, existieren mittlerweile einige Studien, die dies beschreiben. Oftmals werden jedoch Übungen dokumentiert, die für die physiotherapeutische Arbeit nicht praxisrelevant sind bzw. wurden Elektroden während den Testungen auf andere Muskeln geklebt als auf jene, die in folgender Arbeit beschrieben werden.

Die Muskelaktivität der drei, im Zuge dieser Arbeit gewählten, Kräftigungsübungen Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben unterscheidet sich laut aktueller Studien folgendermaßen:

Betreffend der ersten Übung, dem Ball Leg Curl, ist im Zuge der Bewegung zwischen 40° und 60° Beugung im Kniegelenk die höchste Muskelaktivität, zwischen 40° und 20° die zweit höchste und zwischen 20° und 0° die geringste Aktivität im Biceps femoris zu erkennen (Monajati et al., 2017).

In Anbetracht des Bulgarischen Split Squat erreicht die gesamte ischiocrurale Muskulatur in der Phase der Kniestreckung eine höhere Aktivität als während der Kniebeugung. Dabei kann am vorne stehenden Bein mehr Aktivität im Semitendinosus als im Biceps femoris beobachtet werden (Torres et al., 2019a). In Anbetracht des Biceps femoris ist zu erkennen, dass der lange Kopf mehr Muskelaktivität erzeugen kann, als der kurze Kopf. Mit zunehmendem Kniewinkel kommt es dabei zu einer mehrfachen Aktivitätssteigerung. Wird die Schrittlänge verlängert, kann unter Beobachtung des hinteren Beines eine Steigerung der Kraft im kurzen Kopf des Biceps femoris gemessen werden, während die restliche dorsale Muskulatur keine Auffälligkeiten zeigt (Schellenberg et al., 2017).

Betrachtet man die ventrale Muskulatur, zeigt der gesamte Quadriceps während der Phase der Kniestreckung eine höhere Aktivität als während der Phase der Kniebeugung. Die höchste Aktivität kann während der isometrischen Phase gemessen werden, daher im Verbleiben der maximalen Kniebeugung. Wird der Quadriceps im Detail beobachtet, zeigt der Vastus medialis die höchste Aktivität, gefolgt vom Vastus lateralis und zuletzt dem Rectus femoris (Torres et al., 2019a).

DeForest, Cantrell, & Schilling (2014) präsentieren in ihrer Studie, dass die ventrale Muskelkette deutlich mehr Aktivität zeigt als die dorsale, wobei der Rectus femoris die höchste Aktivität zeigt. Wird die dorsale Kette genauer betrachtet, zeigt der Biceps femoris die höchste Aktivität, gefolgt vom Semitendinosus, wobei hier keine großen Unterschiede herrschen.

Die Ergebnisse der Studie von McCurdy et al. (2010) deuten darauf hin, dass der Durchschnittliche Wert des Quadriceps (70,6mV) höher ist als der Durchschnitt (Mean) der ischiocruralen Muskulatur (57,10mV) und somit die Aussagekraft von Schellenberg et al. (2017) und DeForest et al. (2014) bekräftigt.

Bei der letzten Übung, dem Konventionellen Kreuzheben, ist in der gesamten Muskulatur der unteren Extremität eine signifikant höhere Muskelaktivität zu erkennen als beim Rumänischen Kreuzheben. Allerdings ist an der Oberschenkelvorderseite zu sehen, dass die Aktivität des Rectus femoris, während Konventionellem Kreuzheben, höher ist als bei Rumänischem Kreuzheben (Lee et al., 2018).

Zudem weist der lange Kopf des Biceps femoris, während Konventionellem Kreuzheben, in der Phase der Hüftextension, mehr Aktivität auf.

Allgemein ist zu sagen, dass, unabhängig bei welcher Ausführung des Kreuzhebens, während der exzentrischen Phase weniger motorische Einheiten im Biceps femoris aktiviert werden, allerdings gibt es einen signifikanten Unterschied im Vastus lateralis und M. gastrocnemius (Bezerra et al., 2013).

## 1.6 Zielsetzung und Forschungsfrage

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Mehrwert drei verschiedener Übungen zu erfassen. Im Speziellen werden Übungen untersucht, die für die Kräftigung der Oberschenkelvorder- und Oberschenkelrückseite verantwortlich sind. Anhand der Kräftigungsübungen, Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben, sollen unterschiedliche Muskelaktivitäten gemessen und miteinander verglichen werden, um detailgetreue Ergebnisse bezüglich des Aktivitätsniveaus zu erlangen. Es soll herausgefunden werden, welche Aktivität, während des jeweiligen Bewegungsablaufes, in der ischiocruralen Muskulatur und im Quadriceps bei gesunden Personen zwischen 20 und 35 Jahren, stattfindet. Im Hintergrund steht die Überlegung, welchen Einfluss die Muskelaktivität auf die Auswahl der optimalen Übung in der physiotherapeutischen Arbeit hat. Ebenso wichtig ist, möglichen Muskelverletzungen gezielt entgegenzuwirken und Risikofaktoren zu minimieren.

Hiermit ergibt sich die Hypothese, dass es einen signifikanten Unterschied in den Muskelaktivitäten des Quadriceps und der ischiocruralen Muskulatur zwischen den Übungen Ball Leg Curl, Bulgarischem Split Squat und Konventionellem Kreuzheben gibt.

Es wurden bereits einige Studien durchgeführt, welche sich zum großen Teil auf Testungen unterschiedlicher Muskelgruppen der unteren Extremität beziehen, wie zum Beispiel Untersuchungen von McAllister et al. (2014) und Schellenberg et al. (2017) zeigten. In diesen wurde der Fokus jedoch nicht auf den direkten Vergleich des Quadriceps zur ischiocruralen Muskulatur gelegt. Andere veröffentlichte Arbeiten, wie jene von Evangelidis, Massey, Pain, & Folland (2016), stellten zwar den Verhältnisvergleich zwischen Oberschenkelvorderseite und Oberschenkelrückseite dar, allerdings weist dieser eine Lücke in Bezug auf den direkten Vergleich des Biceps femoris und des Semitendinosus auf. Da unterschiedlichste Ergebnisse vorliegen wie jene von DeForest et al. (2014), Schellenberg et al. (2017) und Torres et al. (2019), heißt das, dass hier noch nicht bis zur Gänze geforscht wurde.

Um jene Lücke zu schließen, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Unterschied der Muskelaktivität während unterschiedlichen Übungen. Es werden die Aktivitäten des Biceps femoris, Semitendinosus, sowie des Quadriceps mit Hilfe elektromyographischer Untersuchungen erfasst und miteinander verglichen.

Somit ergibt sich eine weitere Hypothese, die besagt, dass es einen signifikanten Unterschied der Muskelaktivitäten im Verhältnis sowohl zwischen dem Quadriceps und der is-

chiocruralen Muskulatur, als auch zwischen dem Semitendinosus und Biceps femoris während den Übungen gibt.



## 2 Material & Methoden

### 2.1 Studiendesign

Diese Arbeit handelt von einer empirisch experimentellen Pilot-Studie anhand dynamischer Kräftigungsübungen zur Verbesserung der Muskelkraft der Oberschenkelvorder- und Oberschenkelrückseite. Das Ziel dieser Laborstudie ist, die bereits genannten Hypothesen zu bestätigen oder gegebenenfalls zu verwerfen. Die Planung und Literaturrecherche der Bachelorarbeit I hat bereits im März 2019 gestartet und die Hintergrundinformationen wurden bis Juni 2019 niedergeschrieben. Die Vorbereitungen und Testversuche fanden im November 2019 statt, um einen bestmöglichen Testablauf gewährleisten zu können. Ebenfalls wurden in diesem Zeitraum mittels Email die benötigten ProbandInnen rekrutiert. Von Ende November bis Mitte Dezember 2019 fanden die praktischen Testungen statt, wozu die ProbandInnen an zwei unterschiedlichen Tagen im Labor erschienen sind, um einerseits die Vortestung und andererseits die elektromyographischen Messungen zu absolvieren. Während des zweiten Termins wurden die Aktivitäten der unterschiedlichen Muskeln mittels EMG getestet. Die Datenerhebung war im Dezember 2019 beendet und somit startete die Signalverarbeitung, statistische Auswertung, sowie Interpretation und Diskussion der Ergebnisse, die bis Jänner 2020 abgeschlossen waren.

Tabelle 1. Zeit- und Arbeitsplan.

	2019				2020	
	Mai	Juni	Oktober	November	Dezember	Jänner
Verfassen BAC I						
Einschulung + Probetestungen Messsystem						
ProbandInnenrekrutierung						
Messungen						
Datenauswertung						
Verfassen BAC II						

## 2.2 Rekrutierung

Da in dieser Studie die drei verschiedenen Kräftigungsübungen, teilweise mit Zusatzgewicht, durchgeführt wurden, war genauestens auf die vorgegebenen Ein- und Ausschlusskriterien zu achten. Weiters wurde darauf geachtet, dass die ethischen Richtlinien eingehalten wurden. Rekrutiert wurden die benötigten ProbandInnen per Email, welche die benötigten Voraussetzungen und Terminvorschläge beinhaltete. Versendet wurde diese Ende November 2019 an alle StudentInnen der Fachhochschule St. Pölten des Studiengangs Physiotherapie, sowie an Bekannte, die Kraftsport ausüben.

Um die praktische Durchführung beginnen zu können, wurden gesunde sportliche männliche und weibliche Personen zwischen 20 und 35 Jahren gesucht, die bereits Vorerfahrung im Krafttraining beziehungsweise eine körperliche Fitness aufweisen konnten, da mit Zusatzgewicht gearbeitet wurde, sowie in den letzten 12 Monaten verletzungsfrei waren. Zu den Ausschlusskriterien zählten vor allem vorangegangene Verletzungen sowie Schmerzen am Bewegungsapparat, da jegliche Verletzungsgefahr ausgeschlossen werden musste. In der Folge ~~Weiters~~ war darauf zu achten, dass keine Medikamente zur Schmerzreduktion und jene, die zu Leistungs- und Konzentrationsminderung führen, eingenommen wurden, um Verletzungsrisiken auszuschließen. Eine weitere Zusatzinformation beinhaltete, dass die beklebten Hautstellen am Oberschenkel zu Juckreiz führen können. Von den 18 rekrutierten TeilnehmerInnen nahmen schlussendlich insgesamt 15 ProbandInnen, davon elf Männer und vier Frauen im Alter von 20-35 Jahren, an den Testungen teil. Anhand von Tabelle 2 ist ein Überblick der ProbandInnen bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und Testungsgewichte mittels Durchschnitt und Standardabweichung zu sehen.

Tabelle 2. ProbandInnenangaben, Mittelwert und Standardabweichung.

Alter	Größe	Gewicht	Testungsgewicht BSS	Testungsgewicht CDL
24,9 ± 3,9	176,5cm ± 9	76,2kg ± 13,2	30,3kg ± 12,3	66,4kg ± 19,6

## 2.3 Testprotokoll

Die ProbandInnen konnten die zwei vorgegebenen Termine, Vortestung und EMG-Messung, in einem Zeitraum von sechs Tagen selbständig auswählen und sich in die Terminliste eintragen, die einen straffen Zeitplan mit sich brachte. Um eine negative Beeinflussung der Testergebnisse durch muskuläre Ermüdung ausschließen zu können,

wurde der Abstand zwischen den zwei Testungen auf mindestens vier Tage festgelegt. Angelehnt an die Vorgabe, konnten die Abstände eingehalten werden. Da allerdings auch berufstätige TeilnehmerInnen an der Studie teilnahmen, wurden die Vortestungen teilweise selbständig durchgeführt, allerdings nur bei jenen ProbandInnen, die bereits Erfahrung im Krafttraining aufweisen konnten. In diesem Fall waren das insgesamt sieben Personen, welche die Vortestung selbständig durchführen durften. Bei den übriggebliebenen acht Personen dauerten die Vortestungen im Durchschnitt etwa 20 Minuten, inklusive eigenständigem Aufwärmen, sowie anschließender Einschulung und Gewichtstestungen. Die Messungen mittels EMG hatten eine Dauer von 45-90 Minuten, sofern keine Komplikationen wie zum Beispiel Störfaktoren aufgetreten sind. Bei all jenen, die die Vortestung eigenständig durchgeführt haben, wurde zuvor darauf geachtet, dass alle Einschlusskriterien erfüllt waren. Alle anderen ProbandInnen wurden nach dem Eintreffen zum ersten Termin ins Labor, nochmals auf die Richtigkeit der Ein- und Ausschlusskriterien überprüft. Bevor die Testung begonnen hatte, wurden die Einverständniserklärungen unterzeichnet und die Basisdaten wie Geschlecht, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und dominantes Bein erfragt und im Protokollbogen notiert. Neben den schon genannten Daten beinhaltete der Bogen noch zusätzlich freien Platz zur Eintragung des Testungsgewichtes mittels 70% des Einwiederholungsmaximums (1RM) für die Übungen Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben. Die zuvor randomisierte Reihenfolge der Übungen sowie eine Tabelle, um die zu wertenden Versuche eintragen-festhalten zu können, waren ebenfalls einzutragen. Um mögliche Verzerrungen auszuschließen, wurde darauf geachtet, dass die Einschulung der ProbandInnen ausschließlich von derselben Untersucherin durchgeführt wurde. Während der Vortestung wurde das Augenmerk auf die korrekte Durchführung, sowie Geschwindigkeit, die mittels Metronom angezeigt wurde, gelegt. Die drei Übungen wurden jeweils in drei unterschiedliche Phasen unterteilt, die Exzentrik, Konzentrik und Pause. Um diesen Abstand zu definieren, wurde das Metronom mit einer visuellen Unterstützung mittels Balken, der am Bildschirm zu sehen war, angepasst. Um die Signale der Muskeln während einer Übung miteinander vergleichen zu können, wurden im Computerprogramm die zuvor genannten Phasen mit 2 Sekunden eingestellt. Das heißt, für die Bewegung von der definierten Ausgangsstellung zur Endstellung (Exzentrik) und wieder zurück in die Ausgangsstellung (Konzentrik) waren jeweils 2 Sekunden Zeit. Danach war eine Pause von 2 Sekunden vorgesehen, bevor es wieder mit der Exzentrik startete. Nach einem selbständigen 10-minütigen Aufwärmen der ProbandInnen lag der erste Fokus auf der korrekten Durchführung der Kräftigungsübungen, dem anschließenden Üben der Geschwindigkeit mittels Metronom und zuletzt auf der Bestimmung des

Zusatzgewichtes. Die korrekte Ausführung war besonders wichtig, da aufgrund des Zusatzgewichtes jegliches Verletzungsrisiko ausgeschlossen werden musste. Die TeilnehmerInnen führten 6-12 Wiederholungen mit kompletter Muskelermüdung durch, um in der darauffolgenden Woche das optimale Langhantelgewicht von 70% des 1RM für die Übungen Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben vorzufinden. Anhand Tabelle 3 ist nachzuvollziehen, wie die ~~de~~-Prozentverteilung der Maximalkraft aufgeteilt ist. Anschließend wurde jede/r ProbandIn aufgefordert, die Übung Ball Leg Curl mehrmals hintereinander auszuführen, damit die Technik auf Richtigkeit überprüft werden konnte. Es standen zwei unterschiedlich große Gymnastikbälle in zwei verschiedenen Farben zur Verfügung, die im Testprotokoll vermerkt waren. Um möglichst standardisiert zu arbeiten, wurden die ProbandInnen aufgefordert in Rückenlage die Unterschenkel auf dem ~~ma~~ Ball abzulegen. Die richtige Auswahl war dann getroffen, wenn die Knie- und Hüftgelenkwinkel 90 Grad ergeben ~~hatten~~. Bei all jenen, die selbständig die Vortestung zur Gewichtbestimmung durchgeführt hatten, erfolgte die Einschulung, Ballauswahl und Kontrolle der Übungsdurchführung bevor mit der EMG-Testung gestartet wurde.

Tabelle 3. Bestimmung der Maximalkraft.  
(Baechle & Earle, 2008, Essentials of Strength Training and Conditioning, S. 394).

