

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik

Tübingen

Abteilung V, Sportmedizin

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. A. Nieß

**Wirkungen eines Krafttrainings unter verminderter
Blutzufuhr bei Männern im Alter von 40 bis 60 Jahren**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Kathrin Doris Hasler

aus

Backnang

2014

Dekan:	Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter:	Professor Dr. H.-C. Heitkamp
2. Berichterstatter:	Professor Dr. A. Strölin

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	1
2. Methode	7
2.1 Probanden	8
2.2 Erhebung anthropometrischer Daten	9
2.2.1 Biometrische Daten	9
2.2.2 Hautfaltendicke	11
2.2.3 Oberschenkelumfang	12
2.3 Messmethoden	12
2.3.1 Beschreibung des Messgerätes	13
2.3.2 Einstellungen des Messgerätes	14
2.3.3 Durchführung der Tests	16
2.4 Trainingsphase	20
2.4.1 Beschreibung der Trainingsgeräte	20
2.4.2 Okklusionsdruck und Intensität	23
2.4.3 Ablauf einer einzelnen Trainingseinheit	24
2.4.4 Datenerhebung während den Trainingseinheiten	25
2.5 Statistik	28
3. Ergebnisse	31
3.1 Anthropometrie	31
3.2 Kraftveränderungen	35
3.2.1 Isometrie	35

3.2.2	Isokinetische Maximalkraft.....	38
3.2.3	Isokinetische Kraftausdauer.....	44
3.3	Auswertung der Schmerzparameter	48
3.4	Auswertung der Borg-Skala	50
4.	Diskussion	53
4.1	Methodenkritik	53
4.2	Diskussion der Ergebnisse	55
4.3	Schlussfolgerung	79
5.	Zusammenfassung	81
6.	Literaturverzeichnis	83
7.	Anhang	88
7.1	Informationsblatt	88
7.2	Einwilligungserklärungen	89
7.3	Fragebogen	90
7.4	Biometrische Daten	91
7.5	Datenerhebung aus dem Fragebogen	91
7.6	7-10-RM, 1-RM und Trainingsgewichte.....	92
7.7	Schmerzparameter	93
7.8	Patientenangaben der Borg-Skala	96
7.9	Untersuchungsergebnisse	99

1. Einleitung

In unserer heutigen Gesellschaft wird es immer wichtiger, sich körperlich zu betätigen. Damit kann man massiven gesundheitlichen Auswirkungen wie Adipositas, Atherosklerose oder anderen chronisch-degenerativen Erkrankungen vorbeugen, die durch Bewegungsmangel vermehrt auftreten (16, 48).

Training wurde früher als wettkampforientiertes Üben auf hohem Leistungsniveau aufgefasst. Später weitete sich der Begriff soweit aus, dass heute ein breites Zielspektrum jeglicher körperlicher Bewegungsform abgedeckt wird (12). Ein Training kann von unterschiedlichen Personengruppen, wie Kindern, Erwachsenen oder Senioren auf beliebig hohem oder niedrigem Niveau mit unterschiedlichen Trainingszielen ausgeführt werden. Freilich ist Training immer noch Inhalt des Leistungssports, es findet seine Berechtigung inzwischen aber genauso im Freizeit- sowie Gesundheitssport.

Beim Leistungssport geht es darum, effektives Training allein zur Leistungssteigerung durchzuführen. Als Ziel wird angestrebt, ein möglichst hohes Wettkampfniveau zu erreichen und halten zu können. Das Training folgt dabei einem festgelegten Trainingsplan, welchem außersportliche Aktivitäten sowie berufliche Verpflichtungen soweit als möglich angepasst werden. Hier erkennt man, dass der Sport im Vordergrund steht.

Anders sieht es beim Freizeitsport aus, welcher eindeutig den Spaß und die Freude an der Bewegung in den Vordergrund stellt. Die - in ihrer Freizeit sportlich aktiven - Menschen leben meist automatisch etwas gesünder, sind fitter und haben eine größere allgemeine Ausdauer als Menschen, die gar keinen Sport treiben. Außerdem ist der Körper resistenter gegen Viren und bakterielle Krankheitserreger, da regelmäßige Bewegung das Immunsystem stärkt (16).

Nun zum Gesundheitssport: Hier liegt der Schwerpunkt des Trainings darin, der Vorbeugung erwarteter Symptome zu dienen oder einen direkten positiven Einfluss auf ein bestimmtes Krankheitsbild zu nehmen. Miteinbeziehen kann man in diese Sparte den Alters- beziehungsweise Präventionssport und den

Rehabilitationssport. Bei älteren Patienten taucht des Öfteren das Problem auf, dass es zu Fehlbelastungen und damit verbundenen Schmerzen auf Grund von Muskulaturrückbildung kommt. Wenn die Schmerzen erst einmal da sind, werden Schonhaltungen eingenommen und der Apparat aus Knochen und Bändern wird zusehends stärker fehlbelastet. In solchen Situationen wäre es optimal, die Muskulatur durch gezieltes Krafttraining zu stärken. Noch besser wäre es, wenn bereits im mittleren Alter regelmäßig wichtige Muskelgruppen trainiert werden würden, damit dem Muskelabbau vorgebeugt wird. Um die maximale Muskelkraft beim Krafttraining effektiv zu stärken, sollte mit hoher Intensität trainiert werden. Bei älteren oder allgemein schwächeren Menschen ist allerdings davon auszugehen, dass solch ein intensives Krafttraining Risiken birgt und auf Kosten anderer gesundheitlicher Faktoren geht - insbesondere, wenn die allgemeine Fitness zur Bewältigung eines harten Trainings fehlt.

Ähnlich sieht es bei Patienten in Rehabilitation aus: Auf Grund von Verletzungen kann es bei ihnen vorkommen, dass einzelne Körperteile über längere Zeiträume hinweg ruhiggestellt werden müssen. Bei mangelnder Bewegung und Belastung kommt es in der Muskulatur zu einer negativen Anpassungsreaktion welche mit einer Muskelatrophie einhergeht (22). Auch hier sollte die Muskulatur durch Krafttraining wieder gestärkt werden. Ein intensives Krafttraining, welches eigentlich angestrebt werden müsste, um einen schnellen Kraftzuwachs zu erzielen, ist auch hier nicht möglich. Das Risiko einer erneuten Verletzung wäre zu groß.

Bei älteren Patienten und bei Patienten in Rehabilitation wäre daher ein Training mit niedriger Intensität optimal, welches den Effekt von einem Krafttraining mit wesentlich höherer Intensität zeigt. Verschiedene Studien aus Japan und den USA zeigen, dass solche Effekte eventuell durch Okklusionstraining erreicht werden können, wobei zu betonen ist, dass die Studien noch keine einheitlichen Ergebnisse liefern und die Wirksamkeit von Okklusionstraining immer noch als fraglich einzustufen ist.

Ein Krafttraining der Extremitäten mit niedriger Intensität unter Einschränkung der Blutzufuhr über mehrere Sätze hinweg, so dass es zu einer Ischämie im Muskel kommt, wird als Okklusionstraining definiert. Die Gefäße werden dabei

mit Hilfe einer Blutdruckmanschette komprimiert. Der angewendete Okklusionsdruck variierte in den bisher durchgeführten Studien.

Erstmals beschrieben wurde das Phänomen der Steigerung der Trainingseffektivität durch Okklusionstraining von Sato Mitte der '80er Jahre. In Japan soll das KAATSU-Training, wie es dort genannt wird, heute schon eine anerkannte Trainingsmethode darstellen (30). Es gibt bereits einige Studien zu diesem Thema, die zum Teil übereinstimmende Ergebnisse lieferten. Tendenziell gibt es Hinweise auf positive Effekte der Einschränkung der Blutzufuhr beim Krafttraining hinsichtlich einer Hypertrophie der Extremitätenmuskulatur. Gleiches gilt für die Auswirkungen des Okklusionstrainings auf die aerobe Leistungsfähigkeit, was Karabulut et al. 2007 (18) bestätigen konnten. Der Mechanismus, warum sich die Verminderung der Blutzufuhr und der damit verbundene hypoxische Zustand positiv auf den Kraftzuwachs auswirken sollen, ist jedoch noch nicht restlos geklärt. Auch werden neuromuskuläre Anpassungen, die durch ein Okklusionstraining hervorgerufen werden könnten, noch kontrovers diskutiert (17).

In bisherigen Studien wurde die Auswirkung des Okklusionstrainings bei verschiedenen Parametern wie dem Muskelquerschnitt, der Maximalkraft oder der Kraftausdauer untersucht. Beispielsweise veröffentlichten Takarada et al. 2002 (39) eine Studie, in der sie professionelle Footballspieler testeten. Hier gab es eine Versuchsgruppe, welche mit Okklusion trainierte, und eine Kontrollgruppe, welche das gleiche Training ohne Okklusion bestritt. Die Versuchsgruppe zeigte dabei einen stärkeren Muskelzuwachs, welcher auf Muskelhypertrophie und erhöhte Hormonaktivität zurückgeführt wurde. Das Ergebnis kann als erstaunlich gewertet werden, da man bei gut trainierten Sportlern davon ausgeht, dass ein Training mit geringer Intensität zu keiner weiteren Leistungssteigerung führen kann. Folglich wird angenommen, dass die Effektivität des niederintensiven Trainings durch die Ischämie, welche mit der Okklusion einhergeht, gesteigert wurde.

Auch Teramoto und Golding (42) untersuchten die Wirksamkeit eines niederintensiven Krafttrainings unter Einschränkung der Blutzufuhr in Bezug auf Muskelkraft, Kraftausdauer und Muskelmasse bei einer gemischten

Probandengruppe. Sie versuchten das Training so zu gestalten, dass auch chronisch Kranke oder ältere und verletzte Menschen daran teilnehmen konnten. Dies wurde mit Step-Ups als Trainingsform erreicht. Dabei wurde ein Bein mit Okklusionsmanschette unter einem Druck von ca. 95 mmHg trainiert und eines ohne Manschette. Das Ergebnis dieser Studie war eine signifikante Verbesserung der Muskelkraft des Beines, welches unter vaskulärer Okklusion trainierte. Dagegen konnten keine großen Unterschiede zwischen den beiden Beinen bezüglich der Muskelkraftausdauer und der Muskelmasse festgestellt werden.

Hinsichtlich der Frage nach dem optimalen Okklusionsdruck könnte eine Studie von Sumide et al. (2007) (36) interessant sein. Es wurden dabei junge Männer getestet, welche mit verschiedenen Okklusionsdrücken (0 mmHg, 50 mmHg, 150 mmHg, 250 mmHg) trainierten. Mit niedriger Intensität (20% der Maximalkraft) wurde über 8 Wochen hinweg je 3-mal wöchentlich die Beinstreckung, die Hüftgelenksabduktion sowie die Hüftgelenksadduktion trainiert. Auf Grund der niedrigen Intensität verbesserte sich die Muskelkraft bei der Kontrollgruppe, die ohne Okklusion trainierte, wie erwartet nicht. Bei den anderen Probanden war dagegen ein Kraftzuwachs zu verzeichnen, wobei die Gruppen, welche mit 50 mmHg beziehungsweise 150 mmHg trainierten, im Mittel bessere Ergebnisse erzielen konnten, als die Gruppe welche mit 250 mmHg trainierte. Diese Resultate können daher als Hinweis auf die Größenordnung des optimalen Okklusionsdrucks gesehen werden.

Andere Untersuchungen von Cook et al. 2007 (8) und Yasuda et al. 2008 (49) beschrieben optimale Okklusionsdrücke für das Krafttraining unter Ischämie mit 156 mmHg beziehungsweise 121-148 mmHg.

Die vorgestellten Studien sowie einige weitere Testreihen geben Anlass zur Vermutung, dass sich eine vaskuläre Okklusion beim Krafttraining positiv auf den Kraftzuwachs auswirkt. Warum das so sein könnte ist noch nicht gänzlich geklärt. Im Folgenden werden Mechanismen erläutert, welche die Theorie des vermehrten Muskelzuwachses stützen: Allgemein kann man sagen, dass der Muskel durch die Okklusion schlechter durchblutet wird. Es kommt zu einer Ischämie. Während des Trainings ist somit der Sauerstoffbedarf im Vergleich

zur Arbeitsleistung erhöht, womit ein effektiverer Trainingsreiz als ohne vaskuläre Okklusion erreicht wird. Des Weiteren kommt es in der Muskulatur durch die Ischämie zu hypoxischen und metabolischen Effekten. Beispielsweise konnte festgestellt werden, dass die Proteolyse gehemmt (28) wird. Außerdem werden in okkludierter Muskulatur vermehrt anabole Prozesse angekurbelt. So konnten in zahlreichen Studien teils immense Anstiege des Wachstumshormones STH (1, 15, 33, 40, 45) und der Muskelproteinbiosynthese (13, 15) verzeichnet werden. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass der Laktatspiegel durch Training unter verminderter Blutzufuhr stärker als bei normalem Training ansteigt (37, 38, 41), was weitreichendere Adaptionen im anaeroben und aeroben Metabolismus zur Folge haben kann. Ausgelöst durch die der Hypoxie folgenden Hyperoxie, wurden bereits neuromuskuläre Reaktionen, muskuläre Adaptionen und endotheliale Anpassungsreaktionen festgestellt (23).

Die tendenziell positiven Effekte der Einschränkung der Blutzufuhr beim Krafttraining gaben Anlass zur Durchführung eigener Studien im Arbeitskreis zum Okklusionstraining in der Sportmedizin Tübingen. Das Ziel dieser Studien war es, die Erfolgsaussichten eines Okklusionstrainings durch eigene Ergebnisse besser einschätzen zu können sowie die positiven Ergebnisse vorausgegangener Studien zu verifizieren oder zu widerlegen. Auch galt es herauszufinden, wie praktikabel ein Training unter verminderter Blutzufuhr im Alltag sein kann. Langfristig sollte so ermöglicht werden, ein erfolgreiches Trainingskonzept zu entwickeln.

Der Arbeitskreis zum Okklusionstraining in der Sportmedizin Tübingen gab sodann vier Studien in Auftrag, welche sich im Aufbau und Inhalt des Trainings kaum unterschieden. Alle Teilnehmer führten ein niederintensives Krafttraining der Beine durch, wobei je ein Bein als Versuchsbein während des Trainings komprimiert wurde. Die ersten beiden Studien befassten sich mit Probanden im Alter von 20 bis 30 Jahren. Dabei wurden einmal ausschließlich männliche und einmal ausschließlich weibliche Teilnehmer getestet. Anschließend wurde eine Studie mit 40-60-jährigen Frauen durchgeführt. Um diese Studienreihe zu

komplettieren, wurde nun eine Studie mit 20 männlichen Testpersonen im Alter von 40-60 Jahren geplant.

Diese strikte alters- und geschlechtsspezifische Trennung sollte bei unterschiedlichen Ergebnissen der Probandengruppen eine Aussage über die Zielgruppe für solch ein Training ermöglichen.

Ziel der aktuellen Untersuchung von 40-60 jährigen Männern war es, Antworten auf folgende Fragestellungen, in Bezug auf die Probandenstichprobe, geben zu können:

- Lässt sich eine Verbesserung der isometrischen oder isokinetischen Maximalkraft mit Hilfe eines Okklusionstrainings der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% des Einwiederholungsmaximums (1-RM) erzielen?
- Lässt sich eine Verbesserung der Kraftausdauer mit Hilfe eines Okklusionstrainings der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% des 1-RM erzielen?
- Lassen sich signifikante Veränderungen der Hautfaltendicke (HF) am Oberschenkel und des Oberschenkelumfanges bei einem Okklusionstraining mit einer Trainingsintensität von 40% feststellen?