Wiederholungen	% der Maximalkraft
1	100%
2	95%
3-4	90%
5-6	85%
7-8	80%
9-10	75%
11-13	70%
14-16	65%
17-20	60%
21-24	55%

Während des zweiten Termins fanden die EMG-Untersuchungen des Muskels Quadriceps und der ischiocruralen Muskulatur statt. Dafür wurde das EMG-Gerät der amerikanischen Firma Noraxon Desktop DTS mit 8 Kanalsystem verwendet (Abbildung 2). Die ProbandInnen, bekleidet mit Unterwäsche oder kurzer anliegender Hose und T-Shirt, wurden gebeten, sich zuerst mit dem Rücken und dann mit dem Bauch auf die Therapieliege zu legen, um die Elektrodenapplikation, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, durchzuführen zu können. Das angegebene dominante Bein, auch-wie im Protokoll notiert, wurde durch beide Untersucherinnen an der zu beklebenden Stelle abgemessen, während der Kontraktion palpiert und die für richtig befundene Stelle markiert, damit davon ausgegangen werden konnte, dass bei der anschließenden Elektrodenplatzierung die Elektroden am Muskelbauch geklebt waren. Gestartet wurde mit der Oberschenkelvorderseite, den drei Anteilen des Quadriceps und anschließend wurde dasselbe mit der Oberschenkelrückseite, mit den beiden Anteilen Semitendinosus und Biceps femoris, durchgeführt. Laut SENIAM (Hermens et al., 2018) ist die genaue Position definiert, allerdings konnte diese nicht auf alle ProbandInnen übernommen werden, da es von der Länge und Ausprägung der Muskulatur, sowie einer unterschiedlichen Länge des sehnigen Anteils des Muskels abhängig ist, wo die Elektroden platziert werden.



Abbildung 2. EMG Gerät Noraxon DTS Desktop.  
(<http://www.medicalexp.de/prod/noraxon/product-70808-793666.html>, abgerufen am 21.6.19).

Nach der Hautvorbereitung und Anbringung der zehn Elektroden und fünf Transponder wurde zur Fixierung eine Peha-haft Fixierbinde verwendet, um mögliches Lösen der Transponder durch beispielsweise Schweiß zu verhindern. Erst dann wurde mit dem Aufwärmen begonnen, wobei den ProbandInnen frei-gestellt war, wie sie das Aufwärmen gestalteten, bevor es anschließend mit der MVC-Testung losging. Die bereits erwähnte Testung der MVC in Kapitel 1.4 startete nach dem Aufwärmen, da der gewünschte Mus-

kel bereits warm sein musste, um das weitere Prozedere, die gezielte und optimale Ansteuerung der Muskulatur, testen zu können. In Abbildung 3 sind die Testpositionen der zwei ausgewählten Muskelgruppen abgebildet, wobei die Abbildung der Testung der Oberschenkelvorderseite laut Konrad (2011, S. 32) sich nur auf den Rectus femoris bezo-  
gen-bezieht, ist, allerdings in der Beschreibung von allen Anteilen des Quadriceps die Rede ist. Während der MVC-Messung wurden die ProbandInnen jedes Mal durch die gleiche Untersucherin, instruiert, innerhalb von 3 Sekunden den Muskel aufbauend zu aktivieren und anzuspannen, am Ende der vorgegebenen Zeit maximal zu kontrahieren, sowie die Spannung isometrisch zu halten und bei Aufforderung die Spannung wieder innerhalb 3 Sekunden langsam zu reduzieren, bis-hin zu einer kompletten Entspannung (Konrad, 2011, S. 30). Nach einer kurzen Pause wurde dasselbe Prozedere ein zweites Mal wiederholt. Unterstützung gab es zusätzlich noch durch verbales Aanfeuern, damit das Maximum der Kontraktion aus dem Muskel herausgeholt werden konnte, wobei wieder darauf geachtet wurde, dass dieselbe Untersucherin das Kommando gab und anfeuerte. Zur speziellen Testung des Quadriceps nahmen die ProbandInnen am Fußende der Therapieliege Platz, die Arme vor der Brust verschränkt und der Gurt oberhalb des Knöchels angelegt und an der Liege fixiert, damit die Extension des Kniegelenks, in 90 Grad Beugung, ausgeführt werden konnte. Auf der linken Seite der Abbildung 3, ist die Ausgangsposition ersichtlich. Zur Durchführung der Oberschenkelrückseite wurden die TeilnehmerInnen aufgefordert, sich in die Bauchlage zu begeben, mittels einer Knierolle wurden die Unterschenkel unterlagert, um eine standardisierte Ausgangsposition zu gewährleisten. Bevor die-mit der Aufzeichnung der Muskelaktivität begonnen werden konnte, wurden die ProbandInnen instruiert, die Arme seitlich der Liege herab-hängen zu lassen, Der Gurt wurde wieder oberhalb des Knöchels fixiert, wie anhand des rechten Bildes in Abbildung 3, zu erkennen ist. Um eine gezielte Ansteuerung zu erreichen, zeigten die Zehenspitzen, zur Testung des Biceps femoris, nach außen, sowie beim Semitendinosus nach innen. Damit das Becken nicht von der Therapieliege abgehoben werden konnte, wurde das Beckendieses durch eine Untersucherin mittels Druck in Richtung Liege fixiert, um mögliche Ausweichbewegungen en beziehungsweise weiterlaufende Bewegungen in den Rumpf vermeiden zu können. Trotz des Vermeidens störender Faktoren kann es zu eventuellen Abweichungen von 10-15% im Tag-zu-Tag- Vergleich oder Seitenvergleich zwischen unterschiedlichen Personen kommen. Ebenso wird es trotz mehrmaliger Durchführung der gleichen Übung zu Variabilitäten kommen, da alle ProbandInnen eine unterschiedliche Ermüdungsschwelle der Muskulatur aufweisen können (Konrad, 2011, S. 29-33).

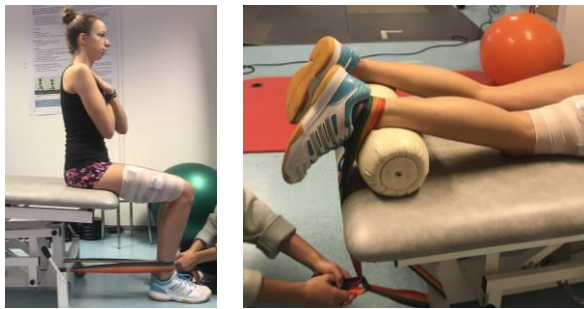


Abbildung 3. Ausgangsstellung MVC Testung.  
Links: Rectus femoris, rechts: ischiocrurale Muskulatur.

## 2.4 Hautvorbereitung und Elektrodenpositionierung

Bevor die Elektroden auf die Haut geklebt werden konnten, musste die Haut vorbereitet werden, indem die Haare an den zu testenden Stellen des Quadriceps femoris, Semitendinosus und Biceps femoris rasiert, gereinigt und anschließend desinfiziert wurden (Konrad, 2011, S. 14). Da der darauffolgende Schritt das Schneiden und die Anbringung der Elektroden war, wurden die ProbandInnen laut SENIAM (Hermens et al., 2018) bereits dafür positioniert. Wie in Kapitel 1.4 beschrieben, gehört die Hautvorbereitung sorgfältig durchgeführt, da dies ein möglicher Störfaktor des EMG-Signals sein kann.

Die Elektrodenpositionierung laut SENIAM (Hermens et al., 2018) für den Quadriceps femoris wird in Rectus femoris, Vastus lateralis und Vastus medialis unterteilt. Da der vierte Anteil, Vastus intermedius, durch den Rectus femoris bedeckt wird, kann dieser weder beklebt noch gezielt getestet werden. Für die Anlage am Rectus femoris befand sich der Proband beziehungsweise die Probandin in Rückenlage mit Unterlagerung der Kniegelenke, mittels einer Knierolle, in leichter Beugung. Zwischen der Spina iliaca anterior superior des Beckenknochens und der Oberkante der Patella wurde eine gedachte Linie gezogen und exakt in der Hälfte Markierungen gesetzt. Wie schon im vorherigen Kapitel erwähnt, konnte diese Abmessung bei den ProbandInnen nur als Richtwert verwendet werden, da der Muskelbauch je nach Oberschenkelgröße und sehnigem Muskelanteil an unterschiedlichen Stellen zu markieren war. Nächster Schritt war die Rasur an der gekennzeichneten Stelle, anschließend die abrasive Hautreinigungsemulsion und zuletzt noch die Hautdesinfektion, um sicher zu stellen, dass die Haut einen möglichst geringen Widerstand aufweist. In Abbildung 4 ist das verwendete Material zu sehen. Die Hautvorbereitung wurde durchgeführt und anschließend die Elektroden im Abstand von zwei Zen-



timetern zueinander appliziert. Dieses Prozedere wurde vor jeder Anbringung durchgeführt.

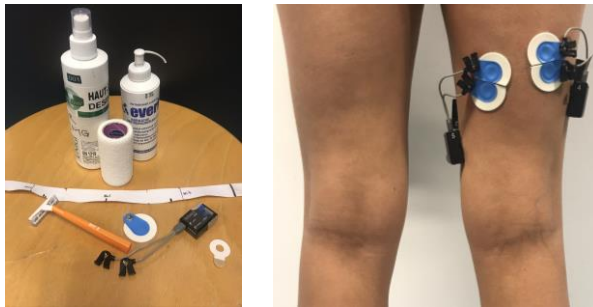


Abbildung 4. Verwendetes Material zur Hautvorbereitung und Elektrodenapplikation.

Die Vastus medialis Elektrodenpositionierung fand in gleicher Ausgangsposition statt. Diesmal wurde eine Linie zwischen SIAS und medialem Kniegelenksspalt, knapp vor dem inneren Seitenband, gedacht und etwa 20% oberhalb des Kniegelenks wurden die Elektroden wieder mit genauer Palpation von zwei Zentimetern Abstand platziert.

Der dritte Anteil des Quadriceps, Vastus lateralis, wurde wieder in der gleichen Ausgangsstellung und in etwa zwei Drittel der Linie zwischen SIAS und lateraler Patella palpirt und an der passenden Stelle beklebt.

Die vierte Elektrodenanlage am Biceps femoris fand in Bauchlage statt. Um das Kniegelenk weniger als 90 Grad gebeugt zu halten, wurde der Unterschenkel mit einer Knierolle unterlagert und als Ausgangsstellung definiert. Um speziell den weiter außen liegenden Muskel zu separieren, wurde der Proband aufgefordert, die Zehen nach außen zeigen zu lassen und gleichzeitig den Muskel zu kontrahieren. Die verbindende Linie zwischen Tuber ischiadicum und Epicondylus lateralis der Tibia wurde wieder in der Hälfte markiert und nach der passenden Position überprüft und anschließend durch-mit zwei Elektroden beklebt.

Beim Elektrodenapplizieren des Semitendinosus wurde die gleiche Position wie beim Biceps femoris eingenommen, wobei diesmal die Aufforderung kam, die Zehen ~~nach innen zeigen zu lassen~~ während dem der Anspannen-Anspannung des Muskels nach innen zeigen zu lassendes Muskels. Da der Muskel näher zur Körpermitte liegt, wurde die Linie zwischen dem Tuber ischiadicum und dem Epicondylus medialis der Tibia gezogen. Es wurde wieder auf der Hälfte der Strecke die ungefähre Position markiert und durch Palpation erst die passende Stelle definiert und die Elektroden im zwei Zentimeter Abstand positioniert.



Nach der Positionierung der Elektroden müssen mindestens 5 Minuten vergehen, da die Elektroden Zeit benötigen, um einen stabilen Zustand zu erreichen (Konrad, 2011, S.21). Um diese Zeit einhalten zu können, wurden nach der Elektrodenapplikation und Transponder Fixierung, mittels Peha-haft Fixierbinde, die ProbandInnen zum Aufwärmen geschickt.

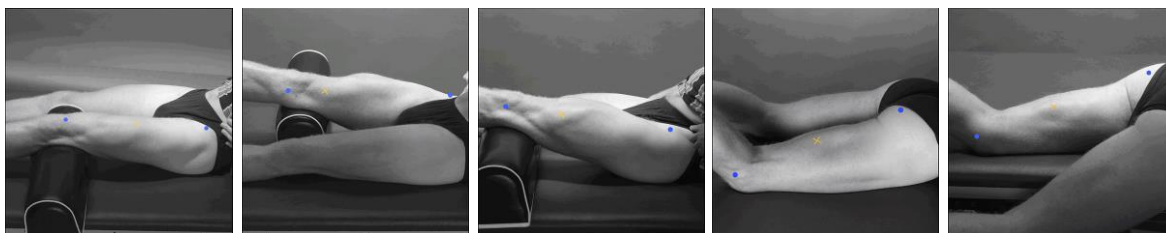


Abbildung 5. ASTE Elektrodenapplikation.

V.l.n.r.: Rectus femoris, Vastus medialis, Vastus lateralis, Biceps femoris, Semitendinosus (Hermens et al., 2018).

## 2.5 Datenerhebung mittels Elektromyographie

Nachdem alle vorherigen Schritte wie Elektrodenpositionierung, [selbständigem-selbständiges](#) Aufwärmen und MVC Messungen abgeschlossen waren, folgten die dynamischen Messungen der Kräftigungsübungen. Damit sich die TeilnehmerInnen erneut an den Rhythmus des Metronoms gewöhnen konnten, wurde noch vor der Testung ohne Zusatzgewicht geübt. Im folgenden Kapitel werden die Übungen Ball Leg Curl, Konventionelles Kreuzheben und Bulgarische Split Squats näher beschrieben.

Mittels dem Randomisierungsprogramm Research Randomizer wurde die Übungsreihenfolge mit dem Zufallsgenerator in die jeweilige Reihenfolge gebracht und jede/r ProbandIn hatte eine individuelle Abfolge der Übungen. Je nach Zufallsprinzip starteten die Messungen entweder am Boden liegend beim Ball Leg Curl (Monajati et al., 2017) oder in stehender Position wie beim Bulgarischen Split Squat oder Konventionellen Kreuzheben mit dem bereits vorgetesteten [nm](#) Zusatzgewicht der Langhantel. Jede dieser Übungen wurde insgesamt 5 Mal hintereinander wiederholt, wobei nur 3 Versuche gewertet wurden. Gewertet wurden jene Versuche, die sowohl von der Geschwindigkeit als auch vom Bewegungsausmaß am besten ausgeführt wurden. Zwischen den drei Übungen und Messungen wurde jeweils eine Pause von 5 Minuten eingehalten, um zum einen der Muskulatur kurze Regenerationszeit zu gewährleisten und zum anderen erfolgte die Vorbereitung und

Umstellung auf die nächstfolgende Übung. Um einen genauen Überblick zu bekommen, ist in Abbildung 6 der Ablauf beschrieben.

Wie bereits in Kapitel 2.3 beschrieben, bestimmte die Geschwindigkeitsvorgabe ein Metronom mittels visueller Anzeige eines Balkens. Die ProbandInnen hatten so die Möglichkeit, die Bewegung gleichzeitig mit dem Balken auszuführen und zusätzlich einen Anhaltspunkt, um während der Exzentrik und Konzentrik nicht zu schnell oder zu langsam die Bewegung auszuführen, sowie die zwei sekundige Pause einzuhalten. Die Übung Ball Leg Curl, die ohne Zusatzgewicht ausgeführt wurde, hatte die wenigsten Fehlerquellen und Sicherheitsmängel. Während der fünf sekundigen Vorbereitungszeit wurden die ProbandInnen aufgefordert, die Fersen am Ball zu platzieren und das Becken vom Boden abzuheben (Monajati et al., 2017). Als richtiger Versuch wurde es gewertet, wenn das gesamte Bewegungsausmaß innerhalb der vorgegebenen Zeit ausgeführt und der Ball geführt wurde. Da beim Bulgarischen Split Squat das nicht zu testende Bein erhöht hinter dem Standbein abgelegt wird, besteht die Gefahr, dass der/die durchführende Person aus dem Gleichgewicht gerät. Damit dies nicht passierte, haben die Untersuchenden auf die Sicherheit geachtet und die ProbandInnen entscheiden lassen, ob die Stange selbständig oder mit Hilfe am Trapezmuskel (Lockie et al., 2017) abgelegt wurde. Da es das Equipment nicht zugelassen hatte, die Langhantel am Langhantelständer selbständig abzulegen, ~~haben-halfen~~ die Teilnehmerinnen ~~geholfen-und~~ nach den 5 Wiederholungen, die Stange symmetrisch ~~abgenommenabzunehmen~~, damit die Personen nicht aus dem Gleichgewicht kamen. Ein gewerteter Versuch war es dann, wenn die Phase der Exzentrik ~~am-den~~ tiefsten Punkt erreicht ~~hattewar~~ und die Konzentrik mit der Streckung des Kniegelenkes abgeschlossen-~~war~~, beziehungsweise der Bewegungsablauf mit dem Metronom übereinstimmend war. Beim Konventionellen Kreuzheben ~~haben-nahmen~~ die TeilnehmerInnen die Langhantel selbst ~~aufgenommen~~ und sich in der Vorbereitungszeit von 5 Sekunden in die Ausgangsstellung begeben. Ein Versuch galt als gewertet, wenn die Gewichtsscheiben den Boden berührt hatten und die Geschwindigkeit eingehalten ~~wurde~~worden war.