2. Methode

Bevor die Probanden sich zur Teilnahme an der Studie entschlossen, erklärte die Versuchsleiterin ihnen den Inhalt, Ablauf und Zweck und die Risiken der Studie. Dazu erhielten die Probanden ein Informationsblatt (siehe 7.1). Es wurde nach Medikamenteneinnahmen oder Erkrankungen - insbesondere Gefäßerkrankungen - gefragt, welche eine Teilnahme eventuell nicht erlaubt hätten. Noch vor Beginn der ersten Messungen unterzeichneten alle Probanden die Einverständniserklärungen zur Studienteilnahme und zum Datenschutz (siehe 7.2). Jeder Proband füllte einen Fragebogen (siehe 7.3) aus. Dieser Fragebogen beinhaltete anamnestische Fragen und sollte es der Versuchsleiterin erleichtern das Verhalten, insbesondere in Bezug auf sportliche Betätigungen im Alltag, der Versuchsteilnehmer einzuschätzen.

Die gesamte Untersuchung kann in 3 Einheiten, den Pretest, die Trainingsphase und den Posttest gegliedert werden. Der Pretest wurde von allen Probanden in einem Zeitraum von 7 Tagen absolviert. Hierbei wurden Nebenbefunde wie biometrische Daten, Hautfaltendicken am Oberschenkel und Oberschenkelumfänge sowie der Blutdruck erhoben. Außerdem wurde der eigentliche Krafttest zur Feststellung des Ausgangszustandes verschiedener Kraftfähigkeiten vor der Trainingsphase durchgeführt. Es wurden sowohl isometrische als auch isokinetische Maximalkraftmessungen durchgeführt. Des Weiteren wurde die Kraftausdauer durch einen isokinetischen Test bestimmt.

Die Trainingsphase begann in der unmittelbar auf den Pretest folgenden Woche. Sie erstreckte sich über 10 Wochen. In diesem Zeitraum absolvierte jeder Teilnehmer 2-mal pro Woche ein je 30-minütiges Beinkrafttraining. In der Trainingsphase wurden die Streckmuskulatur des Kniegelenkes (M. quadriceps femoris) und die Beugemuskulatur des Kniegelenkes (Ischiokruralmuskulatur) trainiert. Nach der 10-wöchigen Trainingsphase erfolgte der Posttest, dessen Inhalt und Durchführung mit dem Pretest identisch war. Die Posttests aller Teilnehmer fanden in einem Zeitraum von 8 Tagen nach der Trainingsperiode statt.

2.1 Probanden

20 Männer im Alter von 40 bis 60 Jahren waren bereit, an der Studie teilzunehmen. Von den 20 Probanden konnten nur 17 das Training und die dazugehörigen Krafttests und Messungen beenden. Während ein Proband schon nach dem ersten Krafttest nicht weiter an der Studie teilnehmen wollte, da er Knieschmerzen bekam, musste ein anderer die Trainingsphase nach 2 Wochen wegen geschäftlicher Verpflichtungen beenden. Ein dritter Teilnehmer brach die Studie ab, nachdem die Trainingsphase bereits beendet war und der abschließende Krafttest unmittelbar bevorstand. Als Grund dafür gab er starke Rückenschmerzen an.

Folgende Ausschlusskriterien wurden bei der Auswahl der Teilnehmer beachtet: Die Probanden durften in ihrer Freizeit keinen regelmäßigen Kraftsport betreiben. Sie sollten gesund und normalgewichtig sein und durften aktuell keine Muskel- oder Gelenkverletzungen im Bereich des Oberschenkels beziehungsweise Kniegelenkes aufweisen. Auch sollten sie noch nie an einer Thrombose gelitten haben, an einer anderen Gefäßerkrankung erkrankt sein oder Bluthochdruck haben. All diese Faktoren könnten das Risiko einer Thrombose durch die Okklusion des Oberschenkels beim Training fördern. Die Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit des Blutes, was mit der Manschette am Versuchsbein bewirkt wird, stellt einen prädisponierenden Faktor für die Entstehung von Thrombosen dar. Um das Thromboserisiko dennoch sehr gering zu halten, mussten andere prädisponierende Faktoren ausgeschlossen werden. 2 Probanden litten an medikamentös kompensierter moderater Hypertonie. Sie gaben an, regelmäßig Medikamente dagegen einzunehmen. Beide zeigten bei der Blutdruckmessung keine erhöhten Werte.

Das Altersspektrum der Probanden verteilte sich relativ gleichmäßig. Zu Studienbeginn war der jüngste Teilnehmer 40 und der älteste 60 Jahre alt. Im Mittel betrug das Alter der Probanden zu diesem Zeitpunkt $50,7 \pm 6,8$ Jahre. Die durchschnittliche Körpergröße betrug $177,5 \pm 6,2$ cm (168-190 cm). Das Gewicht lag bei $78,3 \pm 12,9$ kg (59-103 kg). Die Blutdruckmessung ergab systolische Werte von 116 bis 143 mmHg und diastolische Werte von 80 bis

101 mmHg. Die Messung des Körperfettgehaltes lieferte im Durchschnitt einen Wert von $25,4 \pm 5,5\%$ (32,7-15,0%).

Zum größten Teil handelte es sich bei den Teilnehmern um Freizeitsportler. Sie gaben die Zeitdauer, die sie ungefähr pro Woche Sport treiben, mit 0 bis 6 Stunden an. Auf die Frage, welche Sportarten die Probanden betreiben, waren Ausdauersportarten wie „Laufen/ Joggen“ und „Walking“ oder „Wandern“ mit 8 Nennungen die häufigste Antwort. Schwimmen und Radfahren wurde jeweils von 4 Probanden angegeben. Fußball wurde 3-mal genannt und auch andere Ballsportarten (Volleyball, Faustball, Tischtennis, Golf) betrieben 4 Probanden. Es folgte die Angabe „Gymnastik/ Fitness“ von 2 Teilnehmern. Lediglich 4 Probanden gaben an, sich in ihrer Freizeit gar nicht sportlich zu betätigen. Die durchschnittliche Zeit, die pro Woche Sport getrieben wurde, lag bei 2,3 Stunden.

2.2 Erhebung anthropometrischer Daten

Zur Erhebung der Nebenbefunde während des Pretests gehörte eine Blutdruckmessung, welche über die Anamnese hinaus sicherstellen sollte, dass die Probanden ohne erhöhte Gefahr an der Studie teilnehmen können. Zusätzlich wurden biometrische Daten wie Körpergröße, Körpergewicht und Körperfettgehalt bestimmt. Diese Werte dienten der näheren Beschreibung des Probandenkollektives. Dazu kamen Messungen, die jeweils beim Pre- und beim Posttest durchgeführt wurden. Hierzu zählten Messungen der Hautfaltendicke sowie des Umfangs an 2 verschiedenen Stellen an den Oberschenkeln.

2.2.1 Biometrische Daten

Die Körpergröße wurde bei den Probanden lediglich erfragt und nur gemessen, wenn sie diese nicht angeben konnten. Auch das Gewicht wurde nur mit Hilfe einer mechanischen Waage geprüft, wenn die Teilnehmer es nicht selbst angeben konnten.

Der Körperfettgehalt wurde mit einer Hautfaltenmethode bestimmt bei der die Haut zusammen mit dem Unterhautfettgewebe an 4 festgelegten Körperstellen gemessen wird. Als Messgerät diente der Lange Skinfold Caliper der Firma Beta Technology Incorporated (Santa Cruz CA, USA). In der dem Messgerät

beigelegten Bedienungsanleitung (31) sind die 4 verwendeten Messpunkte beschrieben. Dies sind jeweils die Mitten des Bizeps und des Trizeps am Oberarm, die Subscapularregion und der Bereich etwa 3 cm oberhalb der Spina iliaca anterior superior.

Die Probanden wurden angewiesen, aufrecht zu stehen und die Arme dabei entspannt hängen zu lassen. An allen Messpunkten wurde zunächst die Hautfalte, bestehend aus Haut und Unterhautfettgewebe, gegriffen und darauf geachtet, dass dabei keine Muskulatur gefasst wurde. Anschließend wurde der Caliper angesetzt und der Druck der Finger auf die Hautfalte sowie der Druck auf den Hebel des Calipers langsam gelöst, so dass die gefasste Hautfalte nicht durch Fingerkraft komprimiert wurde. Nun konnte der Wert in mm abgelesen werden. Die 4 Messergebnisse der einzelnen Messpunkte wurden addiert. Der Körperfettgehalt konnte mit diesem addierten Gesamtwert in einer Tabelle (Tabelle 1) (31) in der Bedienungsanleitung des Calipers abgelesen werden. Je nach Altersbereich wurden den Summen der Hautfaltendicken dabei die passenden Körperfettwerte zugeordnet.

Skinfolds mm	Males			
	17-29	30-39	Ages 40-49	50+
15	4.8	—	—	—
20	8.1	12.2	12.2	12.6
25	10.5	14.2	15.0	15.6
30	12.9	16.2	17.7	18.6
35	14.7	17.7	19.6	20.8
40	16.4	19.2	21.4	22.9
45	17.7	20.4	23.0	24.7
50	19.0	21.5	24.6	26.5
55	20.1	22.5	25.9	27.9
60	21.2	23.5	27.1	29.2
65	22.2	24.3	28.2	30.4
70	23.1	25.1	29.3	31.6
75	24.0	25.9	30.3	32.7
80	24.8	26.6	31.2	33.8
85	25.5	27.2	32.1	34.8
90	26.2	27.8	33.0	35.8
95	26.9	28.4	33.7	36.6
100	27.6	29.0	34.4	37.4
105	28.2	29.6	35.1	38.2
110	28.8	30.1	35.8	39.0
115	29.4	30.6	36.4	39.7
120	30.0	31.1	37.0	40.4
125	30.5	31.5	37.6	41.1
130	31.0	31.9	38.2	41.8
135	31.5	32.3	38.7	42.4
140	32.0	32.7	39.2	43.0
145	32.5	33.1	39.7	43.6
150	32.9	33.5	40.2	44.1
155	33.3	33.9	40.7	44.6
160	33.7	34.3	41.2	45.1
165	34.1	34.6	41.6	45.6
170	34.5	34.8	42.0	46.1
175	34.9	—	—	—
180	35.3	—	—	—
185	35.6	—	—	—
190	35.9	—	—	—
195	—	—	—	—
200	—	—	—	—
205	—	—	—	—
210	—	—	—	—

Tabelle 1: Tabelle zur Ermittlung des Körperfettgehaltes nach Hautfaltenmessung an 4 Körperstellen für männliche Personen (31)

2.2.2 Hautfaltendicke

Zusätzlich zu den Hautfaltendicken für die Messung des Körperfettgehaltes wurde die Hautfaltendicke auch an den Oberschenkelvorderseiten gemessen. Als Messgerät diente wiederum der Lange Skinfold Caliper der Firma Beta Technology Incorporated.

Die Probanden saßen dabei aufrecht auf einer Stuhlkante. Die Beine wurden entspannt auf dem Boden aufgestellt, dabei betrug der Winkel im Kniegelenk etwa 100 Grad. Die Muskulatur befand sich in entspanntem Zustand. Der

Messpunkt lag in der Mitte zwischen Hüft- und Kniegelenk, zentral auf der Oberschenkelvorderseite. Bei der Messung wurde wie folgt vorgegangen: Die Versuchsleiterin fasst die Hautfalte am Messpunkt transversal zum Verlauf der Muskelfasern, von einer Seite mit dem Daumen und von der anderen mit zwei weiteren Fingern. Dabei musste wiederum darauf geachtet werden, dass nur die Haut und das Unterhautfettgewebe gegriffen wurde, hingegen keine Anteile der Muskulatur. Als dies geschehen war wurde der Caliper angesetzt, der Druck der Finger auf die Hautfalte sowie der Druck auf den Hebel des Calipers langsam gelöst und der Wert abgelesen. Der Vorgang wurde in identischer Weise am rechten wie am linken Bein durchgeführt.

2.2.3 Oberschenkelumfang

Der Oberschenkelumfang wurde an beiden Beinen in sitzender Position gemessen. Die Probanden wurden dabei wiederum gebeten, sich auf die Stuhlkante zu setzen und die Füße so auf den Boden zu stellen, dass das Kniegelenk eine Beugung von ungefähr 100 Grad aufwies. Der Oberschenkel nahm somit eine nahezu waagerechte Position ein. Die Muskulatur sollte dabei in einem entspannten Zustand sein.

Zunächst wurde die Oberkante der Patella ertastet. Anschließend wurden, von diesem Punkt ausgehend, auf jedem Bein 2 Markierungen mittels Kugelschreiber gesetzt. Die erste Markierung lag 10 cm, die zweite 20 cm über der Patellaoberkante. Nun wurde der Oberschenkelumfang von den markierten Punkten ausgehend gemessen. Als Messgerät diente ein flexibles Kunststoffmaßband. Die Messwerte wurden auf halbe Zentimeter gerundet.

2.3 Messmethoden

Die Erhebung der Hauptbefunde beinhaltete sämtliche Kraftmessungen, die alle am gleichen Test- beziehungsweise Messgerät, dem IsoMed 2000 (Abbildung 1), durchgeführt wurden. Bei den Kraftmessungen wurden jeweils die maximal aufbrachten Drehmomente bei isometrischen und isokinetischen Ausführungen bestimmt. Das Drehmoment (M) ist als vektorielles Produkt aus der Kraft (F), die auf den Hebelarm wirkt, und der Länge (l) des Hebelarmes definiert ($M = F \cdot l$).

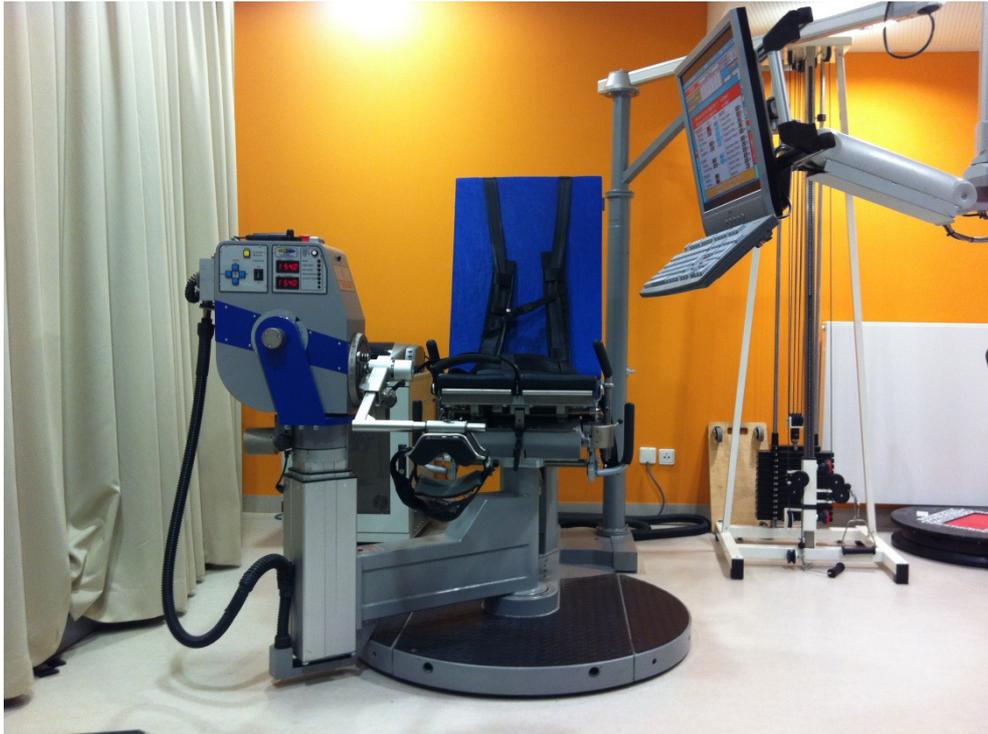


Abbildung 1: Testgerät: IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl. GmbH)

2.3.1 Beschreibung des Messgerätes

Bei dem Messgerät IsoMed 2000 handelt es sich um eine multifunktionelle Therapieeinheit der Firma D. & R. Ferstl GmbH (93155 Hemau, Deutschland). Das Gerät kann individuell eingestellt werden und erlaubt Test- und Trainingsprogramme in sitzender oder liegender Position. Es besteht aus der Sitzfläche mit einer Lehne, dem Dynamometer an dem der Schwenkarm mit Adapter befestigt ist und dem Schaltschrank. Hinzu kommt ein Monitor, der an einer Schwenkvorrichtung befestigt ist. Die Neigung der Sitzfläche ist variabel. Ebenso kann die Neigung der Lehne verstellt werden. Hier sind alle Winkel zwischen waagerechter und senkrechter Position stufenlos wählbar. Zudem kann die gesamte Lehne bei gleichbleibender Winkelposition in der Horizontalen verschoben werden, um die Länge der Sitzfläche zu variieren. Auch der als Adapter des Schwenkarmes dienende Hebelarm ist individuell einstellbar. Zudem verfügt das Gerät über diverse Gurte, um die gewünschte Körperposition während den Tests zu sichern und Ausgleichsbewegungen einzuschränken.

Die Software des Gerätes, welche auf DOS (disc operating system) läuft, arbeitet mit Hilfe von RTOS (real time operating system). Die Software ermöglicht es, unter dem Menüpunkt Test/Training, unterschiedliche Trainings- und Testprogramme zu programmieren, zu speichern und jederzeit abzurufen. Der Hebelarm, auf welchen der Proband während der Tests die Kraft ausübt, kann für isometrische Messungen starre Positionen bei unterschiedlichen Winkeln einnehmen. Bei isokinetischen Messungen werden dagegen die Endpunkte der Bewegung eingestellt und die Winkelgeschwindigkeit, mit der sich der Hebelarm bewegen soll, gewählt. Die Versuchsleiterin programmierte die Tests, welche die Probanden durchführten, unter Anleitung und Hilfe eines Biomechanikers.

Unter dem Menüpunkt Patientenverwaltung werden Patientendaten gespeichert. Ihnen werden die individuell vorgenommenen Einstellungen, wie zum Beispiel die Sitz- und Lehnenposition oder die Hebelarmeinstellungen, zugeordnet. Somit ist es möglich, den gleichen Test zu verschiedenen Zeitpunkten immer wieder mit identischen Einstellungen zu wiederholen.

2.3.2 Einstellungen des Messgerätes

Einige Einstellungen wurden am IsoMed 2000 einmalig vorgenommen und für alle Probanden belassen, andere wurden individuell an die körperlichen Gegebenheiten des Einzelnen angepasst. Bei allen Probanden wurde für die Neigung der Sitzfläche die Einstellung 1 gewählt, damit war die Fläche nach hinten leicht abfallend. Die Einstellung 0 würde hier eine ebene Sitzfläche bedeuten. Ebenso wurde die Neigung der Lehne für alle einheitlich eingestellt, der Winkel betrug 70 Grad.

Die Lehne wurde bei jedem Probanden individuell durch Vor- und Zurückschieben so positioniert, dass sich die Kniekehlen direkt am vorderen Ende der Sitzfläche befanden, während die Lendenwirbelsäule die Lehne berührte. Die vorgenommene Einstellung wurde automatisch gespeichert.

Der sitzende Proband wurde mit Schulter- und Hüftgurten festgeschnallt, um eine Beibehaltung der Sitzposition zu gewährleisten. Zusätzlich wurde das Testbein oberhalb des Kniegelenkes mit einem Gurt fixiert. Rotation und Höhe des Schwenkarmes wurden ebenfalls individuell festgelegt. Es wurde dazu der

Spalt des Kniegelenkes ertastet und die Stelle mit Hilfe eines, in den Schwenkarm integrierten, Laserpointers anvisiert. In dieser anvisierten Position wurde der Schwenkarm fixiert. Die Einstellung des Schwenkarmes wurde bei allen Probanden am rechten Bein, das zuerst getestet wurde, durchgeführt und gespeichert, um sie zunächst für das linke Bein und später auch für den Posttest zu übernehmen. Zuletzt wurde der Hebelarm angepasst. Über einen Auszug wurde die Länge eingestellt. Dabei wurde ein sich am Hebelarm befindliches Polster an der unteren Hälfte des Schienbeines, kurz über dem Fußgelenk positioniert. Über einen seitlichen Auszug am Hebelarm wurde die transversale Position geregelt. Die Einstellung des seitlichen Auszuges sowie die Länge des Auszuges wurden manuell gespeichert, um sie beim Posttest abzurufen und identisch einzustellen.

Beim Programmieren der einzelnen Tests wurden folgende Einstellungen gewählt: Die Null-Grad-Position des Hebelarmes ist als waagerechte Position zu verstehen, dabei wäre das Bein nahezu ausgestreckt. Für den isometrischen Maximalkrafttest in der Extension hatte der Hebelarm einen Winkel von 60° , in der Flexion wurde der Winkel auf 30° eingestellt. Für die isokinetischen Tests bei $60\%/s$ und $120\%/s$ wurde ein Bewegungsspielraum von 80° , der von 10° bis 90° reichte, festgelegt.

Mit Hilfe eines Mitarbeiters der biomechanischen Abteilung wurden 4 hintereinander ablaufende Testprogramme programmiert. Anschließend führte die Versuchsleiterin zahlreiche Probemessungen durch, um ein routiniertes Vorgehen zu erlernen und sich standardisierte Anweisungen sowie Methoden zur Motivation der Probanden anzueignen. Als Testprobanden dienten hierfür Personen aus dem Freundeskreis der Versuchsleiterin.

Die Probanden, die an der Studie teilnahmen, führten vor dem Pretest ebenfalls Probemessungen durch. Dadurch wurde ihnen die Möglichkeit gegeben, sich mit den Gegebenheiten des Gerätes vertraut zu machen. So konnten die Probanden sich auf dem Messgerät sicherer fühlen und wurden während den Messungen nicht durch ihre Unsicherheit gehemmt. Damit sollten Verfälschungen der Messergebnisse verhindert werden.

2.3.3 Durchführung der Tests

Nach einer ca. 5-minütigen Aufwärmphase durch leichtes Joggen und Kniebeugen nahmen die Probanden auf dem Testgerät Platz. Die Einstellungen wurden wie oben beschrieben individuell angepasst. Unmittelbar vor Beginn der Messungen wurde nochmals der feste Sitz aller Gurte geprüft und gegebenenfalls nachgezogen. Alle Messungen wurden ohne Schuhe durchgeführt, um Verfälschungen durch unterschiedliches Schuhwerk während des Pre- und Posttests zu vermeiden. Die Reihenfolge der Tests sah wie folgt aus: Erst wurde der isometrische Maximalkrafttest in der Extension, anschließend derselbe in der Flexion durchgeführt. Als nächstes war die isokinetische Maximalkraftmessung bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s, gefolgt von der Maximalkraftmessung und der Kraftausdauerermessung bei 120°/s, an der Reihe. Zu Beginn aller Tests positionierte sich der Hebelarm automatisch in der gewünschten Startposition. Zwischen den einzelnen Tests wurde eine ca. 1-minütige Pause gewährt. Die Probanden absolvierten die 4 hintereinander ablaufenden Tests alle einheitlich zuerst mit dem rechten und anschließend mit dem linken Bein.

Bei den isometrischen Messungen war das Ziel binnen eines Zeitintervalls von 50 Sekunden 3-mal über einen Zeitraum von 4-5 Sekunden eine maximale Kraft auf den Hebelarm auszuüben. In den Zeitintervallen zwischen den 3 maximalen Kraftanstrengungen sollte die Beinmuskulatur in einem möglichst entspannten Zustand verweilen. Die Probanden wurden angewiesen, die Muskulatur stets auf Anweisung zu kontrahieren und wieder zu entlasten. Der Monitor wurde so positioniert, dass die Probanden ihn während der Messungen gut einsehen konnten. Auf ihm wurde die Kraftentfaltung zeitgleich zur Ausführung aufgezeigt. Es wurde das aufgebrachte Drehmoment über der Zeit, jeweils für die Extension (Abbildung 2) und die Flexion (Abbildung 3) dargestellt.

Die Versuchsleiterin startete die Messungen, nachdem der Proband 2-3 Probekontraktionen durchgeführt hatte und bereit für die Messungen war. Zunächst erschien ein 5-sekündiger Countdown auf dem Monitor. Anschließend wurde das Drehmoment-Zeit-Diagramm sichtbar. Die Versuchsleiterin gab allen Probanden die gleichen standardisierten Anweisungen zur maximalen

Kraftentwicklung und anschließenden Entspannung der Muskulatur. Die 4-5 Sekunden andauernden maximalen Kontraktionen sollten möglichst so durchgeführt werden, dass das Diagramm ein Plateau zeigt. Die Maximalkraft sollte also schnell erreicht und gehalten werden.

Die Pausen zwischen den 3 Kontraktionen dauerten jeweils etwa 10 Sekunden. Alle Probanden wurden durch gleichlautende und standardisierte Anfeuerungen unterstützt. Die beschriebenen Abläufe waren für die Messung der isometrischen Maximalkraft in Extension und für die Messung der isometrischen Maximalkraft in Flexion identisch. Lediglich die Position des Hebelarmes, die das programmierte Testgerät automatisch einstellte, unterschied sich (siehe 2.3.2). Die isometrischen Messungen lieferten demnach pro Bein 2 Messergebnisse: Die isometrische Maximalkraft in der Extension und die isometrische Maximalkraft in der Flexion.

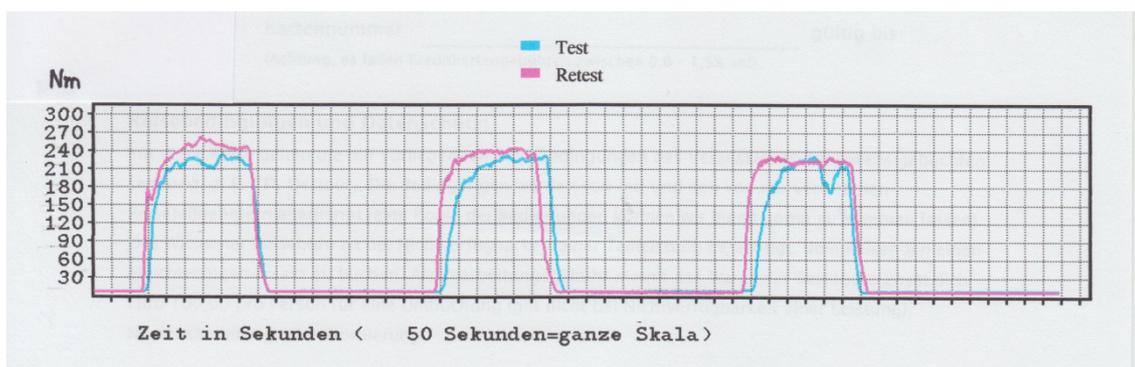


Abbildung 2: Darstellung der Messwerte der isometrischen Maximalkraftmessung der Extension eines einzelnen Probanden (Proband 2, rechtes Bein)

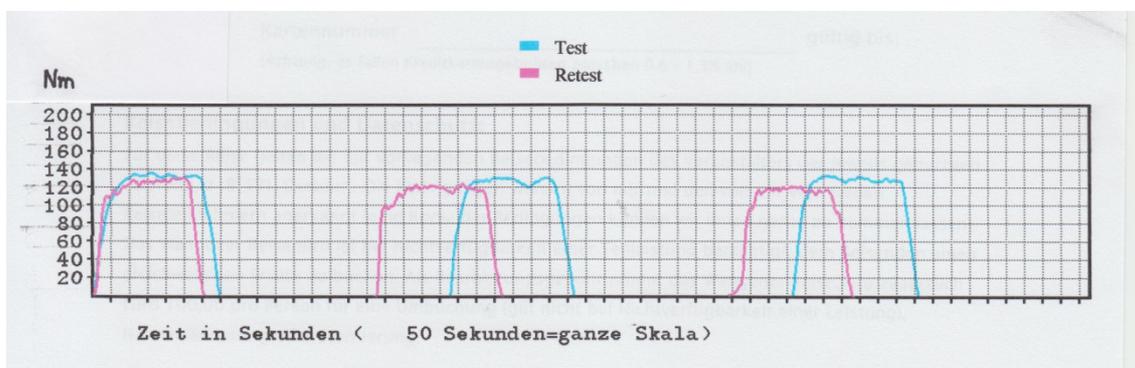


Abbildung 3: Darstellung der Messwerte der isometrischen Maximalkraftmessung der Flexion eines einzelnen Probanden (Proband 2, rechtes Bein)

Unmittelbar im Anschluss folgten die isokinetischen Messungen. Zu Beginn aller isokinetischen Messungen positionierte sich der Hebelarm automatisch in die Startposition von 10° . Der Monitor wurde wiederum so ausgerichtet, dass die Probanden ihn während der Tests sehen konnten. Auf ihm wurde zeitgleich mit der Durchführung der Bewegungen, je ein Diagramm zur Darstellung des momentan erbrachten Drehmoments in der Flexion und eines zur Darstellung des momentan erbrachten Drehmomentes in der Extension abgebildet.

Es wurden 2 verschiedene Tests durchgeführt. Zuerst absolvierten die Probanden 3 Wiederholungen bei einer festen Winkelgeschwindigkeit von $60\%/s$. Nach einer kurzen Pause führten sie beim nächsten Test 25 Wiederholungen, bei einer Winkelgeschwindigkeit von $120\%/s$, aus. Die Versuchsleiterin unterstützte dabei alle Probanden mit gleichlautenden Anweisungen. Als eine Wiederholung galt das hin und her bewegen des Unterschenkels aus der Startposition bei 10° bis hin zu einer Position des Hebelarmes von 90° (Flexionsbewegung) und wieder zurück in die 10° -Position (Extensionsbewegung). Es wurde darauf geachtet, dass alle Bewegungen möglichst bis zum Anschlag ausgeführt wurden.

Aus diesen Tests konnten pro Bein jeweils drei verschiedene isokinetische Messergebnisse in der Extension genauso wie in der Flexion erhoben werden: Die Maximalkraft in der Extension bei $60\%/s$, die Maximalkraft in der Flexion bei $60\%/s$, die Maximalkraft in der Extension bei $120\%/s$, die Maximalkraft in der Flexion bei $120\%/s$, die Kraftausdauer in der Extension bei $120\%/s$ sowie die Kraftausdauer der Flexion bei $120\%/s$.