Bei einigen ProbandInnen musste nach der Elektrodenklebung eine längere Pause als die bemessenen 5 Minuten eingelegt werden, da das Programm nicht zu bedienen war. Erst nach mehrmaligen Neustartversuchen konnte weiter gearbeitet und getestet werden, was eine Terminverschiebung des nächsten Teilnehmers mit sich zog. Ebenso trat bei mehr als der Hälfte der ProbandInnen die Problematik auf, dass nach dem Aufwärmen oder während einer Übung keine Daten mehr an den Receiver und Computer übermittelt wurden und dadurch erst das Problem gesucht und gelöst werden musste. Erster Schritt war

das Austauschen des Transponders. Gab es danach noch immer kein sichtbares EMG-Signal, so musste die Hautvorbereitung und Elektrodenapplikation wiederholt sowie ein Transponder angeschlossen und neu fixiert werden.

Am Ende einer jedern Messung wurden die Elektroden abgenommen, und die Transponder desinfiziert und erneut aufgeladen, bevor die nächsten TeilnehmerInnen an der Reihe waren.

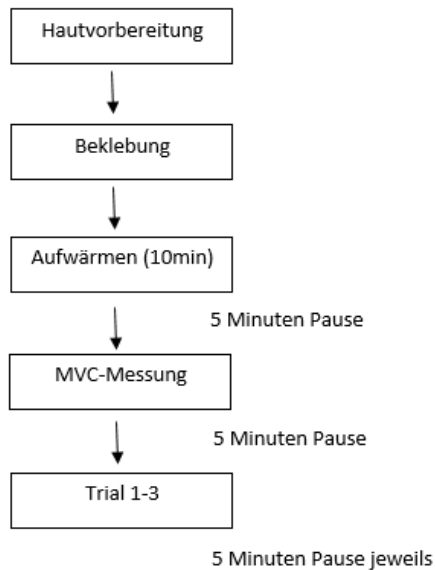


Abbildung 6. Übersichtsdiagramm Messdurchführung.

## 2.6 Kräftigungsübungen

Die Hintergründe dieser ausgewählten Kräftigungsübungen bestehen darin, dass der Fokus der drei Bewegungsabläufe auf dem Oberschenkel liegt. Das heißt, dass das Ziel dieser Studie darin liegt, zu sehen, wie der Unterschied der Muskelaktivität zwischen ischiocruraler Muskulatur und Quadriceps aussieht und wie viel Muskelarbeit im Semitendinosus und Biceps femoris vorhanden ist. Um die Übungen annähernd miteinander vergleichen zu können, wurden Kräftigungsübungen gewählt, die in der geschlossen Kette durchgeführt werden.

Die Ausgangsstellung des Ball Leg Curls ist in Rückenlage mit Kontakt zum Boden am Schultergürtel sowie Fersenkontakt am Gymnastikball. Die Arme liegen parallel zum Körper auf dem Boden, das Becken ist bereits von der Unterlage abgehoben und die Kniegelenke sind beginnend zirka im 90 Grad Winkel gebeugt. Die gesamte dorsale Muskulatur ist aktiv und muss Brückenaktivität leisten. Die dynamische Bewegung beginnt mit

einer Streckung der Kniegelenke und gleichzeitigem Rollen des Balles vom Körper weg nach unten. Nach Erreichung einer minimalen Beugung von etwa 5 Grad der Kniegelenke ist die Endposition erreicht und soll 1 Sekunde gehalten werden, bevor es wieder zurück zur Ausgangsposition geht (Monajati et al., 2017).

Die Durchführung findet in einem vorgegebenen Tempo statt und ist geprägt von einer dauerhaften Beugung der Kniegelenke, sodass eine Überstreckung der Gelenke ausgeschlossen werden ~~kann kann~~ und es dadurch zu keiner Verfälschung der Muskelaktivität kommen kann. Damit die ProbandInnen einen Anhaltspunkt hatten und genau wussten, wie schnell die Bewegung stattfinden soll, wurde ein Metronom verwendet, das die Geschwindigkeit vorgab.



Abbildung 7. Ball Leg Curl.  
V.l.n.r.: ASTE, Mittelstellung, ESTE.

Der Bulgarische Split Squat wird in stehender Position, mit erhöhtem abgelegtem hinteren Bein, gestartet. Die Auflage des hinteren Beines wird individuell angepasst, sodass die Teilnehmer den Fußrücken ablegen können und das vordere Bein isoliert arbeiten kann. Je nach Unterschenkellänge wird die Erhöhung angenähert oder entfernt zum/vom dominanten Bein. In der Studie von Lockie et al. (2017) wird die Langhantelstange mit Zusatzgewicht am M. trapezius abgelegt, erst dann ist die Ausgangsstellung erreicht und die Ausführung kann begonnen werden. Die ProbandInnen wurden angewiesen, im Rhythmus des Metronoms, das vordere Bein zu beugen, bis 90 Grad Beugung im Kniegelenk erreicht und das Gelenk in etwa oberhalb der Zehenspitzen ist. Sobald die Position erlangt war, fand die Aufwärtsbewegung, im vorgegebenen Tempo, zurück in die Startposition statt (Lockie et al., 2017; McCurdy & Langford, 2005).



Abbildung 8. Bulgarischer Split Squat.  
V.l.n.r.: ASTE, ESTE.

Der dritte Bewegungsablauf Konventionelles Kreuzheben wird im Stehen mit Zusatzgewicht absolviert. Die Person steht schulterbreit mit parallelen nach vorne zeigenden Füßen, nahe der Langhantel und die Arme seitlich am Körper. Die Griffbreite ist etwas breiter als die Standbreite definiert, sodass der Griff außerhalb der Kniegelenke gewählt wird. Gestartet wird die Bewegung mit dem Abheben der Langhantelstange vom Boden, indem die Hüft- und Kniegelenke gebeugt werden, das Gesäß Richtung Boden zieht, der Rücken gerade und lange bleibt und nach der Stange gegriffen wird. Die Stange wird durch das Strecken der Hüftgelenke und Knie angehoben und entlang der Beine nach oben geführt, bis der Oberkörper aufrecht ist und die Schulterblätter fixiert sind. Nun ist die Ausgangsstellung erreicht, die dynamische Durchführung kann starten und mittels Metronom wurde das Tempo wieder vorgegeben. Die Langhantelstange wird mit Kontakt der Beine und gleichzeitiger Beugung der Hüft- und Kniegelenke nach unten geführt (Zebis et al., 2013). Die definierte und standardisierte Endposition war erreicht, wenn die Gewichtsscheiben

den Boden berührten, dann ging es wieder in der Geschwindigkeit des Metronoms zurück in die Startposition.



Abbildung 9. Rumänisches Kreuzheben.  
V.l.n.r.: ASTE, Mittelstellung, ESTE.

## 2.7 Signalverarbeitung

Die Datenanalyse der gewonnenen EMG-Messungen beginnt nach Banzer et al. (2004, S. 171) mit einer Begutachtung des Rohsignals, um sich ein erstes Bild bezüglich der Muskelaktivität des jeweiligen Muskels zu machen. Zur Auswertung der EMG-Daten werden Peak (Signalspitze) und Mean (Mittelwert der Amplituden) notiert (Konrad, 2011, S. 39). Was allerdings nicht außer Acht gelassen werden darf ist, dass jegliche Bearbeitung der Daten zu einem Verlust an gewonnener Information führen kann. Wie in Kapitel 1.4 beschrieben, benötigt man, um Muskeln und Personen gegenüberstellen zu können, Normierungsverfahren zur Aktivitätshöhenbestimmung. Hierzu wird der Mittelwert gebildet oder aber auch der Root Mean Square ermittelt (Banzer et al., 2004, S. 173-174). Zur Bearbeitung der Rohdaten wurde mit dem Computerprogramm Noraxon MR3 3.12.70 gearbeitet.

Diese Verarbeitung beinhaltete die Komponenten Gleichrichtung, Glättung, Filtern sowie die Amplitudennormalisierung. Diese vier Schritte wurden zunächst an der MVC-Messung und darauffolgend an den Messungen der Trials der/s jeweiligen ProbandInnen durchgeführt. Daher wurde zuerst die maximale isometrische Muskelaktivität, welche statisch gemessen wurde, bearbeitet.

Gestartet wurde mit der Gleichrichtung der Rohdaten. Das bedeutet, dass alle negativen Signalausschläge positiviert, daher nach oben gespiegelt wurden. Als zweiter Schritt folgte die Glättung mittels Mittelwert. "Basierend auf einem anwenderdefinierten Zeitfenster wird mittels gleitender Fenstertechnik eine konstante Anzahl von Amplitudenwerten gemittelt und konstant über das Signal „geschoben“ (Konrad, 2011, S. 27). Laut Konrad (2011, S. 27) werden für schnelle Bewegungen wie etwa Sprünge oder

Reflexbewegungen ein Zeitfenster von 20ms und für „normale“ EMG-Experimente Werte zwischen 50 und 100ms herangezogen. Da während den MVC-Messungen die statische Muskelaktivität gemessen wurde und in den Trials dynamische Übungen, mit genauer Angabe der Geschwindigkeit, durchgeführt wurden, betrug das Zeitfenster 80ms. Der nächste Schritt war das Filtern mit einer Niederfrequenz von 20Hz, einer Hochfrequenz von 450Hz und einem Fenster von 79 Punkten.

Zuletzt wurde noch die Amplitudennormalisierung durchgeführt, die den Peak-Wert mit einer Fensterbreite von 500ms ermittelte. Somit wurde die höchste Muskelaktivität eines jeden Muskels über eine Dauer von einer halben Sekunde grün markiert. Sobald die verarbeiteten Daten gespeichert wurden, wurden diese im MVC-Speicher des Programms automatisch gespeichert (Abbildung 10). Nachdem aber nur eine MVC-Messung im MVC-Speicher gespeichert werden kann, wurde im nächsten Schritt mit der Bearbeitung der Trials-Rohdaten der jeweiligen Person begonnen.

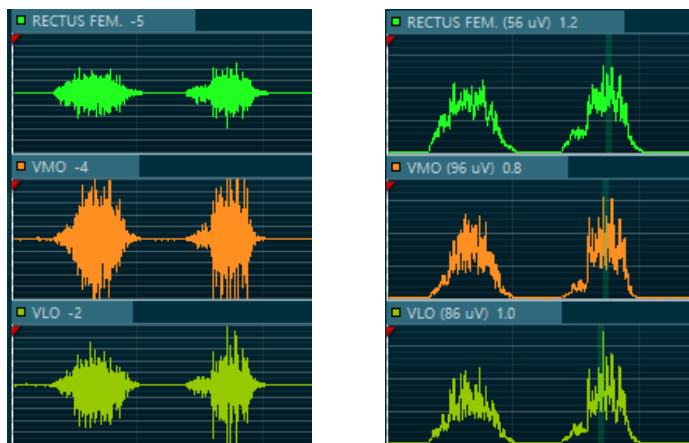


Abbildung 10. MVC-Messung des Quadrizeps vor (links) und nach (rechts) Signalverarbeitung.

Für die Verarbeitung der Trials (ausgeführten Kraftübungen), wurden dieselben vier Schritte der Signalverarbeitung herangezogen. Zunächst erfolgte die Gleichrichtung, die Positivierung und Spiegelung der Signale, vom Negativen ins Positive, und anschließend die Glättung. Hier wurden die Daten ebenfalls mit einem Zeitraumfenster von 80ms durchgeführt, allerdings wurde diesmal der Root Mean Square (RMS) herangezogen. Der RMS-Wert errechnet die mittlere Leistung des Signals mittels mathematisch quadrierter Wurzel und gilt laut Konrad (2011, S.27) als der momentane Standard in Bezug auf den Glättungsalgorithmus. Die Filterung wurde gleich wie bei der MVC-Verarbeitung mit einer Niederfrequenz von 20Hz und einer Hochfrequenz von 450Hz, sowie einem Fenster von



79 Punkten durchgeführt. Der letzte Schritt, die Amplitudennormalisierung, wurde mit der Einstellung des MVC-Speichers definiert, um die Peak-Werte der zuvor bearbeiteten MVC-Messung heranzuziehen. Für all diese Schritte der Auswertung wurde sowohl für die MVC-Messung, als auch für die Trials eine Pipeline im Vorhinein definiert und eingestellt. und Dies ersparte insgesamt bei der Auswertung viel Zeit und Arbeit. Nach diesen vier Schritten der Signalverarbeitung wurden die von den ProbandInnen durchgeführten fünf Wiederholungen, drei davon gewertet, passend zum Metronom mittels Markern in ihre Phasen unterteilt. Die Marker definierten dabei pro Wiederholung die Phasen Exzentrik (Phase 1), Konzentrik (Phase 2) und Pause (End). Nachdem pro Übung nur drei der fünf Versuche gewertet wurden, mussten die Marker von zwei Wiederholungen entfernt werden (Abbildung 11). Dabei wurde einerseits mit dem Protokoll gearbeitet, auf dem während der Durchführung der ProbandInnen notiert wurde, welche Wiederholungen dem Rhythmus des Metronoms entsprachen und welche, aufgrund von Technik oder anderen Kriterien, aus der Bearbeitung ausgeschlossen werden mussten. Um auf Nummer sicher zu gehen, wurde zusätzlich der Verlauf der EMG-Kurve genau betrachtet und auf etwaige Ausreißer geachtet.

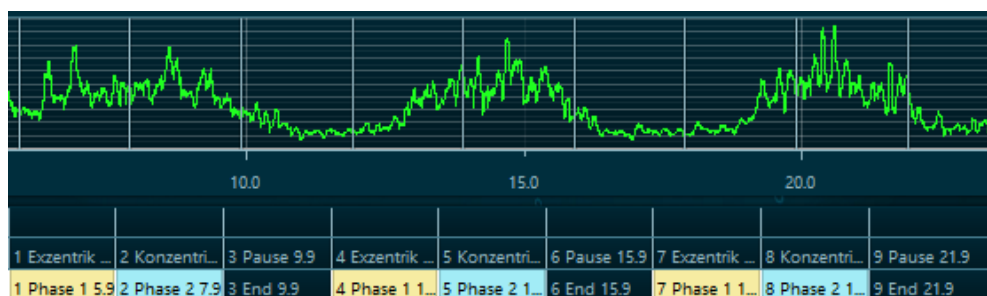


Abbildung 11. Phasenteilung der Marker anhand des Biceps femoris während Ball Leg Curl.

Um eine spätere Weiterverarbeitung der Daten zu ermöglichen, wurden diese in das Programm Excel exportiert. Diese Tabellen beinhalteten die Werte Amplituden-Mittelwert (Mean) und Signalspitzen (Peak) in Prozentangabe, aufgeteilt in Phase 1 (Exzentrik) und Phase 2 (Konzentrik), sowie Mittelwert und Standardabweichung. Konrad (2011, S. 39) gibt an, dass der Mean Wert zum direkten Vergleich von Übungen die beste Aussagekraft liefert, sowie Information über den neuromuskulären Input des Muskels während einer Bewegung gibt. Die beiden Werte, Mittelwert und Peak, wurden zur Analyse dieser Studie herangezogen und bildeten auch die Outcomeparameter der gesamten Studie. Nach der ersten Analyse der Excel-Werte wurde schnell klar, dass die Werte des Vastus medialis sowie des Vastus lateralis nicht der Norm entsprachen, da sie um ein vielfaches



höher als die restlichen Werte, mit Spitzen, die über das vierfache der MVC Messungen hinausragten, waren. Aufgrund dieser extrem hohen Werte musste von einem systematischen Fehler ausgegangen werden, der zu einer Verfälschung der Studie geführt hätte. Anhand der Streudiagramme (Abbildung 12) ist zu sehen, dass die gelben (Vastus medialis) und blauen (Vastus lateralis) Werte, in Exzentrik und Konzentrik, eindeutig von der Norm abweichen und dies eine Verzerrung der Ergebnisse mit sich gebracht hätte. Aus diesem Grund wurden jene Werte aus den weiteren Berechnungen und Analysen ausgeschlossen.

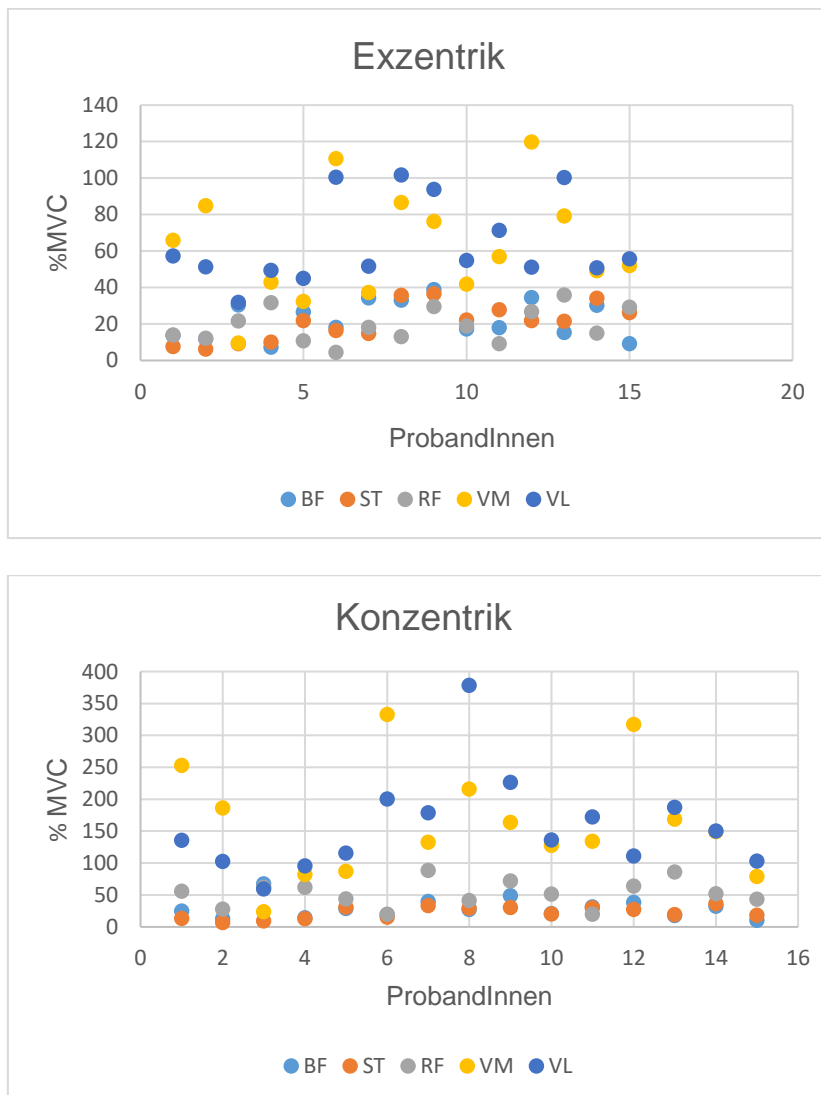


Abbildung 12. Grafische Darstellung der Muskelaktivität während Bulgarischem Split Squat, Ausschlussgrund Vastus medialis und Vastus lateralis.

## 2.8 Statistische Analyse

Um die Daten dieser drei verbliebenen Muskeln weiter berechnen und die Informationen bestmöglich darzustellen zu können, wurde die deskriptive Statistik herangezogen. Die ermittelten Daten der Messungen wurden in das Softwareprogramm SPSS Statistics Version 24 von IBM eingegeben, um die Berechnung auf mögliche Unterschiede zwischen den einzelnen Muskeln, Übungen sowie der exzentrischen und konzentrischen Phase zu berechnen.

Dies wurde mit einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt. Für diese Berechnung mussten zunächst einige Voraussetzungen erfüllt werden. Zu diesen gehören das metrische Skalenniveau sowie die Erfüllung der Normalverteilung. Diese wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) berechnet. Dabei muss beachtet werden, dass bei einem Ergebnis von unter 5% ( $p < 0,05$ ), ein signifikanter Unterschied und bei einem Ergebnis von über 5% ( $p > 0,05$ ) ein nicht signifikanter Unterschied zu sehen ist. Nach der Betrachtung der p-Werte von Peak und Mean konnte größtenteils von einer Normalverteilung ausgegangen werden ( $p < 0,05$ ) und damit mittels ANOVA weiterberechnet werden. Durch die Wahl der ANOVA wurde die Sphärizität mittels des Mauchly-Tests ermittelt. Nachdem der p-Wert  $\geq 0,05$  bzw. die Signifikanz gegeben war, konnte von einer Sphärizität der Daten ausgegangen werden. Wäre dies nicht der Fall gewesen, so hätte mittels Greenhouse-Geisser korrigiert werden müssen. Um den anschließenden paarweisen Vergleich der Übungen mittels des post-hoc-Tests ziehen zu können, wurde der Bonferroni-Test herangezogen. Anhand dieser Tests konnte per paarweisem Vergleich herausgefunden werden, welche Übungen, bezogen auf die Muskelaktivität, sich signifikant voneinander unterscheiden.

Um das bestehende Verhältnis zwischen Biceps femoris und Semitendinosus zu berechnen, wurde zunächst mittels der Excel Verhältnisformel für die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus (Biceps femoris:  $(BF \cdot 100) / (BF + ST)$ , Semitendinosus:  $(ST \cdot 100) / (ST + BF)$ ) gerechnet, um auf den jeweiligen Prozentsatz zu kommen. Da auch die Signifikanz von Bedeutung ist, wurden anschließend die ermittelten Daten erneut in das Softwareprogramm SPSS eingegeben. Nach Bestätigung der Normalverteilung mittels KS-Test, wurde mit der ANOVA mit Messwiederholung die Sphärizität und gleich anschließend die Korrektur durch Greenhouse-Geisser vorgenommen. Wie auch bei der Auswertung der gesamten Strichprobe, gab es paarweise während der drei Übungen Vergleiche der Muskeln in der Exzentrik, Konzentrik und in beiden Phasen gemeinsam (Total=Exzentrik+Konzentrik).

### 3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die gewonnenen Ergebnisse der statistischen Datenauswertung der oben angeführten EMG-Messungen dargestellt und erläutert. Zum besseren Verständnis wurde dieses Kapitel in mehrere Unterkapitel unterteilt.

#### 3.1 Ergebnisse der gesamten Stichprobe

Zur statistischen Berechnung der Daten, wie in Kapitel 2.8 beschrieben, wurde zu Beginn der KS-Test, zur Überprüfung der Normalverteilung, durchgeführt. Da die Werte größtenteils normalverteilt waren, war der nächste Schritt die Überprüfung der Sphärizität. Bei dieser Überprüfung anhand des Mauchly-Tests, wurde für den Muskel Rectus femoris ein nicht signifikanter Wert von  $p=0,092$  erzielt. Nachdem dies bei den Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus aufgrund signifikanter Ergebnisse (Biceps femoris:  $p=0,000$ ; Semitendinosus:  $p=0,002$ ) nicht der Fall war, wurde für diese das Korrekturverfahren Greenhouse-Geisser angewandt, um kein erhöhtes Risiko einzugehen, einen Fehler erster Art zu begehen. Anschließend kamen beide Muskeln auf das Ergebnis von  $p=0,000$  und so konnte die statistische Analyse fortgesetzt werden. Um die einzelnen Übungen auch untereinander in Vergleich zu stellen, wurde als nächster Schritt der Post-hoc-Test anhand des Bonferroni-Tests angewandt, um eine Überprüfung einer möglichen Signifikanz zwischen den Übungen zu erheben. Bei diesem paarweisen Vergleich erzielten die Muskeln Biceps femoris und Rectus femoris bezogen auf die Übungen Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben in den meisten Fällen einen höchst signifikanten Unterschied zueinander. Nur der Muskel Semitendinosus wies im Vergleich zwischen den Übungen Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben keinen signifikanten Unterschied auf ( $p=0,892$ ).

In Anbetracht der Mean-Werte, beginnend mit der Übung Ball Leg Curl, zeigte der Muskel Biceps femoris das höchste Aktivitätsprofil, wobei dieser in der konzentrischen Phase mehr Aktivität ( $56,3 \pm 25,3$  %MVC) als in der exzentrischen Phase ( $38,1 \pm 15,7$  %MVC) aufwies. Die zweithöchste Aktivität erlangte der Muskel Semitendinosus, während der Muskel Rectus femoris im Vergleich zur Oberschenkelrückseite kaum aktiv war. Auch während der Übung Bulgarischer Split Squat zeigte der Muskel Biceps femoris in der exzentrischen Phase die höchste Aktivität ( $22,6 \pm 10,4$  %MVC), der Muskel Rectus femoris hingegen in der konzentrischen Phase ( $52,7 \pm 21$  %MVC). Während der letzten Übung, dem Konventionellen Kreuzheben, erwiesen sich die Muskeln Semitendinosus ( $16 \pm 7,8$  %MVC) und Biceps femoris ( $26,4 \pm 11,5$  %MVC) in der Exzentrik als die aktivsten Mus-

keln. Bezogen auf die Konzentrik hat der Biceps femoris ( $26,4 \pm 11,5$  %MVC) eine minimale höhere Aktivität als die anderen zwei Muskeln.

Bei der Veranschaulichung der Sphärizität der Peak-Werte, ebenfalls mittels des Mauchly-Tests berechnet, ist zu erkennen, dass der Muskel Rectus femoris einen nicht signifikanten Wert von  $p=0,926$  erzielte. Hingegen die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus mussten ebenfalls, wie schon bereits bei den Mean-Werten, mit dem Greenhouse-Geisser korrigiert werden und erreichten hier ebenfalls den Wert von  $p=0,000$ . Um auch bei den Peak-Werten die Übungen untereinander in Vergleich stellen zu können, wurde nochmals mit dem Bonferroni-Test gearbeitet und anhand der paarweisen Vergleiche verglichen. Dabei erzielte der Rectus femoris im Vergleich zu allen Übungen, in jeglicher Hinsicht einen höchst signifikanten Unterschied. Einen nicht signifikanten Unterschied zeigten die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus im Vergleich zwischen den Übungen Bulgarischer Split Squat und Konventionellem Kreuzheben, wobei der Muskel Biceps femoris einen Wert von  $p=1,000$  und der Muskel Semitendinosus einen Wert von  $p=0,565$  erreichten.

In Anbetracht der Peak-Werte, beginnend mit der Übung Ball Leg Curl, erreichte der Muskel Biceps femoris in beiden Aktivitätsphasen (Exzentrik:  $63,3 \pm 25,6$  %MVC; Konzentrik:  $78,8 \pm 37,5$  %MVC) die höchsten Werte, wobei auch hier die Konzentrik stärker ausgeprägt war. Während des Bulgarischen Split Squats leistete der Muskel Rectus femoris ebenfalls in beiden Phasen die größte Arbeit. Wie auch schon bei den Mean-Werten, erreichte der Semitendinosus die höchste exzentrische ( $26,3 \pm 12,3$  %MVC) und der Muskel Biceps femoris die höchste konzentrische Kraft ( $53 \pm 24$  %MVC) während des Konventionellen Kreuzhebens.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurden Diagramme der Mean- (Abbildung 13) und Peak-Werte (Abbildung 14) in %MVC, in den exzentrischen und konzentrischen Phasen der Muskeln bzw. Übungen herangezogen.

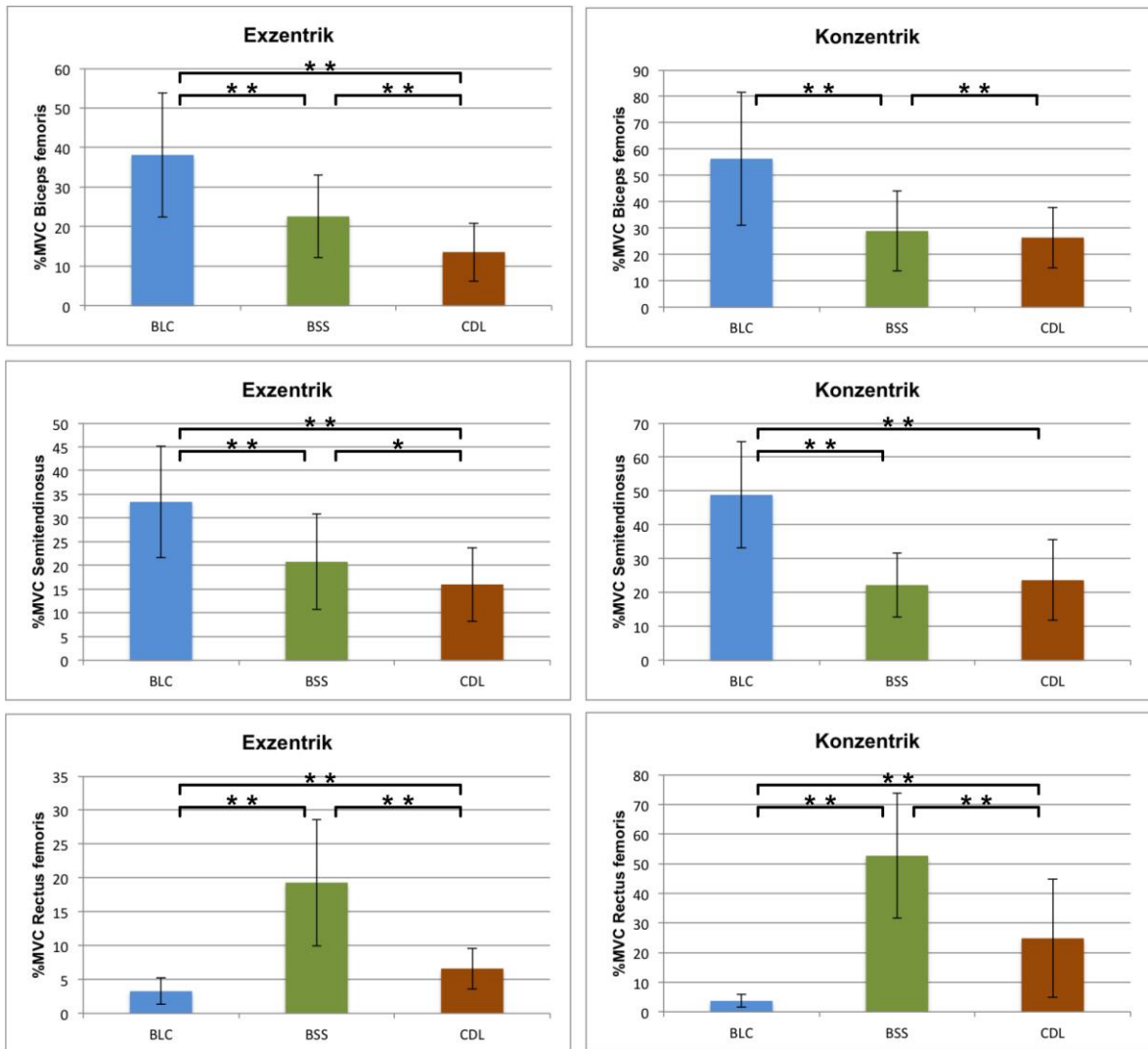


Abbildung 13. Grafische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichung der Amplituden-Mittelwerte während Exzentrik und Konzentrik.  
 \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$