Als Messergebnisse der isokinetischen Maximalkraft bei einer Winkelgeschwindigkeit von $60\%/s$ wurden die durchschnittlichen maximal erbrachten Drehmomente aus den 2 besten Wiederholungen von 3 durchgeführten Wiederholungen berechnet. Die Werte wurden getrennt für die Extension und die Flexion erhoben und sind in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

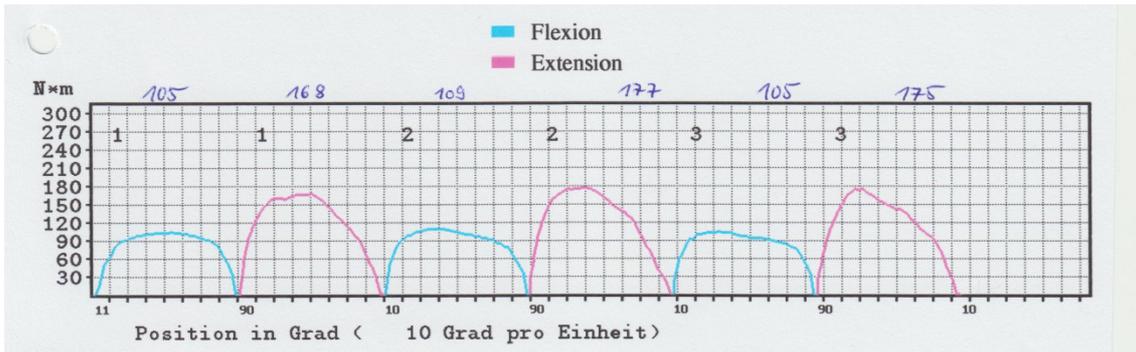


Abbildung 4: Darstellung der Messwerte der isokinetischen Maximalkraftmessung in Flexion und Extension bei 60°/s eines einzelnen Probanden (Proband 2, rechts, Pretest)

Als Messergebnisse für die isokinetische Maximalkraft bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s wurden die durchschnittlichen maximal erbrachten Drehmomente aus den Wiederholungen 2-6 von 25 berechnet. Die Werte wurden getrennt für die Extension und die Flexion erhoben und sind in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

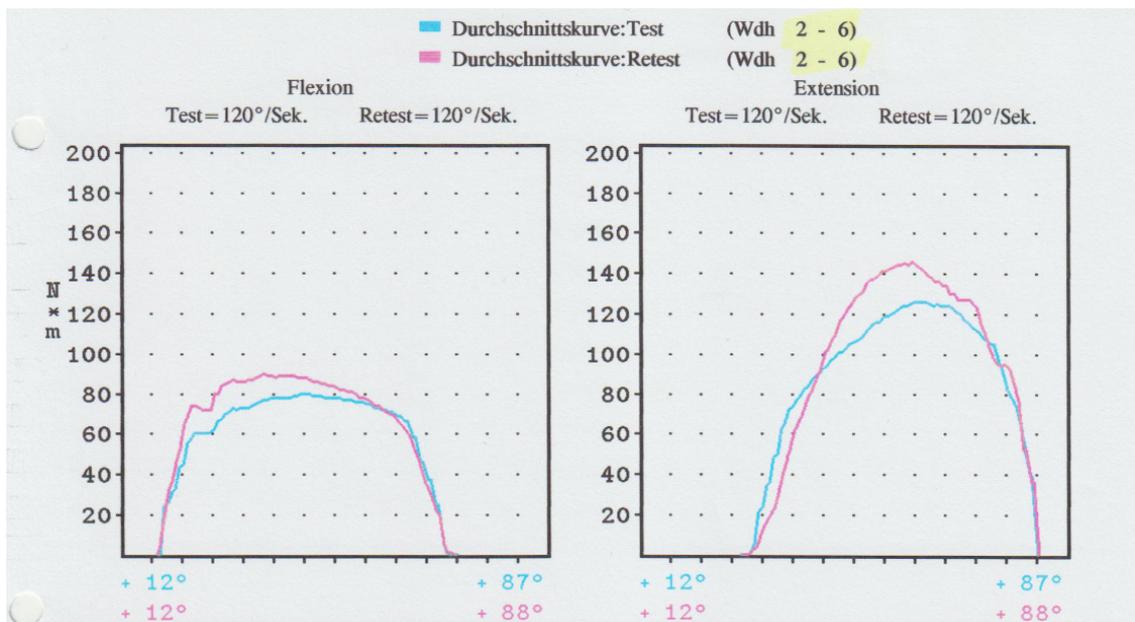


Abbildung 5: Darstellung der durchschnittlichen Messwerte aus den Wiederholungen 2-6 der isokinetischen Kraftmessung in Flexion und Extension bei 120°/s eines einzelnen Probanden (Proband 2, rechtes Bein)

Der gleiche Test diente der Erfassung der isokinetischen Kraftausdauer bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s. Bei dieser Messung wurden die Probanden angewiesen, bereits ab der ersten Wiederholung mit voller Kraft zu

agieren, sie sollten sich die Kraft nicht einteilen. Als Messergebnisse wurden die durchschnittlichen maximal erbrachten Drehmomente aus den Wiederholungen 19-24 notiert. Die Werte wurden getrennt für die Extension und die Flexion erhoben und sind in Abbildung 6 grafisch dargestellt.

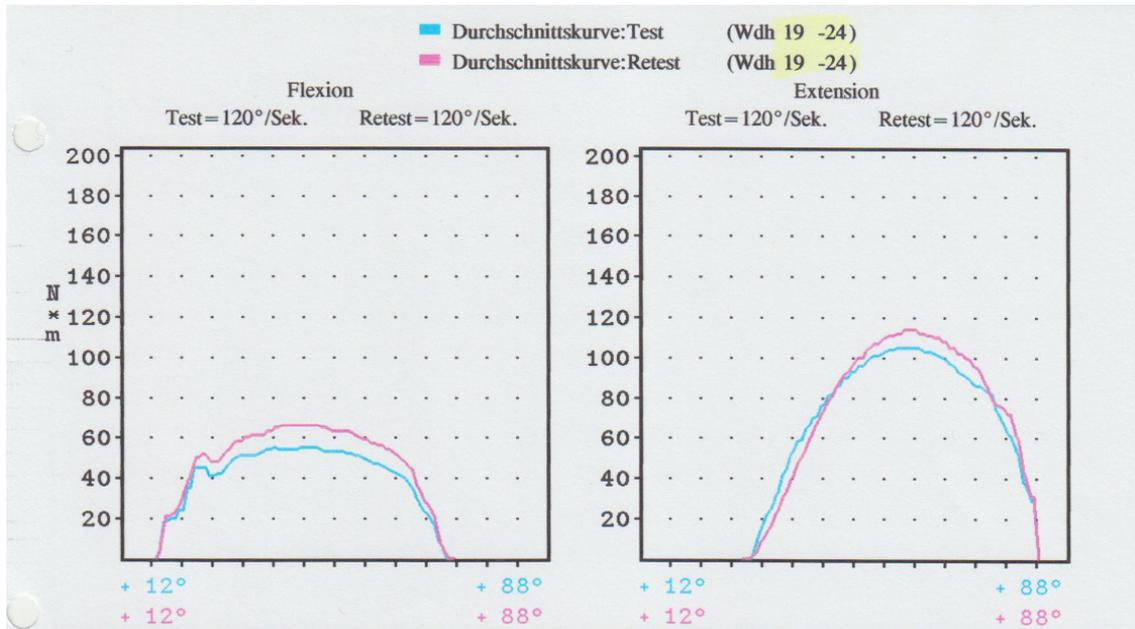


Abbildung 6: Darstellung der durchschnittlichen Messwerte aus den Wiederholungen 19-24 der isokinetischen Kraftmessung in Flexion und Extension bei 120°/s eines einzelnen Probanden (Proband 2, rechtes Bein)

2.4 Trainingsphase

Zwischen Pretest und Posttest lag die 10-wöchige Trainingsphase. Das Training fand in der Kraft- und Fitnesshalle des Sportinstitutes der Universität Tübingen statt. Die Teilnehmer trainierten 2-mal pro Woche und durften bei maximal 2 Einheiten fehlen. Die Trainingseinheiten wurden soweit als möglich gleichmäßig verteilt, so dass immer mindestens ein, besser aber 2-3 Regenerationstage zwischen den einzelnen Einheiten lagen.

2.4.1 Beschreibung der Trainingsgeräte

Bei den für das Training verwendeten Geräten handelte es sich um Beincurl-Geräte der Firma Schnell (86565 Gachenbach, Deutschland). Sowohl das Kraftgerät für das Extensorentraining (Abbildung 7) als auch jenes für das Flexorentraining (Abbildung 8) war so konstruiert, dass durch eine drehende Bewegung im Kniegelenk ein Hebelarm bewegt wurde. Dieser Hebelarm

beförderte das eingestellte Gewicht über einen Seilzug gegen die Schwerkraft nach oben.

Auf dem Kraftgerät zur Stärkung der Streckmuskulatur nahmen die Probanden eine sitzende Position ein. Das Kniegelenk wurde so positioniert, dass es sich in einer Achse mit dem Gelenk des Hebelarmes befand. Falls in dieser Sitzposition noch Luft zwischen der Rückenlehne und der Lendenwirbelsäule war, konnte die Rückenlehne durch Nachvorneschieben so angepasst werden, dass sie die Lendenwirbelsäule berührte.

Während der Übungen sollten die Probanden den Oberkörper ruhig halten. Sie wurden angewiesen, den Rücken angelehnt zu lassen und sich mit den Händen an den dafür vorgesehenen Griffen festzuhalten, die sich seitlich der Sitzfläche befanden. Am Hebelarm befand sich eine Schaumstoffrolle, welche in ihrer Höhe entlang des Hebelarmes verschoben werden konnte. Die Füße wurden hinter diese Rolle geklemmt. Anschließend wurde die Rolle in einer Position kurz über dem Fußgelenk fixiert. Nun konnte der Hebelarm mittels Bein Streckung aus der Senkrechten in eine fast waagerechte Position und zurück bewegt werden. Gleichzeitig wurden die an einem Seilzug hängenden Gewichte angehoben und wieder abgesenkt.

Ein ähnliches Gerät wurde für das Training der Beugemuskulatur verwendet. Hier nahmen die Probanden eine Position in Bauchlage mit leicht gewinkelter Hüfte ein. Der gesamte Oberkörper und die Oberschenkelvorderseite berührten die Unterlage. Für die Hände standen wiederum Griffe zur Verfügung. Durch das Festhalten an ihnen sollte die Position gesichert und Ausgleichsbewegungen reduziert werden. Das Kniegelenk wurde in einer Achse mit dem Gelenk des Hebelarmes positioniert. Auch dieser Hebelarm war mit einer verstellbaren Schaumstoffrolle versehen. Sie wurde kurz oberhalb der tastbaren Achillessehne positioniert und fixiert. Mittels Beinbeugung konnte der Hebelarm aus der waagerechten in eine senkrechte Position, beziehungsweise etwas darüber hinaus, bewegt werden. Dabei wurde wiederum gegen den Widerstand von Gewichten, die an einem Seilzug hingen, gearbeitet.



Abbildung 7: Trainingsgerät für das Krafttraining der Streckmuskulatur



Abbildung 8: Trainingsgerät für das Krafttraining der Beugemuskulatur

2.4.2 Okklusionsdruck und Intensität

Es wurde einheitlich für alle Probanden das rechte Bein als Versuchsbein und das linke als Kontrollbein festgelegt. Das rechte Bein trainierte unter einem Okklusionsdruck, der mittels einer Blutdruckmanschette angelegt wurde. Es wurden hierfür 2 verschiedene Manschetten verwendet: Eine der Firma MDF Instruments (Agoura Hills CA, USA), welche für Oberschenkelumfänge von 40,6 cm bis 66,0 cm vorgesehen war und eine der Firma WelchAllyn (72417 Jungingen, Deutschland), die für Umfänge von 41,0 cm bis 60,0 geeignet war. Der Okklusionsdruck betrug bei der ersten Trainingseinheit 60 mmHg, bei der zweiten 80 mmHg und ab der dritten und für alle folgenden Einheiten 100 mmHg. Diese Steigerungsform wurde im Sinne der Probanden gewählt, um ihnen die Möglichkeit zu geben, sich etwas an das unangenehme Gefühl und den Schmerz der Kompression zu gewöhnen. Das Anlegen eines Drucks über 100 mmHg wurde vermieden, um keine allzu großen Schmerzen auszulösen. Die Okklusionsmanschette wurde unmittelbar vor Beginn der Übungen am ersten Gerät angelegt und aufgepumpt. Der Okklusionsdruck wurde während der Durchführung der Übungen überwacht und auch beim Gerätewechsel nicht gelöst. Erst nach Absolvierung aller 3 Sätze pro Bein an beiden Geräten wurde die Luft aus der Manschette abgelassen und diese abgenommen. Die Intensität lag bei beiden Übungen und für beide Beine bei 40% des Einwiederholungsmaximums (1-RM). Am Tag der ersten Krafttrainingseinheit wurde durch Ausprobieren das für jeden Probanden individuelle Gewicht, mit dem 7-10 Wiederholungen gerade bewältigt werden konnten (7-10-RM), für Extensions- und Flexionsübung ermittelt. Über das ermittelte 7-10-RM wurde das 1-RM auf Grundlage der Formel nach McArdle (29) berechnet.

Nach McArdle gilt für Untrainierte: $1\text{-RM (kg)} = 1,554 * 7\text{-}10\text{-RM (kg)} - 5,181$

Und für Trainierte: $1\text{-RM (kg)} = 1,172 * 7\text{-}10\text{-RM (kg)} + 7,704$

Nach Auswertung der Fragebögen über die sportliche Betätigung im Alltag legte die Versuchsleiterin fest, welche der Formeln verwendet wurde. Lediglich 2

Probanden (Proband 2 und Proband 7) wurden als „trainiert“ eingeschätzt, alle anderen 15 Probanden wurden als „untrainiert“ bewertet.

Das durch Ausprobieren herausgefundene 7-10-RM lag bei durchschnittlich $25 \pm 3,5$ kg (21-32 kg) bei der Extension und $26 \pm 7,5$ kg (17-47 kg) bei der Flexion. Für die Extension lag das berechnete 1-RM durchschnittlich bei $33 \pm 5,7$ kg (27-45 kg) und für die Flexion bei $34 \pm 10,9$ kg (21-63 kg). Das Trainingsgewicht lag bei durchschnittlich $13,4 \pm 2,2$ kg (11-18 kg) für die Extensionsübung und $13,8 \pm 4,4$ kg (8-25 kg) für die Flexionsübung. Die Intensität von 40% des 1-RM wurde über den gesamten Trainingszeitraum hinweg beibehalten.

2.4.3 Ablauf einer einzelnen Trainingseinheit

Der Ablauf einer Trainingseinheit sah folgendermaßen aus: Das 5-10-minütige Aufwärmen erfolgte wahlweise durch leichtes Joggen oder die Benutzung eines Fahrradergometers. Anschließend wurden die Übungen zur Stärkung der Beinbeuger und Beinstrecker an den 2 beschriebenen Kraftgeräten der Firma Schnell durchgeführt. An beiden Geräten wurden pro Bein 3-mal 20 Wiederholungen durchgeführt. Eine Wiederholung bestand aus einer vollständigen hin und her Bewegung des Hebelarmes mit Winkeldifferenzen im Kniegelenk von etwa 90° . 20 Wiederholungen mit einem Bein sollten in etwa einer Minute absolviert werden. Längere Pausen zwischen den Sätzen waren nicht notwendig, da die Sätze abwechselnd mit dem rechten und linken Bein durchgeführt wurden. Ein Bein ruhte somit immer. Nach Beendigung der Übungen am ersten Gerät wurden die Übungen am zweiten Gerät ohne längere Pause angeschlossen.

2.4.4 Datenerhebung während den Trainingseinheiten

Die Probanden sollten direkt nach dem Krafttraining ihr subjektives Belastungs- und Schmerzempfinden zum Ausdruck bringen. Dazu wurden 2 verschiedene Tabellen herangezogen. Für das Belastungsempfinden wurde die Skala nach Borg (Tabelle 2) (4) gewählt. Hier werden den Werten 6-20 verschiedene Belastungen zugeordnet, wobei 6 gar keiner Belastung und 20 einer zu schweren, unerträglichen Belastung entspricht. Die Übungen zur Stärkung der Extensoren und Flexoren wurden getrennt voneinander bewertet, genauso das Versuchs- und Kontrollbein. Somit wurden von jedem Probanden nach jedem Training 4 Borg-Werte angegeben: Die Anstrengung der Extensionsübung rechts, die Anstrengung der Extensionsübung links, die Anstrengung der Flexionsübung rechts und die Anstrengung der Flexionsübung links. Die so erhobenen Daten dienten dazu, zu schwere Belastungen zu erkennen und im Bedarfsfall das Trainingsgewicht neu anzupassen. Außerdem wurden die Daten später statistisch ausgewertet.