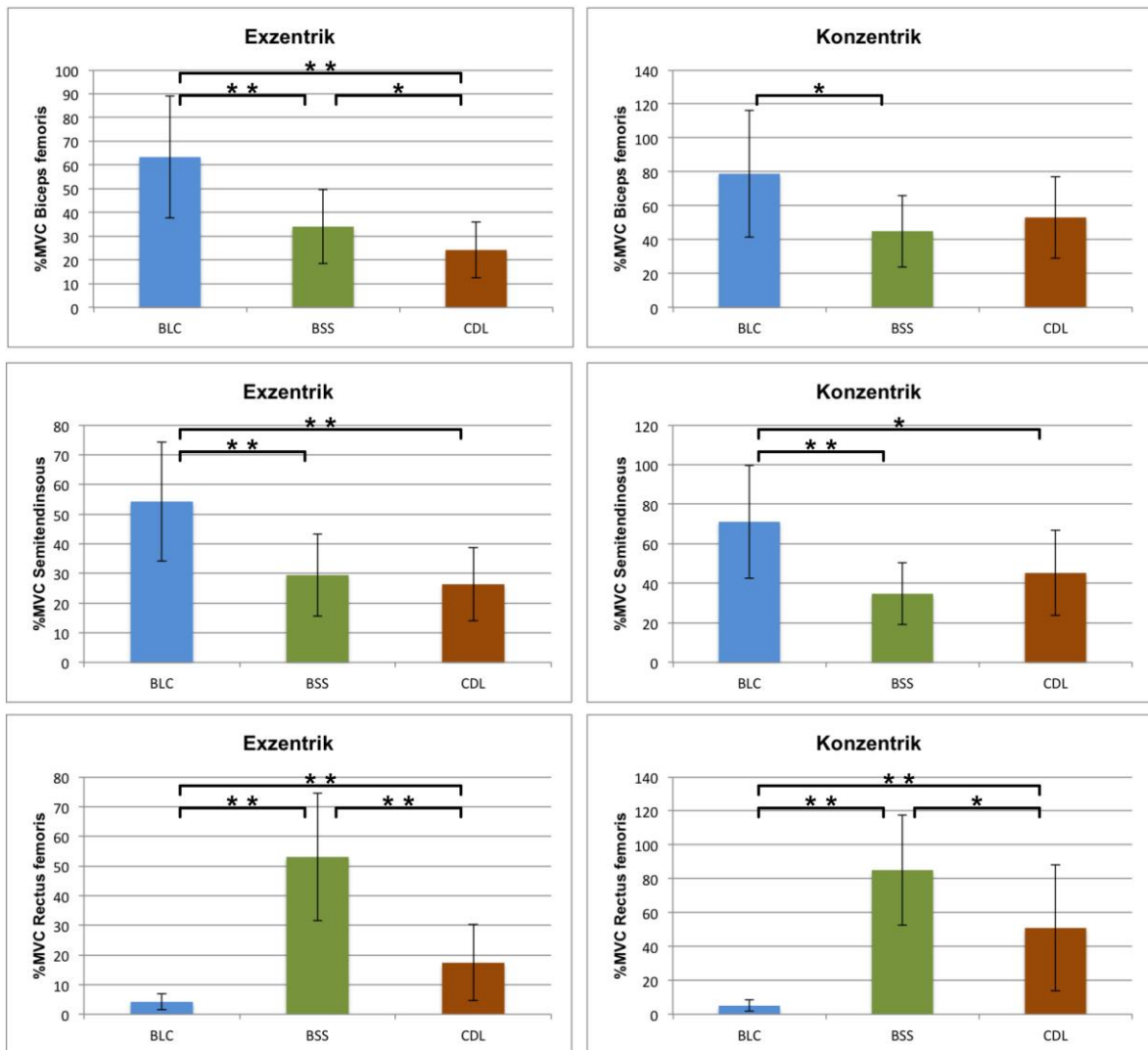


Abbildung 14. Grafische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichung der Signalspitzen während Exzentrik und Konzentrik.

\*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$

### 3.2 Ergebnisse der Muskelverhältnisse der Oberschenkelrückseite

Nachdem die Muskeln Vastus medialis und Vastus lateralis aus den Ergebnissen ausgeschlossen wurden, konnte kein Vergleich zwischen den Muskelaktivitäten von Quadriceps und ischiocruraler Muskulatur gestellt und damit auch kein Verhältnis berechnet werden. Aus diesem Grund konnte lediglich das Verhältnis der Muskulatur der Oberschenkelrückseite zwischen den beiden Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus (BF% : ST%) prozentuell errechnet werden. Dabei wurde zunächst die exzentrische und konzentrische Phase getrennt voneinander berechnet und tabellarisch dargestellt. Auch hier wurden die im Vorhinein berechneten Verhältniswerte in das Programm SPSS übertragen. Begonnen mit dem KS-Test wurde die Normalverteilung bestätigt und mit der ANOVA weiterberechnet. Aufgrund der Sphärizität ( $p=0,000$ ), wurde mittels Greenhouse-Geisser der p-Wert auf 0,230 korrigiert. Bei paarweisem Vergleich mittels Post-hoc-Test nach Bonferroni, wurde ein nicht signifikanter Unterschied zwischen den Übungen in den Aktivitätsphasen errechnet.

Das gleiche Prozedere wurde auch mit der Aktivitätsphase Total errechnet. Auch hier wurde auf den Greenhouse-Geisser Test zurückgegriffen und daraus paarweise Vergleiche gezogen. Diese ergaben lediglich einen hoch signifikanten Unterschied ( $p=0,000$ ) während des Ball Leg Curls. So ist während der Übung Ball Leg Curl ein Verhältnis BF% : ST% von 53,5% : 46,5%, während Bulgarischem Split Squat ein Verhältnis von 54,5% : 45,5% und während Konventionellem Kreuzheben ein Verhältnis von 50% : 50% berechnet worden. Um einen detaillierteren Einblick in die Phasen der Exzentrik und Konzentrik zu erlangen, dient

Tabelle 4 zur Veranschaulichung.

Tabelle 4. Übersicht Verhältnis Biceps femoris : Semitendinosus inklusive Standardabweichung.

Aktivitätsphasen	BLC_BF:ST	BSS_BF:ST	CDL_BF:ST
Exzentrik	53%(±16):47%(±12)	52%(±10):48%(±10)	46%(±7):54%(±8)
Konzentrik	54%(±25):46%(±16)	57%(±15):43%(±9)	53%(±12):47%(±12)
Total (Exz.+Kon.)	53,5%(±23):46,5%(±16)**	54,5%(±13):45,5%(±10)	50%(±12):50%(±11)

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$

## 4 Diskussion

Der Hauptfokus dieser Arbeit lag darin, Übungen zu untersuchen, die für die Kräftigung der Oberschenkelvorder- und Oberschenkelrückseite verantwortlich sind. Im Hintergrund steht die Überlegung welchen Einfluss die Muskelaktivität auf die Auswahl der Übung in der physiotherapeutischen Arbeit hat, sowie möglichen Muskelverletzungen gezielt entgegenzuwirken und Risikofaktoren zu minimieren. Dafür wurden die Muskeln Rectus femoris, Vastus medialis, Vastus lateralis, Semitendinosus sowie Biceps femoris miteinbezogen. Da die Muskulatur des Oberschenkels das gesamte Körpergewicht und allgemein viel Last zu tragen hat, ist sie verletzungsanfälliger als beispielsweise die Muskulatur der oberen Extremität. Das Zusammenspiel der ventralen und dorsalen Seite kann als eine Co-Aktivierung gesehen werden, das heißt, sobald die Vorderseite konzentrisch arbeitet, kontrahiert die Rückseite exzentrisch (Coombs & Garbutt, 2002). Anhand der Übungen Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat und Konventionelles Kreuzheben, sollte das Aktivitätsniveau der erwähnten Muskeln erfasst werden, um möglichst detailgetreue Rückschlüsse ziehen zu können. Jenes Aktivitätsniveau beinhaltet die Phasen der Exzentrik und Konzentrik. Daraus resultierten folgende Hypothesen:

Der Quadriceps und die ischiocrurale Muskulatur zeigten unterschiedliche Aktivitätsmuster während der Durchführung der oben genannten Kräftigungsübungen. Da die jeweiligen Muskeln direkt miteinander verglichen wurden, konnte eine weitere Hypothese aufgestellt werden, die besagt, dass sowohl ein signifikanter Unterschied in der Muskelaktivität zwischen Quadrizeps und der ischiocruralen Muskulatur, als auch ein signifikanter Unterschied der Muskelaktivität zwischen dem Biceps femoris und dem Semitendinosus, während der oben genannten Übungen vorliegt. Da die Werte der Muskeln Vastus medialis und Vastus lateralis aufgrund ihrer hohen Werte nicht in die Ergebnisse eingeschlossen wurden, konnte ein Teil der zweiten Hypothese nicht beantwortet werden. Daher wurde lediglich das Verhältnis zwischen Biceps femoris und Semitendinosus ermittelt.

Besonders die Muskulatur der Oberschenkelrückseite ist sehr verletzungsanfällig und zudem benötigt eine wiederverletzte Muskulatur länger bis zur vollständigen Rehabilitation (Ernlund & Vieira, 2017; Wan, Qu, Garrett, Liu, & Yu, 2017). Weshalb es gerade hier sehr wichtig ist, eine Wiederverletzung möglichst zu vermeiden und in der Physiotherapie präventiv zu arbeiten. In der Prävention wird empfohlen, Risikofaktoren wie Muskeldysbalancen, rasche Muskelermüdung, sowie eine zu geringe Flexibilität in der Muskulatur zu minimieren (Ramos et al., 2017).



## 4.1 Interpretation

Der Hintergrund der Auswahl der Übungen war es, Übungen zu finden, die sich in ~~ihrem~~ ihrem Aktivitätsmuster ~~untereinander-voneinander~~ unterscheiden, um diese adäquat miteinander vergleichen zu können und den höchsten Gewinn für die physiotherapeutische Arbeit zu ~~gewinnengewährleisten~~. So wurde einerseits der Ball Leg Curl herangezogen, der vor allem Aktivität in der ischiocruralen Muskulatur aufweist, als auch der Bulgarische Split Squat und das Konventionelle Kreuzheben, welche sowohl Aktivität in der vorderen als auch in der hinteren Oberschenkelmuskulatur zur Ausführung benötigen. Nachdem all diese Übungen in der geschlossenen Kette, sowie dynamisch durchgeführt wurden, sind die Aktivitäten der unterschiedlichen Muskeln gut zu vergleichen.

### 4.1.1 Interpretation der Kräftigungsübungen

~~Zur-Bei der~~ Interpretation der Ergebnisse der Muskelaktivitäten zwischen den drei Kräftigungsübungen ist ~~zu-erkennen~~ festzustellen, dass die erste Hypothese dieser Arbeit bestätigt wurde. Großteils ist zu erkennen, dass alle Muskelaktivitäten zwischen den Übungen signifikant beziehungsweise hochsignifikant sind. Nur zwischen wenigen Übungen gibt es keinen signifikanten Unterschied, welche vor allem in der konzentrischen Phase zwischen den Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus liegen. Zur genaueren Betrachtung siehe Kapitel 3 "Ergebnisse".

Bezüglich der Muskelaktivitäten ist zu erkennen, dass die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus ihre höchste Aktivität in der Übung Ball Leg Curl haben. Während den anderen beiden Übungen ist diese deutlich niedriger. Dazu gibt es mehrere Erklärungsansätze.

In Anbetracht der Übung Ball Leg Curl, welche zur kurzen Wiederholung ein Heranziehen und Strecken der Beine mit Fersenkontakt auf einem Gymnastikball in Rückenlage erzielt, erlangte in den Ergebnissen eine hohe Aktivität in den Muskeln des Biceps femoris und Semitendinosus, während beiden Muskelaktivitätsphasen. Zur Veranschaulichung der Exzentrik, dem Strecken der Beine, erzielte der Biceps femoris eine durchschnittliche mittlere Aktivität von  $38,1 \pm 15,7$  %MVC und der Semitendinosus eine Aktivität von  $33,5 \pm 11,8$  %MVC. In der gegenteiligen konzentrischen Bewegung, dem Heranziehen bzw. Beugen der Kniegelenke, erreichte der Biceps femoris eine Aktivität von  $56,3 \pm 25,3$  %MVC sowie der Semitendinosus eine Aktivität von  $48,8 \pm 15,7$  %MVC während der Muskel Rectus femoris in beiden Phasen nur eine sehr geringe Aktivität von weniger als  $4 \pm 2$  %MVC aufwies. Die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus haben denselben Ursprung am Becken, genauer definiert am Tuber ischiadicum, und teilen sich erst im

Verlauf des Oberschenkels in den medialen und lateralen Anteil der ischiocruralen Muskulatur auf. Während der Muskel Biceps femoris zum Wadenbeinkopf und der Muskel Semitendinosus zum Schienbein zieht, üben sie trotz des unterschiedlichen Ansatzes am Knochen, dieselbe Funktion im Körper aus. Beide Muskeln bewirken im Kniegelenk eine Beugung und im Hüftgelenk eine Streckung, sowie der Biceps femoris eine Außenrotation und der Semitendinosus eine Innenrotation im Hüftgelenk (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2014, S.488-490).

Zur Erinnerung an die MVC-Messung, welche die maximale isometrische Aktivität misst, wurde die Messung nach der Ausgangsstellung der EMG-Fibel (Konrad, 2011) für den Quadriceps herangezogen. Nachdem das Buch Manuelle Muskeltests nach Hislop und Montgomery (2007) die Positionen beschreibt, in denen die maximale separate Muskelkontraktion mit bestem Ergebnis durchführbar sind, wurden diese zusätzlich zur maximalen isometrischen Aktivitätsmessung herangezogen. So wurde der Muskelfunktionstests nach Hislop und Montgomery (2007, S. 187) für den Biceps femoris in Außenrotation und für den Semitendinosus in Innenrotation des Kniegelenks durchgeführt. Durch die jeweilige Drehung beziehungsweise Rotation des Unterschenkels, konnte anhand der EMG-Ausschläge gesehen werden, dass bei beiden Muskeln die Ausgangsstellungen passend waren und dadurch die meiste Aktivität im Muskel erreicht werden konnte.

Wenn nun die Übung Ball Leg Curl genannt wird, die ein Heranziehen der Beine in Rückenlage abverlangt, wird deutlich, dass die Muskulatur der Oberschenkelrückseite erhöhte konzentrische Arbeit leisten musste, um diese Bewegung möglichst gezielt auszuführen. Die vermehrt notwendige Aktivität lässt darauf schließen, dass eine Überwindung der Kraft stattgefunden haben musste. Da sich die Beine während der Durchführung der Übung in der Normalstellung, ohne Rotation im Hüftgelenk und Kniegelenk, befanden, deutete dies darauf hin, dass beide Muskeln viel Arbeit zu leisten hatten. Da der Muskel Rectus femoris die genau gegensätzliche Bewegung im Bein erzielt, eine Streckung im Kniegelenk, könnte theoretisch davon ausgegangen werden, dass dieser während der exzentrischen Phase, der Streckung der Kniegelenke, ebenfalls Muskelaktivität aufzeigen sollte. Aufgrund der Ausgangsstellung in Rückenlage, sowie dem instabilen Faktor der Fersen am Ball, könnte auch hier eine mögliche Erklärung liegen, warum die ischiocrurale Muskulatur auch in der exzentrischen Phase weiterhin so viel Aktivität aufzeigte. Um den Ball möglichst stabil und das Becken, in der Bridging-Position, hoch zu halten, ist ein aktives Drücken der Fersen in den Ball notwendig, daher ist auch in diesem Kontext ein Aktivieren der Oberschenkelrückseite erforderlich. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass in der exzentrischen Phase des Ball Leg Curls keine aktive Streckung

der Kniegelenke aus dem Rectus femoris geleistet werden muss, sondern das weit mehr eine nachgebende Kraft in der ischiocruralen Muskulatur stattfinden muss. So scheint es sinnvoll, dass die beiden Muskeln, mit wenig Unterstützung des Rectus femoris arbeiten mussten. Im Vergleich der beiden Muskeln auf der Oberschenkelrückseite, ist eine höhere durchschnittlich mittlere Aktivität im Muskel Biceps femoris zu erkennen.

Die zweite Übung, der Bulgarische Split Squat wurde einbeinig, das hintere Bein auf einem dahinter stehenden Hocker abgelegt, durchgeführt. Das Gewicht, mit 70% des 1RM, wurde mit der Langhantelstange am M. trapezius abgelegt und mit beiden Händen, möglichst körpernah, ~~in dieser Position gehalten~~ während der Durchführung der einbeinigen Kniebeuge in dieser Position gehalten, bis in etwa 90 Grad Kniegelenksbeugung im vorderen Bein. In der exzentrischen Phase, dem Beugen des vorderen Beines, wurde die höchste mittlere Aktivität im Biceps femoris ( $22,6 \pm 10,4$  %MVC) erreicht, wobei alle drei Muskeln eine sehr ähnlich hohe Aktivität in Bezug auf deren MVC-Messung erreichten (Semitendinosus:  $20,8 \pm 10,1$  %MVC; Rectus femoris:  $19,3 \pm 9,3$  %MVC). In der Phase der Konzentrik, das Zurückgelangen aus der Endstellung in die Ausgangsposition, beziehungsweise der aktiven Streckung des vorderen Beines im Kniegelenke, sticht der Rectus femoris mit seiner hohen Aktivität von  $52,7 \pm 21$  %MVC stark heraus, während der Biceps femoris ( $28,9 \pm 15,2$  %MVC) und der Semitendinosus ( $22,2 \pm 9,5$  %MVC) eine deutlich niedrigere Aktivität zeigten.

In der exzentrischen Phase sind die Aktivitäten relativ gleich hoch, weshalb alle drei Muskeln zirka gleich viel bremsende bzw. nachgebende Kraft im Verhältnis zu ihren MVC-Messungen in Prozent erbracht haben. Ein Erklärungsansatz für die hohe Aktivität des Rectus femoris in der konzentrischen Phase ist vor allem jener, dass die Muskulatur der Oberschenkelvorderseite die Hauptaufgabe der Beinstreckung zu leisten hat, weshalb die hohe Aktivität in Bezug auf die MVC-Messung sehr plausibel ist. Ein weiterer Grund stellt die Belastung des nahezu einbeinigen Standes dar, da die zusätzliche Belastung, um das Gleichgewicht zu halten, umso mehr Aktivität abverlangt als beispielsweise ein herkömmlicher Split Squat, wo das hintere Bein nicht in erhöhter Position abgelegt ist, sondern Kontakt zum Boden hat. Obwohl die Übung in einer geschlossenen Kette durchgeführt wurde, wird vom vorne stehenden Bein, welches das meiste Gewicht trägt, viel Stabilisationsarbeit abverlangt. Es war zu sehen, dass einbeinige Squats, aufgrund der kleinen Unterstützungsfläche, eine weitaus höhere neuromuskuläre Rückmeldung, Ansteuerung und Aktivität, erfordern, um den Körper in der Frontalebene zu stabilisieren (McCurdy et al., 2010). Diese Stabilisationskomponente, sowie die Aufgabe der ischiocruralen Muskulatur der Hüftstreckung erklären ebenfalls die Aktivität in der hinteren Muskulatur. Ebenso mög-

lich ist es, dass Kniebeugen mit instabiler Komponente einen deutlichen Anstieg der Aktivität im Biceps femoris und Semitendinosus aufweisen müssen, da die beiden Muskeln ein Muster von Ausweichbewegungen aufzeigen, um einer möglichen Varus- oder Valgusstellung des Kniegelenks entgegenzuwirken. Es gibt einige Studien die besagen, dass die ischiocruralen Muskeln, aufgrund der reduzierten Unterstützungsfläche, eine weitaus bessere Aktivierung haben, wenn mit Zusatzgewicht gearbeitet wird (K. W. McCurdy et al., 2010). Da sehr wenig Spielraum für weitere Ausweichmechanismen vorhanden ist, wenn das nicht gemessene, hintere Bein am Hocker abgelegt wird und gleichzeitig das Gleichgewicht gehalten werden muss, könnte dies eine weitere Möglichkeit darstellen, warum die Zielmuskulatur so deutliche Aktivität zeigt. Werden die Ergebnisse nun mit anderen Studien in Vergleich gesetzt, so ist nach Schellenberg et al. (2017) eine signifikant höhere Aktivität im Biceps femoris in der ischiocruralen Muskulatur zu erkennen, während im Vergleich zu Torres et al. (2019), eine signifikant höhere Aktivität im Semitendinosus zu erkennen ist. Ein direkter Vergleich ist allerdings trotz dessen nicht möglich, da die Durchführung in den Studien unterschiedlich war. Während Schellenberg et al. (2017) mit unterschiedlichen Schrittlängen, sowie mit einem Zusatzgewicht von 25% des Eigengewichts auf der Langhantelstange gemessen hat, gingen Torres et al. (2019) nicht auf die Schrittlänge ein und arbeiteten ohne Zusatzgewicht.

Nun zur genaueren Betrachtung der Übung Konventionelles Kreuzheben, welche mit einer Langhantelstange und einem Gewicht von 70% des 1RM durchgeführt wurde. Während der exzentrischen Phase wurde das Gewicht mit gestrecktem Rücken zu Boden geführt, die Beine sollten dabei gebeugt werden. Sobald die Gewichtsscheiben den Boden berührten, mussten die ProbandInnen mit der entgegengesetzten konzentrischen Phase starten und das Gewicht wieder in eine aufrechte Körperhaltung in die Ausgangsstellung bringen, wobei die Arme während der Durchführung der Übungen in beiden Phasen immer gestreckt blieben. Hier ist zu sehen, dass während der Bewegung nach unten, in der exzentrischen Phase die geringste mittlere Aktivität im Rectus femoris ( $6,6 \pm 3$  %MVC) zu erkennen war, gefolgt vom Biceps femoris ( $13,5 \pm 7,4$  %MVC), sowie die höchste Aktivität im Semitendinosus ( $16 \pm 7,8$  %MVC). Das bedeutet, dass die ischiocrurale Muskulatur während des Hinabführens des Gewichtes verhältnismäßig mehr Arbeit zu leisten hatte als der Rectus femoris. Eine Möglichkeit der Interpretation ist, dass aufgrund dessen, dass das Gewicht vor dem Körper geführt wird und aufgrund der Transponder die Technik des E entlang-führens der Stange an den Beinen nicht hundertprozentig durchgeführt werden konnte, die Hebelwirkung für die ischiocrurale Muskulatur größer ist, daher mehr Last überwunden werden muss und dadurch die Muskulatur auch mehr aktiviert werden muss.

In Anbetracht der konzentrischen Phase, dem Heben des Gewichts in die aufrechte Körperhaltung, sind die Aktivitäten der drei Muskeln sehr ähnlich und zeigen untereinander kaum Unterschied<sup>e</sup>. So erreichte der Biceps femoris die höchste Aktivität ( $26 \pm 11,5$  %MVC), gefolgt vom Rectus femoris ( $24,8 \pm 19,9$  %MVC) und dem Semitendinosus ( $23,6 \pm 11,9$  %MVC). Allgemein ist zu diesen Ergebnissen zu sagen, dass aufgrund dessen, dass die ischiocrurale Muskulatur über zwei Gelenke zieht, die Mitarbeit dieser zur Streckung der Hüfte bzw. zur Aufrichtung des Oberkörpers in der konzentrischen Phase ein Grund für die gleichermaßen hohe Aktivität sein kann. Zudem war eine höhere Aktivität im Rectus femoris zu erwarten, da die vermehrte Flexion in den Hüft- und Kniegelenken der Muskulatur die Rückmeldung gibt, stärker zu arbeiten als im Vergleich zum Rumänischen Kreuzheben. Daraus ergibt sich, dass das Konventionelle Kreuzheben die bevorzugte Kräftigungsübung ist, um den Rectus femoris zu trainieren (Lee et al., 2018). Zu beachten ist allerdings, dass der Muskel Quadriceps sich aus den vier Anteilen, dem Rectus femoris, Vastus medialis, Vastus lateralis sowie dem Vastus intermedius zusammensetzt. Nachdem diese vier Muskeln gemeinsam die Kraft überwinden müssen, die Anteile Vastus medialis und Vastus lateralis aus den Ergebnissen aber eliminiert wurden und der Vastus intermedius aufgrund seiner versteckten Lage, abgedeckt durch den Rectus femoris, nicht messbar war, ist nicht nachvollziehbar<sup>1</sup>, welcher Muskelanteil wie<sup>2</sup> viel Kraft während den Phasen überwinden musste. Daher ist zwar eine relativ geringe Aktivität im Rectus femoris sichtbar, wie viel die drei anderen Anteile allerdings an der Bewegung geleistet haben<sup>3</sup>, ist nicht ersichtlich<sup>4</sup>, und muss daher berücksichtigt werden.

Einen Vergleich zwischen den drei Übungen ist sehr gut darzustellen, da sie dynamisch ausgeführt werden, aufgeteilt in eine exzentrische und konzentrische Phase, sowie in der geschlossen Kette stattfinden. Wenn nun die drei Übungen gegenüber gestellt werden, wird deutlich, dass die Übung Ball Leg Curl die höchste Aktivität für die ischiocrurale Muskulatur darstellt, während der Rectus femoris kaum Beteiligung an der Bewegung hat. Daher kann während dieser Übung isoliert die Muskulatur der Oberschenkelrückseite gekräftigt werden. Im Vergleich zu den anderen beiden Übungen ist zu sehen, dass die drei Muskeln in beiden Phasen deutliche Aktivität zeigen und zusammenarbeiten. Daher sind der Bulgarischer Split Squat sowie das Konventionelle Kreuzheben Übungen um die Aktivität der gesamten Muskelgruppe zu fördern und zu trainieren. Die deutlichste Aktivität des Muskels Rectus femoris war während der Übung Bulgarischer Split Squat zu erkennen, die während des konventionellen Kreuzhebens niedriger war, vor allem in der exzentrischen Phase. Die Übung, in der die Muskeln verhältnismäßig ähnlich viel Aktivität bezogen auf %MVC zeigten, war das Konventionelle Kreuzheben.

#### 4.1.2 Interpretation der Verhältnisse BF vs. ST zwischen den Kräftigungsübungen

Das Verhältnis von Biceps femoris zu Semitendinosus zwischen den drei Kräftigungsübungen hat in allen Fällen, sowohl in der Exzentrik, der Konzentrik als auch Total keinen signifikanten Unterschied ergeben. Die Verhältnisse der Muskelaktivitäten, welche in Tabelle 4 dargestellt sind, sind prozentuell sehr ausgeglichen. Wenn nun die Verhältnisse genauer betrachtet werden, ist zu sehen, dass trotz der relativen Ausgeglichenheit, der Muskel Biceps femoris immer etwas mehr Aktivität als der Semitendinosus aufweist. Dies könnte den Hintergrund haben, dass der Semitendinosus gemeinsam mit einem zweiten Muskel, der etwas tiefer gelegen ist und den gleichen Muskelverlauf hat, die gleiche Arbeit verrichtet. Dieser genannte Muskel ist der Semimembranosus und hat seinen Ursprung ebenfalls am Tuber ischiadicum des Beckens und verläuft gemeinsam mit dem Semitendinosus bis zum Schienbein. Daher hat der Semitendinosus eine zusätzliche Unterstützung in seiner zu leistenden Arbeit, während der Biceps femoris der einzige Muskel, allerdings mit zwei Köpfen/Anteilen, auf der lateralen Seite ist und alleine die Arbeit verrichten und Kraft aufbringen muss. Äußerst interessant wäre es gewesen, den Muskel Semimembranosus ebenfalls mittels EMG-Messungen zu erfassen und aufzuzeichnen, allerdings ist dies aufgrund seiner tiefen und versteckten Lage im Gewebe nicht möglich.

Monajati et al. (2017) vergleichen in ihrer Studie die Übungen Nordic Curl und Ball Leg Curl und erzielten das Ergebnis, dass der Biceps femoris und der Semitendinosus während Nordic Curl eine zirka 25% höhere Aktivität aufbringen konnten als vergleichbar beim Ball Leg Curl. Da die Kräftigungsübung Nordic Curl in dieser Studie nicht getestet wurde, kann kein direkter Vergleich zu Monajati et al. gezogen werden, doch die Ergebnisse ihrer Studie liefern einen Einblick für das bessere Verständnis der Aktivierung der ischiocruralen Muskulatur. Die Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus haben die Fähigkeit, während einem-eines Richtungswechsels der Bewegung einer möglichen auftretenden Fehlstellung des Kniegelenkes in der Frontalebene, in Varus oder Valgus, entgegenzuwirken. Auch wenn die beiden Muskeln während Nordic Curl und Ball Leg Curl ähnliche Aktivierung aufweisen konnten, kann nicht verallgemeinert werden, dass die Fähigkeit einer Generierung des Drehmoments gleich ist, da die Hebelwirkung des Biceps femoris, aufgrund des zusätzlichen kurzen Kopfes, anders ausfällt als beim Semitendinosus. Die Balance der ischiocruralen Muskulatur, vor allem in der Frontalebene, könnte dazu beitragen, dass Hamstringverletzungen verhindert werden könnten.



## 4.2 Klinische Relevanz

Der Hauptfokus dieser Arbeit war es, Unterschiede in der Muskelaktivität der drei verschiedenen Übungen zu finden. Um eine klinische Relevanz aus diesen Ergebnissen ziehen zu können, müssen mehrere Faktoren beachtet werden. Einer davon ist das jeweilige Ziel des Individuums, der Person, in der physiotherapeutischen Arbeit. Oftmals sind einzelne Muskeln innerhalb einer Muskelkette schwächer ausgeprägt, die von anderen Muskeln mit der selbigen Funktion kompensiert werden. Andererseits kann es auch vorkommen, dass eine ganze Muskelgruppe, wie zum Beispiel die ischiocrurale Muskulatur deutlich schwächer ausgeprägt ist und weniger Kraft aufwenden kann, im Gegensatz zur meist kräftigen Muskulatur der Oberschenkelvorderseite, da hier insgesamt vier Muskeln zusammenarbeiten. Sollen nun schwache Muskeln gezielt separiert gekräftigt werden, oder vielmehr eine Kräftigung von ganzen Muskelgruppen stattfinden, liegt dabei eine bestimmte Muskelaktivitätsphase im Fokus. Oder sollen beide Phasen gleichermaßen trainiert werden. So können Übungen an die Person angepasst und unter anderem auch erleichtert oder erschwert werden.

Nach McCurdy et al., (2010) müssen Muskeln vor allem in sportlicher Hinsicht, im Sportbereich, oft sehr spezifisch trainiert werden, da die Anforderungen hier oft ..... sind. Bei einbeinigen Bewegungsabläufen, wie Sschießen oder Llanden, zu durchlaufen beziehungsweise werden Bewegungssequenzen vorausgesetzt, in denen im Zweibeinstand das Körpergewicht von dem einen auf das andere Bein übertragen wird. Zudem wird durch den Einbeinstand weniger Unterstützungsfläche geboten, weshalb eine höhere neuromuskuläre Aktivität und propriozeptives Feedback gefordert sind, um den Körper in einer aufrechten Position zu halten. Aus diesem Grund werden immer öfter einbeinige Übungen in Trainingsprogramme sowie klinische Settings eingebaut, damit zusätzlich zum intramuskulären Training auch die neuromuskuläre Verschaltung von Muskel zu Gehirn verbessert wird.

Wie bereits in der Übungsbeschreibung genannt, wurden die Übungen in geschlossener Kette durchgeführt. Das bedeutet, dass aus biomechanischer Sicht weniger Scherkräfte auf die Gelenke einwirken. Zusätzlich dazu bietet das Training in der geschlossenen Kette eine mehrgelenkige Kräftigung der Agonisten und Antagonisten sowie eine Kräftigung von ganzen Muskelketten (Mayer et al., 2003).

Ganz allgemein betrachtet, kann anhand dieser Studie geäußert werden, dass die Übung Ball Leg Curl eine sehr gute Variante ist, um gezielt die ischiocrurale Muskulatur zu kräftigen, da sie sowohl in der exzentrischen als auch in der konzentrischen Phase eine sehr

hohe Aktivität aufweist, die Werte der beiden Phasen allerdings kaum voneinander abweichen. Der Rectus femoris zeigt währenddessen zwar eine stetige mittlere Grundaktivität, welche aber mit unter 4% so gering ausfällt, dass sie zu vernachlässigen ist. Angelehnt an die 15 ProbandInnen, die an dieser Studie teilnahmen, wurde prozentuell mehr Kraft aus dem Biceps femoris als aus dem Semitendinosus aktiviert, auch wenn diese in den meisten Fällen nicht signifikant waren. Zusätzlich dazu ist auch zu sagen, dass diese Übung sehr anspruchsvoll ist. Als Voraussetzung um die Übung durchführen zu können, muss einerseits die Hüftgelenksstreckung bis zur Neutralposition durchführbar sein und andererseits muss eine hohe Grundspannung der Muskulatur bereits vor Beginn der Durchführung aufgebaut werden, um die Ausgangsstellung mit gestreckter Hüfte sowie mit den Fersen auf dem Ball halten zu können. Diese Brückenaktivität muss während des gesamten Durchganges aufrechterhalten werden. Die Zusatzbedingung mit der instabilen Komponente des Balles verlangt den ProbandInnen auf der einen Seite vermehrte Aktivität der ischiocruralen Muskulatur, und auf der anderen Seite viel an Halteaktivität und Ganzkörperspannung ab.