WERT	BELASTUNGSEMPFINDUNG
6	gar keine Belastung
7	sehr sehr leichte Belastung
8	
9	sehr leichte Belastung
10	
11	leichte Belastung
12	
13	etwas anstrengend
14	anstrengend
15	schwere Belastung
16	
17	sehr schwere Belastung
18	
19	sehr sehr schwere Belastung
20	zu schwere Belastung, unerträglich

Tabelle 2: BORG-SKALA zur Erfassung der subjektiven Belastungsempfindung während des Krafttrainings (4)

Für die Beschreibung des Schmerzempfindens wurde eine Tabelle (Tabelle 3), ähnlich der numerischen Rating-Skala (NRS) (3), mit Werten von 1-10 genutzt. Dabei bedeutete 1 „beschwerdefrei“ und 10 „unerträglicher Schmerz“. Wiederum wurden beide Übungen und Beine getrennt voneinander bewertet und folgende 4 Schmerz-Werte notiert: Der Schmerz während der Extensionsübung rechts, der Schmerz während der Extensionsübung links, der Schmerz während der Flexionsübung rechts und der Schmerz während der Flexionsübung links. Später wurden auch die Angaben der Probanden zu ihrem subjektiven Schmerzempfinden statistisch ausgewertet.

WERT	SCHMERZEMPFINDUNG
1	beschwerdefrei
2	gerade wahrnehmbarer Schmerz
3	sehr leichter Schmerz
4	leichter Schmerz
5	leicht bis mäßiger Schmerz
6	mäßiger Schmerz
7	starker Schmerz
8	sehr starker Schmerz
9	gerade noch erträglicher Schmerz
10	unerträglicher Schmerz

Tabelle 3: SCHMERZ-SKALA, adaptiert nach der numerischen Rating-Skala (3), zur Erfassung der individuellen, subjektiven Schmerzempfindung während des Krafttrainings

2.5 Statistik

Die Datenauswertung erfolgte mit Hilfe der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 21. Das Basismodul des Programmpakets ermöglicht neben dem Datenmanagement, das die Grundlage der Datenauswertung darstellt, Datenanalysen in grafischer und statistischer Form. Zur rein deskriptiven Auswertung von Daten wurde die Funktion „Explorative Datenanalyse“ verwendet. Hiermit konnten Diagramme erstellt sowie Mittelwerte, Standardabweichungen (Stabw), Minimal- und Maximalwerte ermittelt werden. Weiter wurde der T-Test für verbundene Stichproben verwendet. Da in der Studie das Versuchs- und das Kontrollbein zu ein und derselben Person gehörten, spricht man von einer verbundenen Stichprobe. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt. Es wurde bei den Parametern, welche mittels T-Test ausgewertet wurden, immer ein Test auf Unterschied durchgeführt.

Die Nullhypothese lautete folglich: „Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den verglichenen Werten“. Die Alternativhypothese lautete dagegen: „Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den verglichenen Werten.“ Wenn die Signifikanz p bei dem T-Test nun einen Wert von unter 0,05 annahm, bedeutete dies, dass bei der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese anerkannt werden kann. Zur genaueren Beurteilung der Signifikanz können den mittels T-Test ermittelten Signifikanzwerten, nach Bühl und Zöfel (2005) (5), verschiedene Signifikanzniveaus zugeordnet werden:

- $p > 0,05$ bedeutet nicht signifikant
- $p < 0,05$ bedeutet signifikant
- $p < 0,01$ bedeutet sehr signifikant
- $p < 0,001$ bedeutet höchst signifikant.

Folgende Daten, die jeweils als Pretest-Wert und als Posttest-Wert vorliegen, wurden statistisch ausgewertet: Die isometrischen Maximalkraftmessungen, die isokinetischen Maximalkraftmessungen bei 60% und 120% und die

isokinetischen Kraftausdauermessungen jeweils in Extension und Flexion. Hinzu kamen die Messungen der Hautfalte an der Oberschenkelvorderseite und des Umfangs an zwei Stellen des Oberschenkels.

Bei den isometrischen Maximalkraftmessungen wurde der jeweils beste Versuch aus drei Wiederholungen als Messergebnis verwendet. Bei der isokinetischen Messung mit einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s wurden drei Wiederholungen durchgeführt und der Mittelwert aus den beiden besseren Wiederholungen gebildet. Bei der Kraftmessung mit einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s wurden die Wiederholungen 2-6 gemittelt und als Wert der Maximalkraft bei 120°/s definiert. Zur Ermittlung der Kraftausdauer wurden die Wiederholungen 19-24 desselben Tests gemittelt.

Alle Messergebnisse der Krafttests wurden auf ganze Newtonmeter (Nm) gerundet. Die Nebenbefunde lagen bereits als Zahlenwerte vor, die direkt für die Auswertung übernommen wurden: Die Hautfaltendicke wurde in Millimeter und die Oberschenkelumfänge auf halbe Zentimeter gerundet angegeben.

Zunächst wurde bei allen Ergebnissen der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, um festzustellen ob eine Normalverteilung vorliegt. Anschließend wurde mittels T-Test für gepaarte Stichproben geprüft, ob es signifikante Unterschiede der Messergebnisse des Pretests und des Posttests gab. Dabei wurden die Pre- und Posttestergebnisse für Versuchsbein und Kontrollbein zunächst getrennt voneinander ausgewertet. Anschließend wurden die Differenzen der Pre- und Posttestergebnisse für jeden einzelnen Test gebildet. Ein weiteres Mal wurde der T-Test für gepaarte Stichproben angewendet, um signifikante Unterschiede der Pre-Posttest-Differenzen zwischen dem Versuchs- und Kontrollbein nachzuweisen.

Wenn der Shapiro-Wilk-Test Signifikanzwerte über 0,05 lieferte, lag eine Normalverteilung vor. Bei Signifikanzwerten unter 0,05 konnte dagegen nicht sicher von einer Normalverteilung der Untersuchungsergebnisse ausgegangen werden. Obwohl dann die Bedingung für einen T-Test für verbundene Stichproben eigentlich nicht erfüllt war, wurde dieser trotzdem durchgeführt, um eine einheitliche Vorgehensweise bei der Auswertung aller Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten. Die Ergebnisse der T-Tests für

verbundene Stichproben, welche unter fraglichen Bedingungen durchgeführt wurden, wurden anschließend mit Hilfe des Wilcoxon-Tests überprüft. Der Wilcoxon-Test ist eine alternative, nicht parametrische Methode des T-Tests. Seine Anwendung erfordert keine bestimmte Verteilung.

Des Weiteren wurden die Angaben der Probanden zur Schmerzempfindung und die Angaben auf der Borg-Skala (Belastungsempfinden) während des Trainings zunächst deskriptiv ausgewertet. Anschließend wurde auch hier überprüft, ob es signifikante Veränderungen des Schmerz- und Belastungsempfindens über den gesamten Trainingszeitraum gab und ob Unterschiede in der Wahrnehmung zwischen Versuchs- und Kontrollbein vorlagen. Da die Werte, vor allem beim linken Bein, weit von einer Normalverteilung abwichen wurde zur Auswertung der Schmerz- und Belastungsparameter ausschließlich der Wilcoxon-Test angewendet.

3. Ergebnisse

Insgesamt absolvierten 2 Probanden alle 20 Trainingseinheiten, 11 Probanden nahmen 19-mal und 4 Probanden 18-mal am Training teil. Im Durchschnitt wurde also 18,88-mal trainiert. Die Compliance war mit 94% zufriedenstellend. Die Anthropometrie beinhaltet die Ergebnisse der Messungen der Hautfaltendicke sowie die Ergebnisse der Messungen des Oberschenkelumfangs 10 cm beziehungsweise 20 cm über der Patellaoberkante. Die Kraftveränderungen beinhalten die Ergebnisse der isometrischen sowie isokinetischen Maximalkrafttests und die Ergebnisse des isokinetischen Kraftausdauertests. Es folgt dann die Auswertung der Schmerzparameter und der Borg-Skala.

3.1 Anthropometrie

Die Messung der Hautfaltendicke lieferte folgende Ergebnisse, die in Tabelle 4 zusammengefasst sind: Beim Versuchsbein wurden beim Pretest Werte von durchschnittlich $13,7 \pm 3,66$ mm (7-22 mm) gemessen. Beim Posttest lag der Durchschnittswert bei $12,5 \pm 3,74$ mm (7-21 mm). Die Verringerung betrug 1,21 mm ($p < 0,001$).

Beim Kontrollbein wurden beim Pretest Hautfaltendicken von durchschnittlich $14,8 \pm 4,12$ mm (8-24 mm) gemessen. Beim Posttest lag der Wert bei $13,4 \pm 4,03$ mm (8-24 mm). Die Verringerung betrug im Mittel 1,41 mm ($p = 0,001$).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 grafisch dargestellt.

Hautfaltendicke [mm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	13,7	14,8	3,66	4,12
Posttest	12,5	13,4	3,74	4,03
Änderung	-1,21	-1,41		
Prozentuelle Differenz	-8,8%	-9,6%		
Signifikanz p	< 0,001	= 0,001		
	> 0,05			

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Hautfaltenmessung

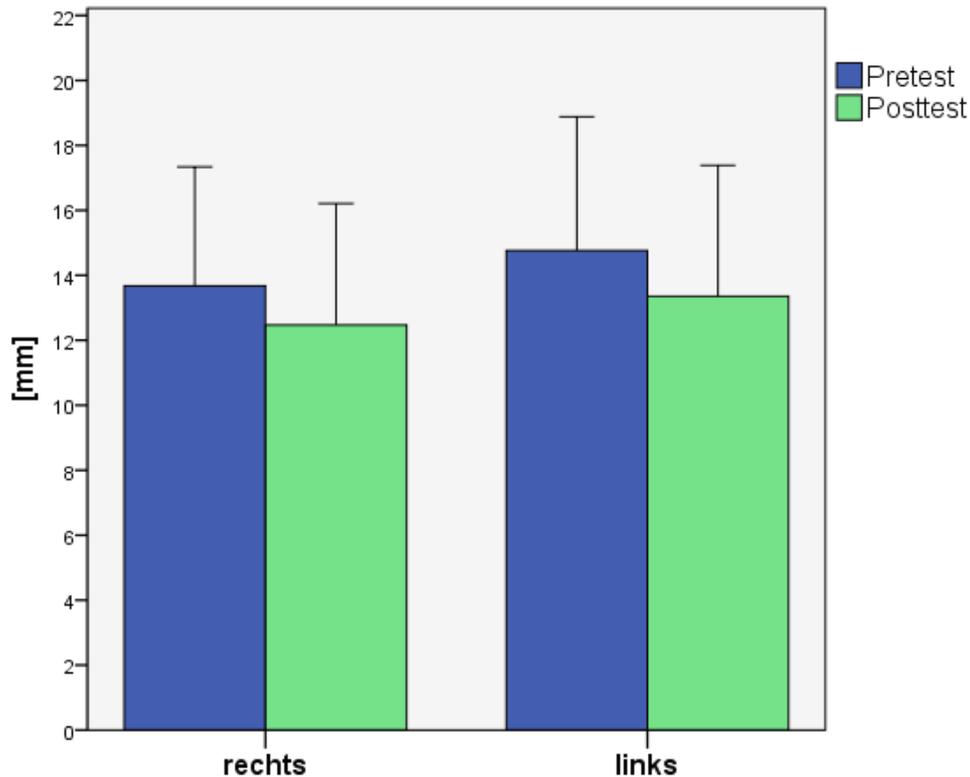


Abbildung 9: Pretest-Posttest-Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Hautfaldendicken am Oberschenkel

Die Messung des Oberschenkelumfangs 10 cm über der Patellaoberkante lieferte die Ergebnisse, die in Tabelle 5 zusammengefasst wurden: Beim Pretest lag der Mittelwert am Versuchsbein bei $45,1 \pm 3,10$ cm (41,0-51,0 cm). Beim Posttest steigerte sich der Mittelwert auf $45,6 \pm 3,38$ cm (41,0-51,0 cm). Im Mittel lag ein Zuwachs um 0,50 cm vor ($p < 0,05$).

Der Pretest des Kontrollbeins lieferte Werte von $45,4 \pm 3,04$ cm (41,0-52,0 cm). Beim Posttest lagen die Umfänge bei $45,5 \pm 3,22$ cm (40,0-50,5 cm). Im Mittel betrug der Zuwachs 0,12 cm ($p > 0,05$).

Es wurde außerdem die mittlere Differenz zwischen Pre- und Posttest beim Versuchsbein (0,50 cm) mit der mittleren Differenz beim Kontrollbein (0,12 cm) verglichen und ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 grafisch dargestellt.

Oberschenkelumfang [cm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	45,1	45,4	3,10	3,04
Posttest	45,6	45,5	3,22	3,22
Änderung	0,50	0,12		
Prozentuelle Differenz	1,1%	0,3%		
Signifikanz p	< 0,05	> 0,05		
	< 0,05			

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Oberschenkelumfangsmessung 10 cm über der Patellaoberkante

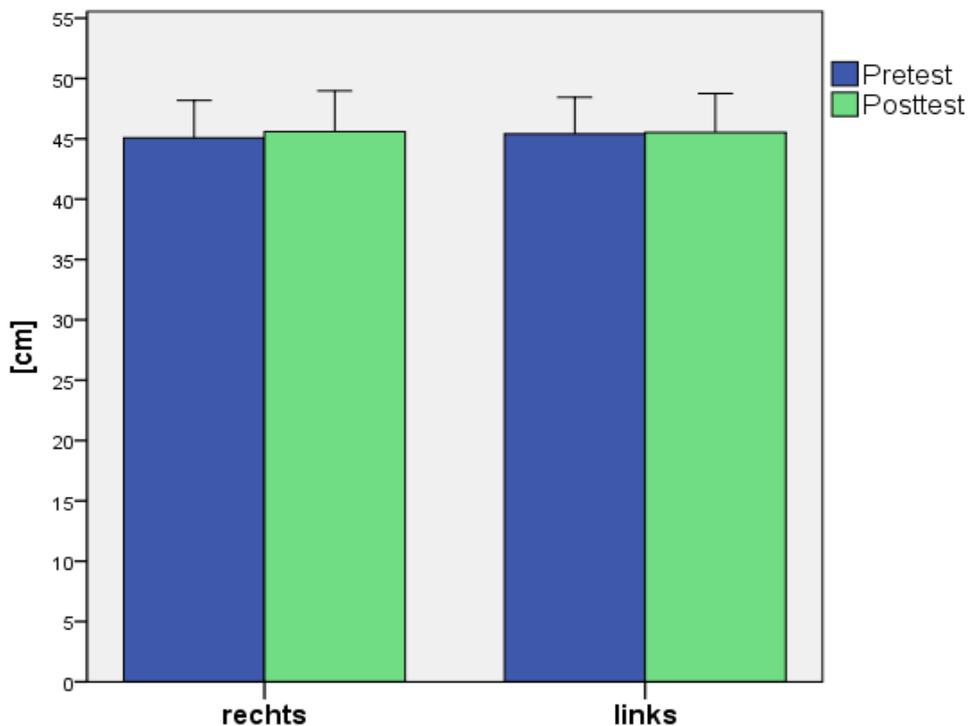


Abbildung 10: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Oberschenkelumfänge 10 cm über der Patellaoberkante in cm

Für den Oberschenkelumfang 20 cm über der Patellaoberkante wurden folgende, in Tabelle 6 zusammengefasste Daten erhoben: Beim Pretest des Versuchsbeins lag der Mittelwert bei $53,4 \pm 3,59$ cm. (49,0-60,0 cm). Beim Posttest steigerte sich der Mittelwert auf $54,0 \pm 4,02$ cm (49,0-60,0 cm). Der Zuwachs betrug 0,56 cm ($p > 0,05$).

Beim Pretest des Kontrollbeines wurden Werte von $53,3 \pm 3,73$ cm (48,0-62,0 cm) gemessen. Beim Posttest steigerten sich die Umfänge signifikant um 0,59 cm auf $53,9 \pm 3,57$ cm (48,5-60,5 cm) ($p < 0,05$).