Soll jedoch die gesamte Muskelgruppe trainiert werden, so sind die Übungen Bulgarischer Split Squat sowie das Konventionelle Kreuzheben eine gute Wahl und Möglichkeit. In der exzentrischen Phase der beiden Übungen werden alle Muskeln im Durchschnitt (%MVC) ungefähr gleich viel aktiviert, wobei der Rectus femoris während dem Konventionellen Kreuzheben sehr in den Hintergrund rückt. Für das gezielte Training des Rectus femoris ist allerdings der Bulgarische Split Squat in der konzentrischen Phase sehr zu empfehlen, da er hier eine mittlere Aktivität von etwa 50%MVC zeigt und einen durchschnittlichen Spitzenwert von 85%MVC erreicht. Sollen also beide Muskelgruppen, sowohl von Oberschenkelvorder- als auch Oberschenkelrückseite trainiert werden, sind diese beiden Übungen eine effiziente Wahl, da alle Muskeln ähnlich hohe Aktivität aufweisen.

Wichtig ist natürlich, dass in der physiotherapeutischen Arbeit auf die Stärken und Schwächen des Einzelnen eingegangen wird, um so die Therapie am besten gestalten zu können. Wie bereits in der Einleitung beschrieben, ist zur Prävention von Verletzungen wichtig Muskeldysbalancen zu vermeiden, sowie eine gute Beweglichkeit der Muskulatur in Hüft- und Kniegelenken anzusteuern (Ramos et al., 2017). Da zum Beispiel während der Übungen Ball Leg Curl und Bulgarischem Split Squat eine gute Beweglichkeit im Hüftgelenk beziehungsweise eine aktive Hüftstreckung notwendig sind, sind diese eine gute Möglichkeit, um die Beweglichkeit zu erhalten. ~~oder Gerade~~ mit diesen Übungen oder deren Abwandlungen, kann eine weitere Beweglichkeit ~~zu~~ erarbeitet werden.



### 4.3 Limitationen

Da diese empirisch experimentelle Pilot-Studie auch einige Limitationen und Einschränkungen mit sich brachte, werden in diesem Kapitel auf diese eingegangen, um mögliche Einflüsse auf die Ergebnisse aufzuzeigen.

Um so viele Bias/Fehler wie möglich innerhalb einer Studie zu verhindern, ist es notwendig bestmögliche Voraussetzungen zu schaffen und standardisiert zu arbeiten. Aus diesem Grund ist es wichtig, für alle ProbandInnen die gleichen Bedingungen zu gestalten. Schon bereits während der Einschulung und Probetestungen des Messsystems wurde der Fokus auf die Durchführung der Übungen, wie Ausgangsstellung, Endstellung, Geschwindigkeit mittels Metronom, sowie die korrekte Technik der Übungen, gelegt. So wurde unter anderem standardisiert, dass nach jeder exzentrischen Muskelarbeit während dem Konventionellen Kreuzheben, die Gewichtsscheiben den Boden berühren müssen, um als gewerteten Versuch gezählt zu werden. Dies bedeutete allerdings, dass alle TeilnehmerInnen, unabhängig von Körpergröße, Hebelverhältnissen, Beweglichkeit der Gelenke sowie Dehnbarkeit der Muskulatur, denselben Weg zurückzulegen hatten. So musste ein zum Beispiel 1,85m großer Mann mit verhältnismäßig langen Beinen, denselben Weg mit der Langhantel zurücklegen wie eine 1,65m große Frau mit einem verhältnismäßig langem Oberkörper. Somit konnte individuelles und an den/die ProbandIn angepasstes Arbeiten, wie es später in der physiotherapeutischen Arbeit ermöglicht werden sollte, nicht stattfinden, da das notwendige zusätzliche Equipment nicht vorhanden war.

Die Ergebnisse dieser Studie können gut auf die im Vorhinein gewählte Zielgruppe umgelegt werden, da alle ProbandInnen die Einschlusskriterien von körperlicher Gesundheit und Fitness, sowie Vorerfahrung im Kraftsport und die 12 Monate Verletzungsfreiheit aufwiesen. Nicht außer Acht zu lassen ist, dass die teilgenommenen Personen alle eine Bewegungserfahrung aufzuweisen hatten. Die Größe und Anzahl der Stichproben von 15 Personen ist etwas zu gering, um eine allgemeine Aussagekraft zu tätigen, deshalb wäre es besser in möglichen folgenden Studien eine höhere Anzahl zu rekrutieren und zu testen. Durch Erhöhung der ProbandInnenanzahl gewinnt eine Studie an Relevanz und Beweiskraft und somit steigt auch die Wahrscheinlichkeit, Daten zu erhalten, die normalverteilt sind, und zur statistischen Auswertung herangezogen werden können.

Das Ziel der Einteilung des Bewegungsablaufes in die Phasen Exzentrik, Konzentrik und Pause, welche allerdings nicht in die Wertung miteingeschlossen wurde, wurden mittels Markersetzung im Computerprogramm definiert und ermöglichten somit nach der Signalverarbeitung eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Mit der Phase der Konzentrik zu be-

ginnen, war aus jenem Grund nicht möglich, da die zwei sekündige Pause zwischen Exzentrik und Konzentrik des Konventionellen Kreuzhebens mit Ablegung der Langhantel am Boden, ohne Muskelaktivität, stattgefunden hätte. Dies hätte zu einer kurzfristigen Erholung der Muskulatur geführt und wäre somit für eine geringe Verfälschung der Studie verantwortlich gewesen. Aus diesem Grund wurde mit der Phase der Exzentrik begonnen, um die Trials und Übungen in direkten Vergleich stellen zu können, was allerdings dazu führte, dass ebenfalls bei der Übung Ball Leg Curl mit 90 Grad angewinkelten Beinen begonnen wurde und es bereits in der Ausgangsposition beziehungsweise Ausgangsstellung, vor Beginn der dynamischen Ausführung, zu einer Muskelaktivität und damit zu einem erhöhten Signalausschlag kam.

Die Auswahl der Übungen hatte folgenden Hintergrund: ~~„dass Drei“~~ verschiedene Kräftigungsübungen sollten unterschiedliche Muskelaktivitäten aufzeigen, um somit die Auswahl der optimalen Übung in der physiotherapeutischen Arbeit zu gewährleisten. Daher sollte im Optimalfall keine Übung ähnliche EMG-Signale aufweisen. Nachdem die Vorbereitungen für die Studie, das Üben der Hautvorbereitung und Beklebung, sowie die ersten Probetestungen der Übungen mit EMG-Aufzeichnung im Gange war, wurde klar, dass das Rumänische Kreuzheben für die Oberschenkelrückseite deutlich intensiver war als erwartet. Nach Lee et al. (2018) war zwar zu erwarten, dass die Muskulatur der Rückseite mehr Arbeit zu verrichten hat als die Vorderseite, allerdings war dies nicht ersichtlich, da während der Übungsausführung nahezu keine Signalausschläge im Quadriceps zu erkennen waren. Die zu erwartende Muskelarbeit im Quadriceps blieb daher in so geringem Maße, dass es in Bezug auf die bereits oben angeführte Forschungshypothese nicht relevant gewesen wäre, weitere Untersuchungen durchzuführen. Nachdem der Fokus der Übung Ball Leg Curl ebenfalls fast ausschließlich auf der Rückseite liegt, war ab diesem Zeitpunkt klar, dass eine andere Übung ausgewählt werden musste. Nach weiterer Recherche wurde beschlossen, Konventionelles Kreuzheben zu wählen, da während dieser Variante die Kniegelenke gebeugt werden und somit auch höhere Aktivität im Quadriceps zu erwarten sind. Lee et al., (2018) bekräftigen in ihrer Studie, dass noch immer angenommen wird, dass Rumänisches Kreuzheben primär zur Kräftigung der ischiocruralen Muskulatur angewandt wird, allerdings zeigten die Ergebnisse des Biceps femoris, dass kein signifikanter Unterschied zwischen Konventionellem Kreuzheben und Rumänischem Kreuzheben zu beobachten war.

Aufgrund der Tatsache, dass nach der Verarbeitung der Signale unterwartet hohe Werte für die Muskeln Vastus medialis und Vastus lateralis errechnet wurden, welche Peak-Werte von bis zu dem vierfachen der MVC-Messung erreichten, mussten diese zwei bei-

den Muskeln aus den Ergebnissen, aufgrund eines systemischen Fehlers, ausgeschlossen werden. Wären diese Ergebnisse bei nur einzelnen ProbandInnen aufgetreten, wäre es möglich gewesen, diese wenigen Werte bei einigen wenigen Personen auszuschließen. Nachdem die hohen Werte allerdings bei fast allen ProbandInnen aufgetreten sind, musste diese Möglichkeit ausgeschlossen werden. Nachdem dieser systematische Fehler die Studie verfälschen hätte können und es keine Erklärung bzw. Begründung für diese Werte gab, blieb keine andere Möglichkeit, als diese beiden Muskeln zu eliminieren. Der Hintergedanke, warum dieser Fehler zustande gekommen ist, ist dass die MVC-Messungen, die mit den ProbandInnen durchgeführt worden waren, zwar optimal den Rectus femoris rekrutierten, allerdings nicht für die Muskeln Vastus medialis und Vastus lateralis geeignet waren. Nachdem bereits vor der Durchführung der Studie klar war, dass sich die MVC-Messung hauptsächlich auf den Rectus femoris bezieht und die anderen beiden Muskeln, die ebenfalls zum Quadriceps zählen, in der EMG-Fibel von Konrad (2011) nicht erwähnt werden, wurde nach anderen Möglichkeiten der MVC-Messung für diese in der Literatur gesucht. Da das Ergebnis der Suche nicht eindeutig war und kein Risiko eingegangen werden sollte, wurde wie geplant nach der Literatur von Konrad gearbeitet. "Eine relative einfach durchzuführende Übung für alle Quadriceps-Muskeln! Auszuführen ist eine isolierte Kniestreckung innerhalb eines Beugewinkels von 90° bis 70°.", war zu der Beschreibung der Messung tabellarisch unter Rectus femoris zu finden (Konrad, 2011, S. 32).

Anhand der MVC-Messung, an der die individuelle maximale isometrische Muskelarbeit getestet wurde, war zu sehen, dass bei allen ProbandInnen die Muskulatur gezielt aktiviert werden konnte. Allerdings wurde bei einigen ProbandInnen während der dynamischen Kräftigungsübungen beobachtet, dass die Aktivität der Muskeln nachließ oder weitgehend am Monitor nicht mehr sichtbar war, beziehungsweise ein Signalausfall auftrat. Aufgrund dessen musste nach dem plötzlich aufgetretenen Problem gesucht werden. Um eine mögliche fehlerhafte Elektrodenpositionierung beziehungsweise eine Fehlererkennung des Transponders auszuschließen, wurden die ProbandInnen aufgefordert, eine aktive Kniestreckung beziehungsweise Kniebeugung gegen die Schwerkraft durchzuführen. Waren die Ausschläge der EMG-Signale wie zuvor bei der MVC-Messung sichtbar, war davon auszugehen, dass kein Problem mit dem Transponder oder der Elektrodenklebung vorhanden war. Bei genauer Beobachtung der Signalausschläge während der laufenden Messungen konnte gesehen werden, dass aufgrund der Komplexität einer Übung mit einem Zusatzgewicht von 70% (1RM) die Muskulatur durch benachbarte Muskeln einen Kompensationsmechanismus entwickelte. Nach Aufforderung der Untersucherinnen,

dieselbe Bewegung erneut, aber ohne Zusatzgewicht, durchzuführen, war wieder ein Signal zu sehen. Deshalb wäre es interessant gewesen zu prüfen, wenn das Gewicht verringert ~~wurden würdeworden wäre~~, und ob sichtbar gewesen wäre, ab wann die Muskulatur sich an der Übungsausführung nicht mehr beteiligt hätte. -

Um eine mögliche Limitation auszuschließen, benötigt es das richtige Equipment, zu dem vor allem die Grundbausteine wie Elektroden und Transponder zählen. Mögliche Verzerrungen können hier zum Beispiel durch die Entstehung von Schweißsekretion zwischen Haut und Elektrode und/oder Haut und Transponder zustande kommen. Wenn dadurch der Kontakt gestört oder unterbrochen wurde, kam es zu einer Störung oder sogar zu einem Ausfall des EMG-Signals. Daraufhin musste nach der Fehlerquelle gesucht werden. Zunächst wurde die Kontaktstelle zwischen Haut und Transponder überprüft beziehungsweise wenn notwendig, der Transponder getauscht. Sofern das Problem mit diesem Schritt nicht behoben war, musste die Hautvorbereitung und Elektrodenapplikation wiederholt und erneut das Signal kontrolliert werden. Ein weiterer nicht außer Acht zu lassender Faktor ist, dass aufgrund der Transponder, die knapp neben die Elektroden geklebt wurden, besonders darauf zu achten war, dass die Transponder während der Durchführung, aufgrund möglicher entstehender Signalausschläge im System, nicht berührt werden durften. Da die Technik des Konventionellen Kreuzhebens beinhaltet, dass die Langhantelstange körpernah entlang der Ober- und Unterschenkel geführt wird, musste den ProbandInnen im Voraus mitgeteilt werden, dass die Stange die Transponder nicht berühren darf. Dadurch mussten mögliche Ausreißer der Werte und eine Störung des Systems vermieden werden.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

Im folgenden Teil der Arbeit wird auf einige oben genannte Limitation eingegangen und mögliche Vorschläge gebracht, um diese in zukünftigen Studien zu minimieren.

Ein selbstständiges Aufwärmen von zehn Minuten war die Vorgabe an die ProbandInnen um sich für den ersten Teil der Messung gut vorzubereiten. Jede Person hatte ihr individuelles Aufwärmprogramm, welches sie vor den Messungen durchführte. Nachdem der Raum allerdings nicht viel Platz geboten hatte, nutzten die ProbandInnen teilweise den Gang außerhalb um sich einzulassen ihre Muskeln aufzuwärmen. Um für alle ProbandInnen ein ähnlich umfangreiches Aufwärmprogramm zu bieten, wäre ein Aufwärmen am Fahrradergometer mit anschließendem Mobilisieren der Gelenke als Vorbereitung optimal gewesen.

Da für alle ProbandInnen mit gleich großen Gewichtsscheiben gearbeitet wurde, musste jede Person, unabhängig von Körpergröße, Hebelverhältnissen, Beweglichkeit der Gelenke, sowie Dehnbarkeit der Muskulatur, denselben Weg zurücklegen. Daher mussten zum Beispiel große ProbandInnen eine deutlich vermehrte Beugung im Hüftgelenk ausüben, die eine andere Hebelwirkung in Folge mit sich brachte. Um in Zukunft individueller und angepasster zu arbeiten, könnten die Übungen mit optimalem Equipment sowie Abstufungen mittels Unterlagerungen, wie zum Beispiel unterschiedlichen Scheibengrößen, durchgeführt werden, damit ein standardisiertes Arbeiten gewährleistet werden kann.

Anfangen-Beginnend mit den MVC-Messungen ist zu sagen, dass anhand der gering vorhandenen Literatur, es nicht möglich ist, jeden Muskel separat in seiner höchsten Aktivität, maximal isometrisch zu testen. Daher wäre es von Vorteil, den Fokus nächster Studien auf die Ausgangsstellung bei MVC-Messungen, um die maximale Aktivität im jeweiligen Muskel zu erreichen, zu legen. Zusätzlich sollte der Fokus der Messung nicht nur in der Bewegung liegen, sondern auch auf die zu messende maximale Kontraktion der Muskulatur des Rectus femoris, Vastus medialis und Vastus lateralis. Ein möglicher Versuch wäre es mittels verbaler Anleitung/Unterstützung die ProbandInnen ihre Muskulatur gezielter aktivieren zu lassen. Die gezielteste Methode zur Messung der MVC ist natürlich der Isokinetik-Stuhl, der in der Anschaffung allerdings hohe finanzielle Kosten mit sich bringt.