Der Unterschied zwischen den Veränderungen rechts und links war nicht signifikant ($p > 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 grafisch dargestellt.

Oberschenkelumfang [cm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	53,4	53,3	3,59	3,73
Posttest	54,0	53,9	4,02	3,57
Änderung	0,56	0,59		
Prozentuelle Differenz	1,0%	1,1%		
Signifikanz p	> 0,05	< 0,05		
	> 0,05			

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse der Oberschenkelumfangsmessung 20 cm über der Patellaoberkante

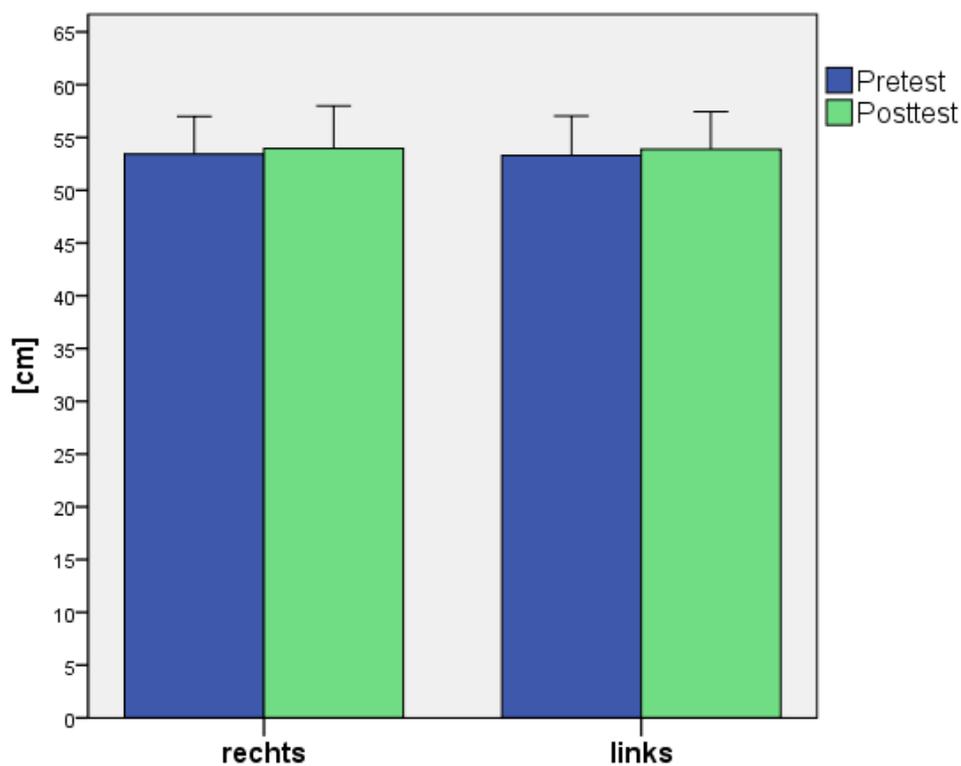


Abbildung 11: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Oberschenkelumfänge 20 cm über der Patellaoberkante

3.2 Kraftveränderungen

Zunächst werden die Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftmessungen getrennt voneinander für die Extension und die Flexion dargestellt. Anschließend wird genauso mit den Ergebnissen der isokinetischen Maximalkraftmessungen und denen der isokinetischen Kraftausdauer verfahren.

3.2.1 Isometrie

Durchschnittlich wurden bei der isometrischen Extension beim Pretest Drehmomente von $250 \pm 44,5$ Nm (183-352 Nm) mit dem rechten Bein erreicht. Beim Posttest lagen die Durchschnittswerte bei $257 \pm 39,7$ Nm (186-333 Nm). Die Verbesserung lag bei 7,53 Nm ($p > 0,05$).

Das linke Bein erreichte $232 \pm 39,2$ Nm (168-315 Nm) beim Pretest und $241 \pm 38,5$ Nm (151-307 Nm) beim Posttest. Die mittlere Verbesserung betrug 9,59 Nm ($p > 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst und in Abbildung 12 und Abbildung 13 grafisch dargestellt.

Isometrie Extension [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	250	232	44,5	39,2
Posttest	257	241	39,7	38,5
Änderung	7,53	9,59		
Prozentuelle Differenz	3,0%	4,1%		
Signifikanz p	> 0,05	> 0,05		
	> 0,05			

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftmessung in Extension

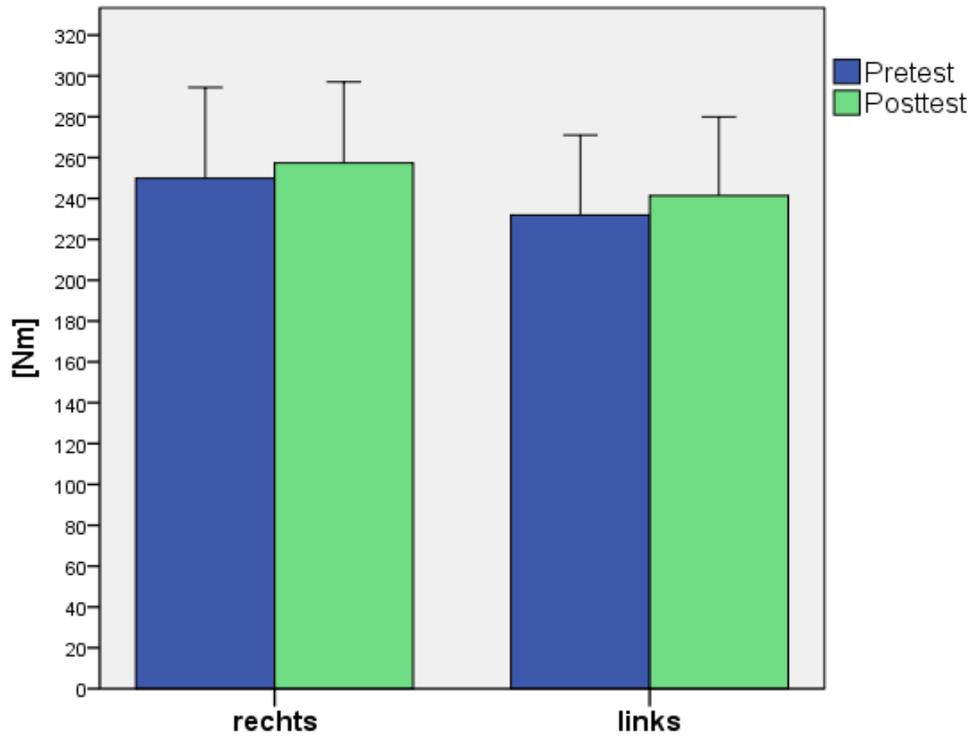


Abbildung 12: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isometrischen Maximalkraftwerte bei der Extension

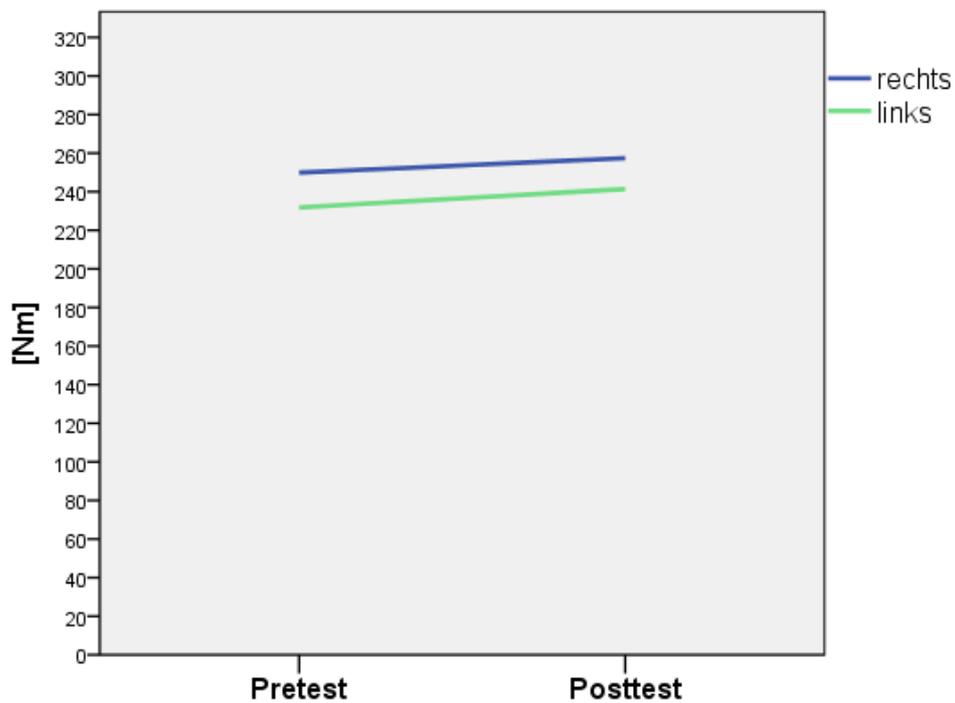


Abbildung 13: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isometrischen Maximalkraftwerte bei der Extension

Bei der Flexion wurden für das Versuchsbein beim Pretest Drehmomente von durchschnittlich $127 \pm 26,7$ Nm (90-198 Nm) gemessen. Beim Posttest lag der Durchschnittswert bei $140 \pm 30,4$ Nm (94-213 Nm). Die Verbesserung betrug im Mittel 13,1 Nm ($p < 0,001$).

Beim Kontrollbein wurden beim Pretest Drehmomente von $129 \pm 24,8$ Nm (96-189 Nm) und beim Posttest Werte von $137 \pm 26,0$ Nm (100-211 Nm) gemessen. Die Verbesserung betrug im Mittel 7,88 Nm ($p < 0,01$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst und in Abbildung 14 und Abbildung 15 grafisch dargestellt.

Isometrie Flexion [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	127	129	26,7	24,8
Posttest	140	137	30,4	26,0
Änderung	13,1	7,88		
Prozentuelle Differenz	10,3%	6,1%		
Signifikanz p	< 0,001	< 0,01		
	> 0,05			

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftmessung in Flexion

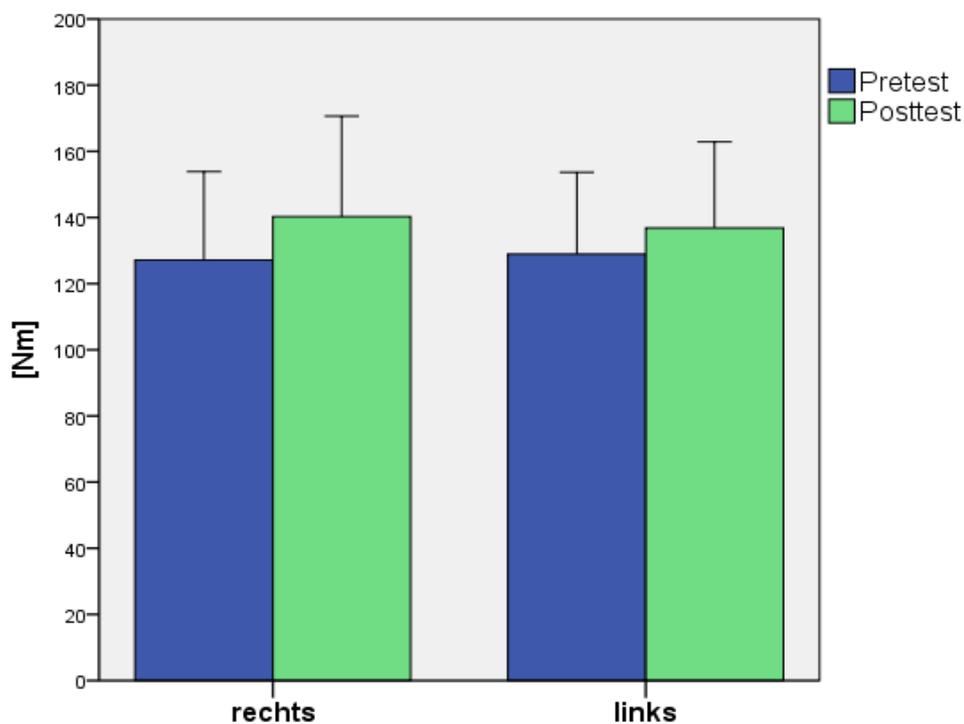


Abbildung 14: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isometrischen Maximalkraftwerte bei der Flexion

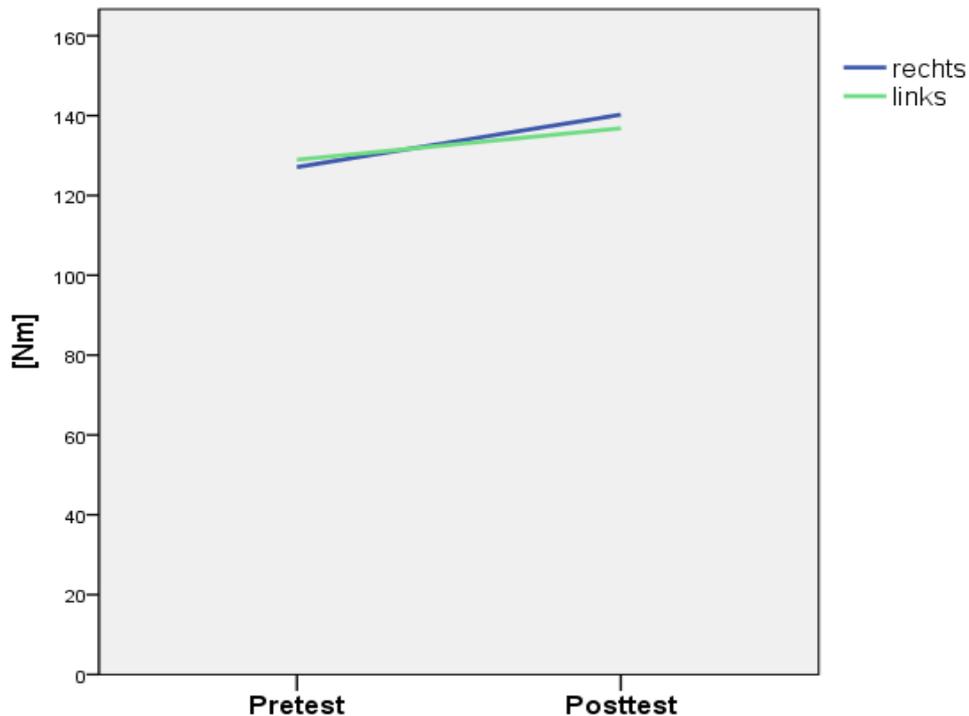


Abbildung 15: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isometrischen Maximalkraftwerte bei der Flexion

3.2.2 Isokinetische Maximalkraft

Bei der Messung der isokinetischen Maximalkraft in Extension bei 60%/s wurden mit dem rechten Bein durchschnittliche Drehmomente von $181 \pm 38,7$ Nm (117-259 Nm) erreicht. Beim Posttest lag der Durchschnittswert bei $197 \pm 38,8$ Nm (131-272 Nm). Die Verbesserung betrug 15,7 Nm ($p = 0,001$).

Das linke Bein erreichte $171 \pm 36,1$ Nm (121-247 Nm) beim Pretest und $188 \pm 32,1$ Nm (140-244 Nm) beim Posttest. Die mittlere Steigerung betrug 17,9 Nm ($p < 0,001$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefasst und in Abbildung 16 und Abbildung 17 grafisch dargestellt.

Maximalkraft 60%/s Extension [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	181	171	38,7	36,1
Posttest	197	188	38,8	32,1
Änderung	15,7	17,9		
Prozentuelle Differenz	8,6%	10,5%		
Signifikanz p	= 0,001	< 0,001		
		> 0,05		

Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Maximalkraftmessung bei 60%/s in Extension

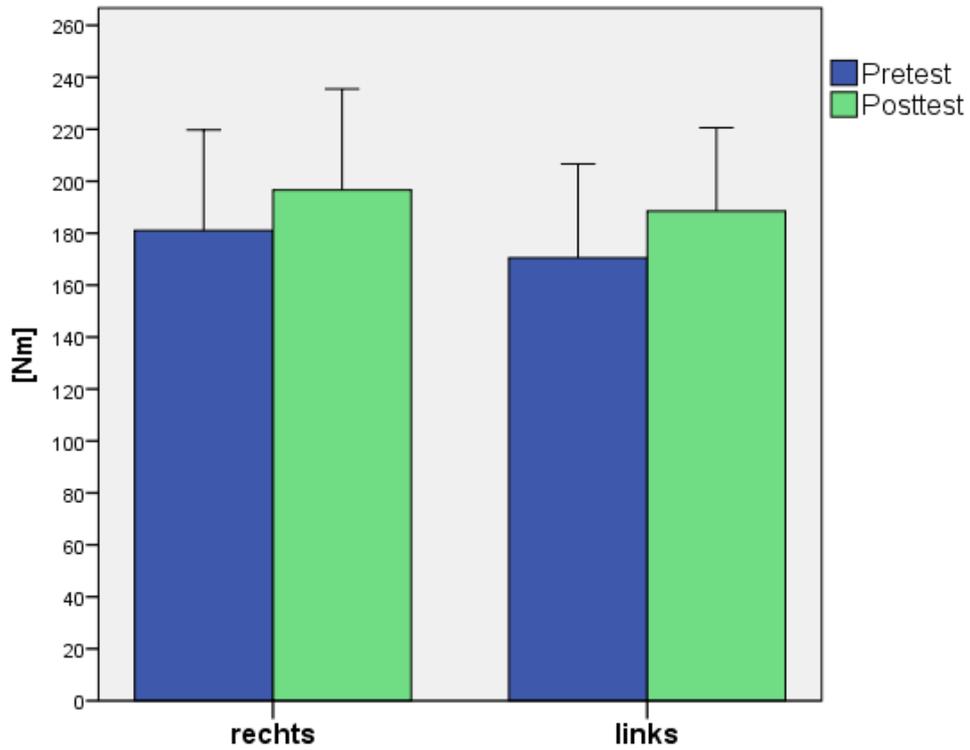


Abbildung 16: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Maximalkraft bei 60% in Extension

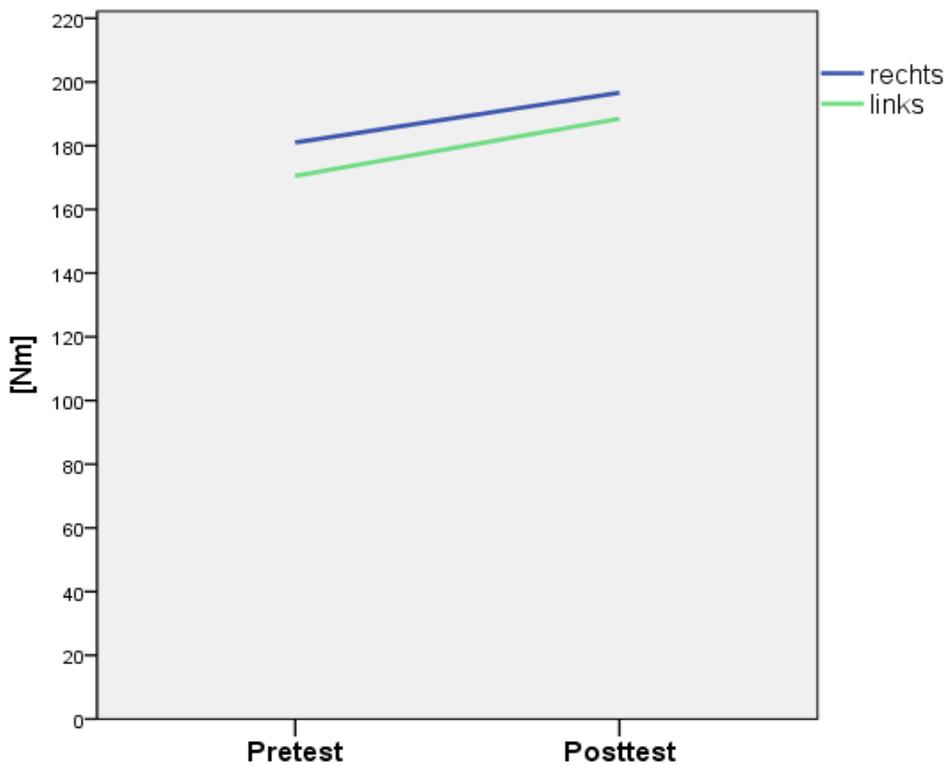


Abbildung 17: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Maximalkraft bei 60% in Extension

Bei der Flexion erreichte das Versuchsbein beim Pretest $99,3 \pm 15,2$ Nm (69-127 Nm). Beim Posttest wurden durchschnittlich $111 \pm 18,2$ Nm (79-139) erreicht. Im Mittel betrug die Verbesserung 12,1 Nm ($p < 0,001$).

Mit dem Kontrollbein wurden beim Pretest durchschnittlich $94,6 \pm 18,0$ Nm (71-137 Nm) und beim Posttest $106 \pm 15,2$ Nm (74-135 Nm) erreicht. Im Mittel verbesserten sich die Probanden um 11,7 Nm ($p = 0,001$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefasst und in Abbildung 18 und Abbildung 19 grafisch dargestellt.

Maximalkraft 60%/s Flexion [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	99,3	94,6	15,2	18,0
Posttest	111	106	18,2	15,2
Änderung	12,1	11,7		
Prozentuelle Differenz	12,2%	12,4%		
Signifikanz p	< 0,001	= 0,001		
	> 0,05			

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Maximalkraftmessung bei 60%/s in Flexion

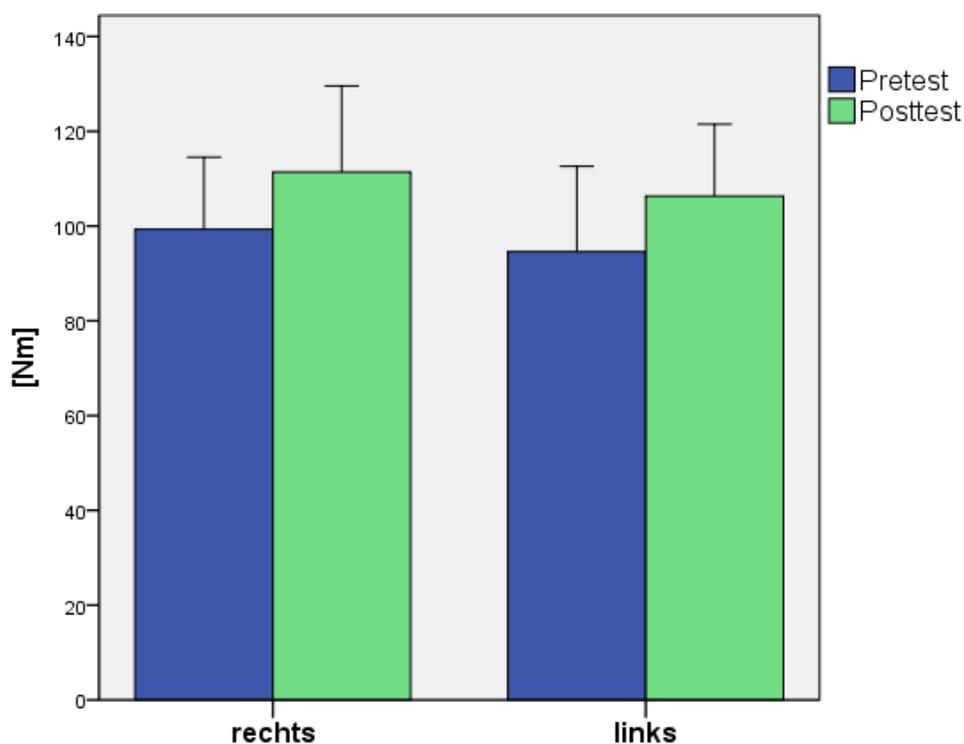


Abbildung 18: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Maximalkraft bei 60%/s in Flexion

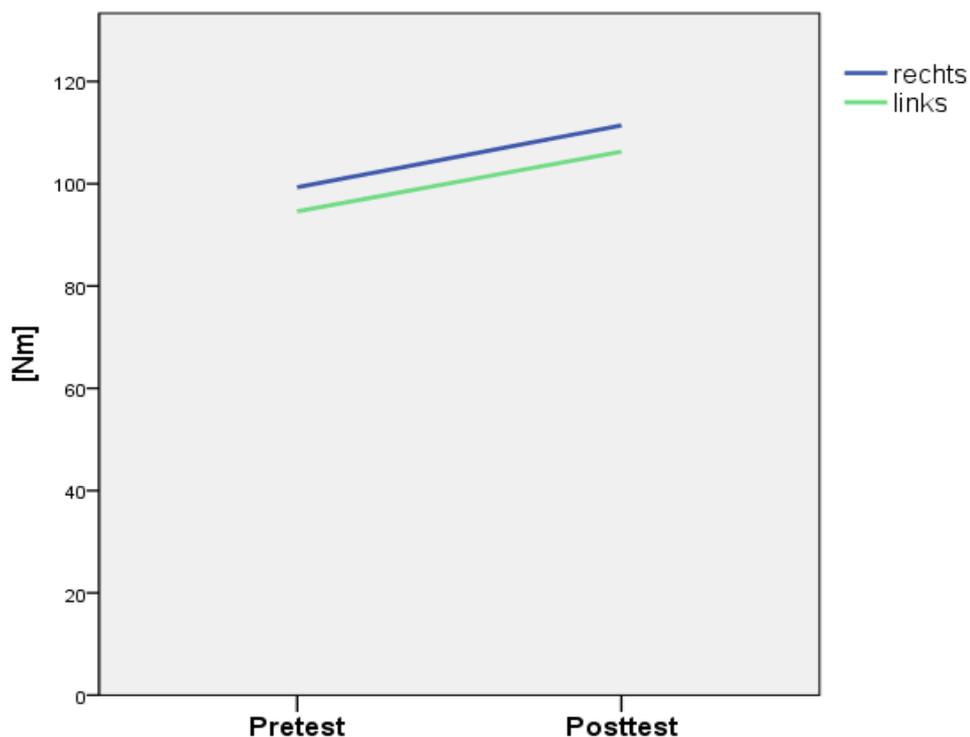


Abbildung 19: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Maximalkraft bei 60°s in Flexion

Bei der Maximalkraft in Extension bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s erreichte das Versuchsbein beim Pretest $137 \pm 30,2$ Nm (87-192 Nm). Beim Posttest steigerte sich der Mittelwert um 9,83 Nm auf $147 \pm 30,7$ Nm. (99-208 Nm) ($p < 0,01$).

Beim Kontrollbein wurden beim Pretest durchschnittlich $130 \pm 32,3$ Nm (81-192 Nm) und beim Posttest $140 \pm 25,6$ (106-204 Nm) gemessen. Im Mittel betrug der Kraftzuwachs 10,1 Nm ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengefasst und in Abbildung 20 und Abbildung 21 grafisch dargestellt.

Maximalkraft 120°/s Extension [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	137	130	30,2	32,3
Posttest	147	140	30,7	25,6
Änderung	9,83	10,1		
Prozentuelle Differenz	7,2%	7,8%		
Signifikanz p	< 0,01	< 0,05		
		> 0,05		

Tabelle 11: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Maximalkraftmessung bei 120°/s in Extension

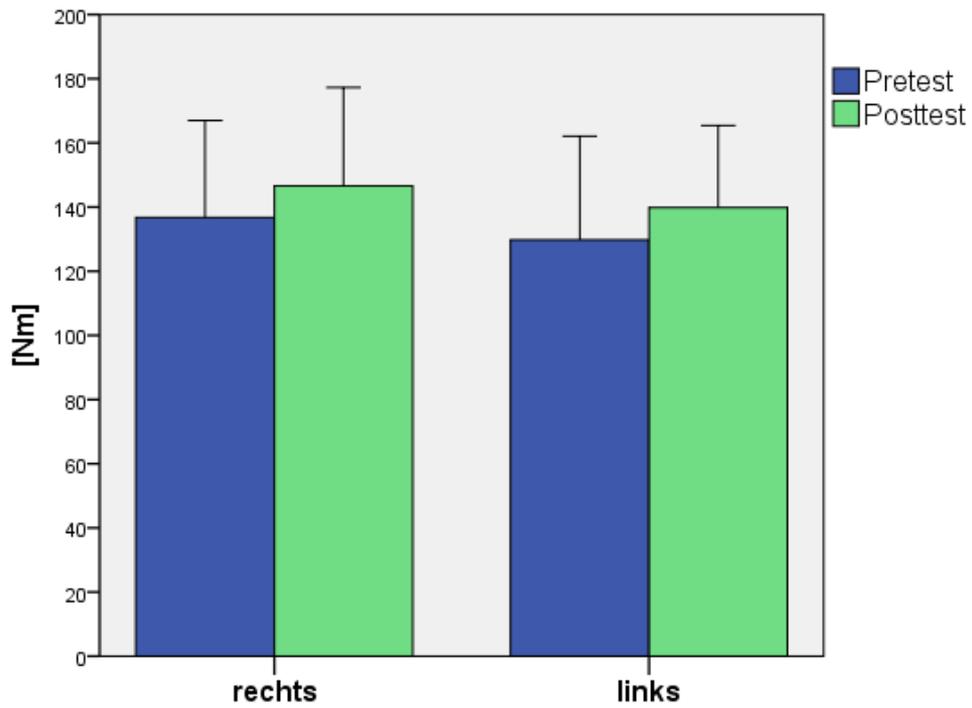


Abbildung 20: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Maximalkraft bei 120°/s in Extension

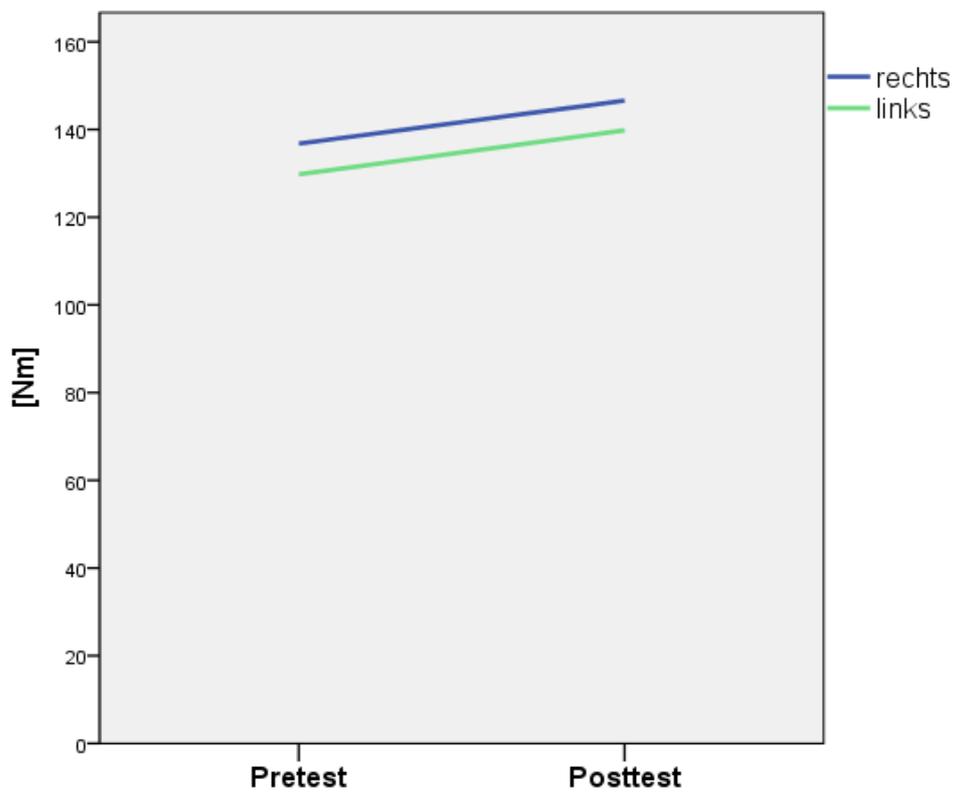


Abbildung 21: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Maximalkraft bei 120°/s in Extension

Beim Pretest der Flexion wurden beim Versuchsbein durchschnittlich $76,8 \pm 16,1$ Nm (42-97 Nm) und beim Posttest $86,8 \pm 16,4$ Nm (57-109 Nm) gemessen. Die Verbesserung betrug im Mittel 10,0 Nm ($p < 0,001$).