Für die Auswahl des Balles für die Übung Ball Leg Curl, wurden zwei unterschiedliche Ballgrößen von Gymnastikbällen herangezogen. Die Entscheidung mit welchem Ball die Übung durchgeführt wurde, wurde anhand des Kniegelenkwinkels entschieden, der etwa 90 Grad betragen sollte, wenn sich die Person in Rückenlage befand und die Beine in

einem 90 Grad Hüftgelenkwinkel ~~am~~auf dem Ball abgelegt waren. Um das Vorgehen standardisiert zu gestalten, könnte zuvor mittels Beinlängenmessung das Verhältnis von Ober- und Unterschenkel berechnet werden, um im Anschluss die Entscheidung treffen zu können, welche Ballgröße für die jeweilige Person herangezogen werden sollte. Somit wäre die Auswahl der Ballgröße objektiv und genau definiert.

Der Bulgarische Split Squat wurde einbeinig durchgeführt, wobei das nicht zu testende Bein auf einem dahinter stehenden Hocker abgelegt wurde. Der Abstand zwischen dem Hocker und dem vorne stehenden zu testenden Bein wurde so gewählt, dass bei einer Beugung des Beines in der exzentrischen Phase, das Kniegelenk nicht über die Fußspitzen ragte. Eine gute Möglichkeit um dieses Verfahren genauer zu gestalten, wäre zuvor eine Beinlängenmessung, so wie Schellenberg et al. (2017) es in ihrer Studie durchgeführt haben, zu erheben, um so den Abstand zwischen dem Hocker und dem vorne stehenden Bein zu definieren. Während der Messung sollte dabei ein Kniegelenkwinkel von ungefähr 90 Grad erreicht werden. Um den Winkel innerhalb dieser Bewegung zu standardisieren, könnte zusätzlich ein Theraband in der jeweiligen Höhe gespannt werden, um den ProbandInnen mittels eines taktilen Reizes die Information zu geben, wann der 90 Grad Kniegelenkwinkel erreicht ist. Die Standardisierung wäre somit gegeben und der Kniegelenkwinkel bei jeder Durchführung und ProbandIn ident.

Während der Übung Konventionelles Kreuzheben durften die ProbandInnen den Griff an der Langhantelstange frei wählen, sofern die Griffbreite nur etwas breiter als schulterbreit gehalten und keine Zughilfen verwendet wurden. Klar ersichtlich war, dass jene ProbandInnen mit Erfahrung im Krafttraining häufiger im Kreuzgriff gegriffen haben, während jene ProbandInnen mit weniger Erfahrung im Kreuzheben öfter mit dem Obergriff gegriffen haben. Damit allerdings jede Person die gleichen Voraussetzungen während des Hebens hat, wäre es sinnvoll einen einheitlichen Griff zu definieren, wobei natürlich auch bedacht werden muss, dass besonders erfahrene Kraftsportler immer denselben Griff verwenden, was natürlich für das Überwinden des Gewichtes auch von Nachteil sein könnte, wenn dieser umgestellt wird.

## 6 Zusammenfassung

Verletzungen an der Oberschenkelmuskulatur können bei einer Vielzahl von Bewegungen auftreten und haben nach der Heilung eine hohe Tendenz erneut zu entstehen. Vor allem im sportlichen Bereich, wenn schnelle Bewegungen, aber auch Bewegungen mit großer Bewegungsamplitude durchgeführt werden, können Verletzungen rasch auftreten. Dabei haben vor allem Abläufe, welche die ischiocrurale Muskulatur in Dehnung bringen, ein erhöhtes Risiko. Aus diesem Grund gilt es Risikofaktoren zu minimieren und in der Physiotherapie viel präventiv zu arbeiten. Zu diesen Risikofaktoren zählen vor allem Muskeldysbalancen, rasche Muskelermüdung, sowie eine zu geringe Flexibilität in der Muskulatur, welche vor allem jene in Hüft- und Kniegelenken betreffen, gering zu halten.

Im Zuge dieser Arbeit wurden EMG-Messungen an den Muskeln des Quadriceps (Rectus femoris, Vastus medialis, Vastus lateralis) sowie der ischiocruralen Muskulatur (Biceps femoris, Semitendinosus) durchgeführt und deren Muskelaktivität während drei Kräftigungsübungen miteinander verglichen. Die Kräftigungsübungen lauteten Ball Leg Curl, Bulgarischer Split Squat, sowie Konventionelles Kreuzheben. Anhand der zuvor recherchierten Literatur, wurden die Hypothesen aufgestellt, welche besagen, dass es einen signifikanten Unterschied in den Muskelaktivitäten zwischen den Kräftigungsübungen gibt, sowie ein signifikanter Unterschied der Muskelaktivitäten im Verhältnis zwischen den Muskeln Biceps femoris und Semitendinosus zu erkennen ist. Die Muskeln Vastus medialis sowie Vastus lateralis mussten allerdings aufgrund ihrer zu hohen Werte ausgeschlossen werden.

Es konnte jedoch nur eine dieser Hypothesen bestätigt werden. Daher gibt es einen größtenteils signifikanten Unterschied der Muskelaktivitäten für die drei Muskeln Biceps femoris, Semitendinosus und Rectus femoris zwischen den Übungen Ball Leg Curl, Bulgarischem Split Squat und Konventionellem Kreuzheben. Nur während den Übungen Ball Leg Curl und Konventionellem Kreuzheben betreffend des Muskels Biceps femoris und dem Bulgarischem Split Squat und Konventionellem Kreuzheben betreffend des Muskels Semitendinosus, konnten kein signifikanter Unterschied erkannt werden. Mit der Ausnahme zwischen Bulgarischem Split Squat und Konventionellem Kreuzheben bezogen auf den Muskel Semitendinosus, konnten hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) erzielt werden. Die zweite Hypothese wurde widerlegt, es gab keinen signifikanten Unterschied im Verhältnis zwischen Biceps femoris und Semitendinosus während den drei Kräftigungsübungen.

In Bezug auf die klinische Relevanz kann nun geäußert werden, dass die Übung Ball Leg Curl eine gute Möglichkeit ist, um die ischiocrurale Muskulatur gezielt und separiert zu kräftigen, während im Zuge der anderen beiden Übungen alle drei Muskeln in ihren unterschiedlichen Aktivitätsphasen gleichermaßen gekräftigt werden können.



## 7 Literaturverzeichnis

- Baechele, T. R., & Earle, R. W. (2008). Essentials of strength training and conditioning (3rd ed). *Human Kinetics*.
- Banzer, W., Pfeifer, K., & Vogt, L. (2004). Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin: Mit 20 Tabellen. Berlin: Springer.
- Bezerra, E. S., Simão, R., Fleck, S. J., Maia, M., Costa, P. B., Amadio, A. C., Miranda, H., & Serrão, J. C. (2013). Electromyographic Activity of Lower Body Muscles during the Deadlift and Stiff-Legged Deadlift. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16, 10.
- Brukner, P., & Connell, D. (2016). 'Serious thigh muscle strains': Beware the intramuscular tendon which plays an important role in difficult hamstring and quadriceps muscle strains. *British Journal of Sports Medicine*, 50(4), 205–208. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095136>
- Carvalho, A., Brown, S., & Abade, E. (2016). Evaluating injury risk in first and second league professional Portuguese soccer: Muscular strength and asymmetry. *Journal of Human Kinetics*, 51(1), 19–26. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0166>
- Coombs, R., & Garbutt, G. (2002). Developments in the Use of the Hamstring/Quadriceps Ratio for the Assessment of Muscle Balance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 1(3), 56–62.
- Daneshjoo, A., Rahnama, N., Mokhtar, A. H., & Yusof, A. (2013). Bilateral and Unilateral Asymmetries of Isokinetic Strength and Flexibility in Male Young Professional Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 45–53. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0005>
- DeForest, B. A., Cantrell, G. S., & Schilling, B. K. (2014). Muscle Activity in Single- vs. Double-Leg Squats. *International Journal of Exercise Science*, 7(4), 302–310.
- Engebretsen, A. H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2010). Intrinsic Risk Factors for Groin Injuries among Male Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(10), 2051–2057. <https://doi.org/10.1177/0363546510375544>
- Erickson, L. N., & Sherry, M. A. (2017). Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.04.001>

- Ernlund, L., & Vieira, L. de A. (2017). Hamstring injuries: Update article. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 52(4), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2017.05.005>
- Evangelidis, P. E., Massey, G. J., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2016). Strength and size relationships of the quadriceps and hamstrings with special reference to reciprocal muscle balance. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 593–600. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3321-7>
- Hamilton, B., Alonso, J.-M., & Best, T. M. (2017). Time for a paradigm shift in the classification of muscle injuries. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.04.011>
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring Strain Injuries: Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation, and Injury Prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 67–81. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3047>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Disselhorst-Klug, C., Rau, G., Stegeman, D. F., & Hägg, G. M. (2018). *SENIAM*. Seniam. [http://seniam.org/sensor\\_location.htm](http://seniam.org/sensor_location.htm)
- Hibbert, O., Cheong, K., Grant, A., Beers, A., & Moizumi, T. (2008). A systematic review of the effectiveness of eccentric strength training in the prevention of hamstring muscle strains in otherwise healthy individuals. 3(2), 15.
- Hislop, H. J., & Montgomery, J. (2007). *Manuelle Muskeltests: Untersuchungstechniken nach Daniels und Worthingham*. München; Jena: Elsevier, Urban & Fischer.
- How, M. I., Lee, P. K., Wei, T. S., & Chong, C. T. (2015). Delayed presentation of compartment syndrome of the thigh secondary to quadriceps trauma and vascular injury in a soccer athlete. *International Journal of Surgery Case Reports*, 11, 56–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2015.04.003>
- Konrad, P. (2011). *EMG-FIBEL. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*. Abgerufen 6. März 2019, von: <http://www.velamed.com/wp-content/uploads/EMG-FIBEL-V1.1.pdf>
- Kulas, A. S., Schmitz, R. J., Shultz, S. J., Waxman, J. P., Wang, H.-M., Kraft, R. A., & Partington, H. S. (2017). Bilateral quadriceps and hamstrings muscle volume asymmetries in healthy individuals: QUADRICEPS AND HAMSTRINGS VOLUME ASYMMETRY. *Journal of Orthopaedic Research*. <https://doi.org/10.1002/jor.23664>

- Lee, S., Schultz, J., Timgren, J., Staelgraeve, K., Miller, M., & Liu, Y. (2018). An electromyographic and kinetic comparison of conventional and Romanian deadlifts. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 16(3), 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2018.08.001>
- Lockie, R., Risso, F., Lazar, A., Giuliano, D., Stage, A., Liu, T., Beiley, M., Hurley, J., Torne, I., Stokes, J., Birmingham-Babauta, S., Davis, D., Orjalo, A., & Moreno, M. (2017). Between-Leg Mechanical Differences as Measured by the Bulgarian Split-Squat: Exploring Asymmetries and Relationships with Sprint Acceleration. *Sports*, 5(3), 65. <https://doi.org/10.3390/sports5030065>
- Mayer, F., Schlumberger, A., van Cingel, R., Henrotin, Y., Laube, W., & Schmidtbleicher, D. (2003). Training and testing in open versus closed kinetic chain. *Isokinetics and Exercise Science*, 11(4), 181–187. <https://doi.org/10.3233/IES-2003-0154>
- McAllister, M. J., Hammond, K. G., Schilling, B. K., Ferreria, L. C., Reed, J. P., & Weiss, L. W. (2014). Muscle Activation During Various Hamstring Exercises: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1573–1580. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000302>
- McCurdy, K., & Langford, G. (2005). Comparison of Unilateral Squat Strength Between the Dominant and Non-Dominant Leg in Men and Women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 4(2), 153–159.
- McCurdy, K. W., O'Kelley, E., Kutz, M. R., Langford, G. S., Ernest, J. M., & Torres, M. X. N. (2010). Comparison of lower extremity EMG between the 2-leg squat and modified single-leg squat in female athletes. *Journal of sport rehabilitation*, 19(1), 57–70. <https://doi.org/10.1123/jsr.19.1.57>
- Monajati, A., Larumbe-Zabala, E., Goss-Sampson, M., & Naclerio, F. (2017). Analysis of the Hamstring Muscle Activation During two Injury Prevention Exercises. *Journal of Human Kinetics*, 60, 29–37. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0105>
- O'Halloran, J., Milligan, G., Old, J., Sawaya, A., & Bowen, J. (2017). The use of a pre-activation exercise for the hamstrings to optimise the amount of muscle activity present within a Nordic Hamstring Curl. *International Society of Biomechanics in Sport* 35(1), 5.
- Ramos, G. A., Arliani, G. G., Astur, D. C., Pochini, A. de C., Ejnisman, B., & Cohen, M. (2017). Rehabilitation of hamstring muscle injuries: A literature review. *Revista*

- Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 52(1), 11–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.rboe.2016.12.002>
- Ruas, C. V., Brown, L. E., Lima, C. D., Costa, P. B., & Pinto, R. S. (2017). Effect of three different muscle action training protocols on knee strength ratios and performance: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002134>
- Schache, A. (2012). Eccentric hamstring muscle training can prevent hamstring injuries in soccer players. *Journal of Physiotherapy*, 58(1), 58. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(12\)70074-7](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(12)70074-7)
- Schellenberg, F., Taylor, W. R., & Lorenzetti, S. (2017). Towards evidence based strength training: A comparison of muscle forces during deadlifts, goodmornings and split squats. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9(13).  
<https://doi.org/10.1186/s13102-017-0077-x>
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2014). Prometheus Lernatlas der Anatomie, 4. Auflage.
- Shultz, R., Silder, A., Malone, M., Braun, H. J., & Dragoo, J. L. (2015). Unstable Surface Improves Quadriceps:Hamstring Co-contraction for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Strategies. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 7(2), 166–171. <https://doi.org/10.1177/1941738114565088>
- Torres, G., Chorro, D., Navandar, A., Rueda, J., Fernández, L., & Navarro, E. (2019a). Quadriceps and hamstrings coactivation in exercises used in prevention and rehabilitation of hamstring strain injury in young soccer players [Preprint]. *Scientific Communication and Education*. <https://doi.org/10.1101/574210>
- Wan, X., Qu, F., Garrett, W. E., Liu, H., & Yu, B. (2017). Relationships among hamstring muscle optimal length and hamstring flexibility and strength. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.04.009>
- Zebis, M. K., Skotte, J., Andersen, C. H., Mortensen, P., Petersen, H. H., Viskær, T. C., Jensen, T. L., Bencke, J., & Andersen, L. L. (2013). Kettlebell swing targets semi-tendinosus and supine leg curl targets biceps femoris: An EMG study with rehabilitation implications. *British Journal of Sports Medicine*, 47(18), 1192–1198.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090281>

## **A     Anhang**

### **Verfasserinnen**

Kapitel 1	Einleitung	Cikanek
Kapitel 1.1	Verletzungen	Cikanek & Kainz
Kapitel 1.2	Dysbalancen	Kainz
Kapitel 1.3	Prävention	Kainz
Kapitel 1.4	EMG	Cikanek
Kapitel 1.5	Aktueller Forschungsstand	Cikanek & Kainz
Kapitel 1.6	Forschungsfrage	Cikanek & Kainz
Kapitel 2.1	Studiendesign	Kainz
Kapitel 2.2	Rekrutierung	Kainz
Kapitel 2.3	Testprotokoll	Cikanek
Kapitel 2.4	Hautvorbereitung & Elektroden	Kainz
Kapitel 2.5	Messdurchführung	Cikanek
Kapitel 2.6	Kräftigungsübungen	Kainz
Kapitel 2.7	stat. Analyse & Auswertung	Cikanek & Kainz
Kapitel 3	Ergebnisse	Cikanek & Kainz
Kapitel 4	Diskussion	Cikanek & Kainz
Kapitel 5	Schlussfolgerung & Ausblick	Cikanek & Kainz
Kapitel 6	Zusammenfassung	Cikanek & Kainz