Beim Kontrollbein wurden beim Pretest durchschnittlich $75,2 \pm 17,1$ Nm (40-103 Nm) und beim Posttest $82,1 \pm 11,8$ Nm (61-103 Nm) erreicht. Die Verbesserung betrug im Mittel 6,88 Nm ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst und in Abbildung 22 und Abbildung 23 grafisch dargestellt.

Maximalkraft 120°s Flexion [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	76,8	75,2	16,1	17,1
Posttest	86,8	82,1	16,4	11,8
Änderung	10,0	6,88		
Prozentuelle Differenz	13,0%	9,1%		
Signifikanz p	< 0,001	< 0,05		
	> 0,05			

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Maximalkraftmessung bei 120°s in Flexion

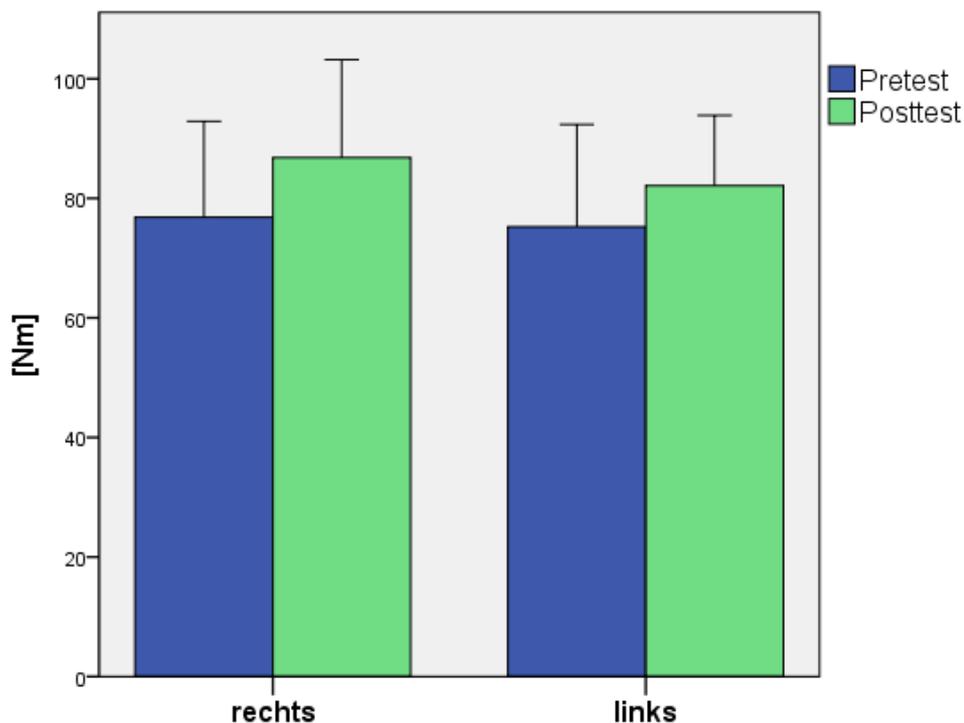


Abbildung 22: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Maximalkraft bei 120°s in Flexion

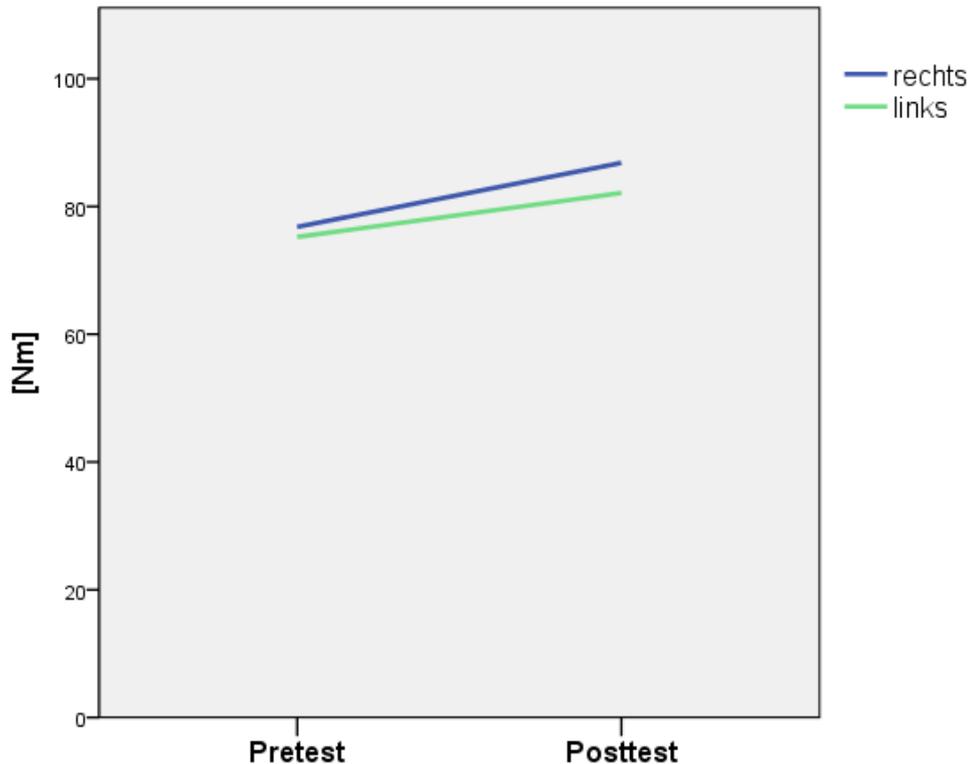


Abbildung 23: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Maximalkraft bei 120°/s in Flexion

3.2.3 Isokinetische Kraftausdauer

Beim Pretest wurden mit dem rechten Bein in Extension Kraftausdauerwerte von $109 \pm 22,6$ Nm (82-156 Nm) erreicht. Beim Posttest steigerte sich der Wert um 7,76 Nm auf $116 \pm 21,5$ Nm (87-156 Nm) ($p < 0,01$).

Das Kontrollbein erreichte beim Pretest $101 \pm 23,7$ Nm (75-153 Nm) und beim Posttest $112 \pm 21,4$ Nm (85-153 Nm). Die Verbesserung betrug 10,3 Nm ($p = 0,001$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst und in Abbildung 24 und Abbildung 25 grafisch dargestellt.

Kraftausdauer Extension [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	109	101	22,6	23,7
Posttest	116	112	21,5	21,4
Änderung	7,76	10,3		
Prozentuelle Differenz	7,1%	10,1%		
Signifikanz p	< 0,01	= 0,001		
> 0,05				

Tabelle 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Kraftausdauer-messung bei 120°/s in Extension

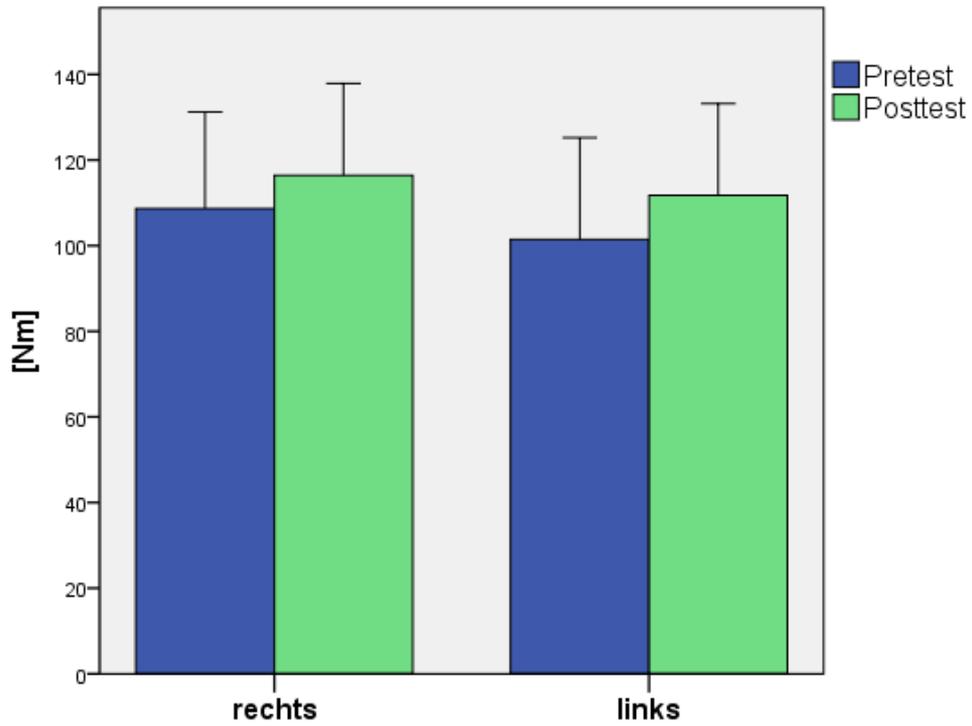


Abbildung 24: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Kraftausdauermessung bei 120°s in Extension

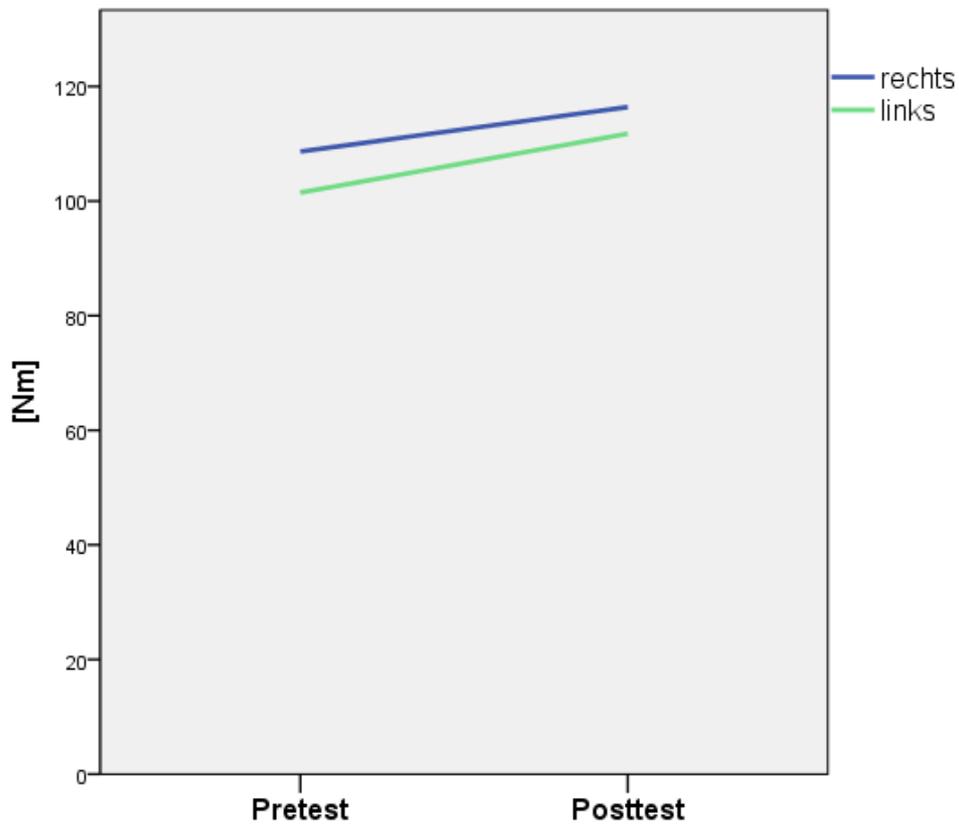


Abbildung 25: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Kraftausdauer-messung bei 120°s in Extension

In der Flexion wurden mit dem rechten Bein durchschnittlich $66,2 \pm 13,6$ Nm (48-97 Nm) beim Pretest und $71,3 \pm 13,8$ Nm (51-102 Nm) beim Posttest erreicht. Die Verbesserung betrug 5,05 Nm ($p < 0,05$).

Beim linken Bein wurden beim Pretest $60,9 \pm 13,9$ Nm (40-88 Nm) und beim Posttest $67,1 \pm 9,91$ Nm (51-90 Nm) gemessen. Die Verbesserung lag bei 6,18 Nm ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengefasst und in Abbildung 26 und Abbildung 27 grafisch dargestellt.

Kraftausdauer Flexion [Nm]	Mittelwert re	Mittelwert li	Stabw re	Stabw li
Pretest	66,2	60,9	13,6	13,9
Posttest	71,3	67,1	13,8	9,91
Änderung	5,05	6,18		
Prozentuelle Differenz	7,6%	10,1%		
Signifikanz p	< 0,05	< 0,05		
	> 0,05			

Tabelle 14: Zusammenfassung der Ergebnisse der isokinetischen Kraftausdauer-messung bei 120°/s in Flexion

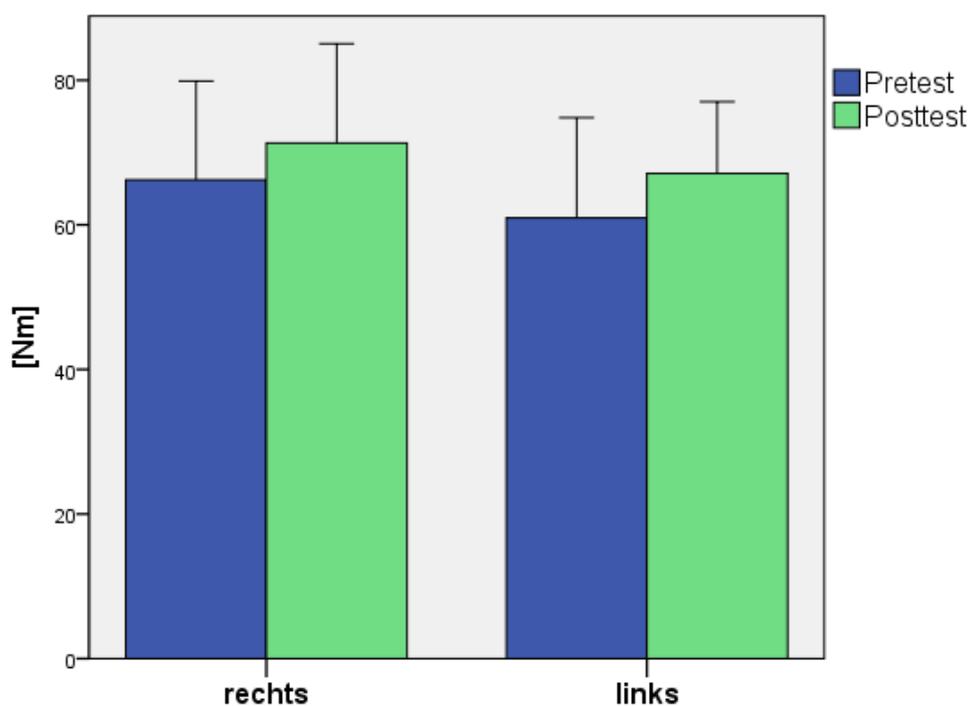
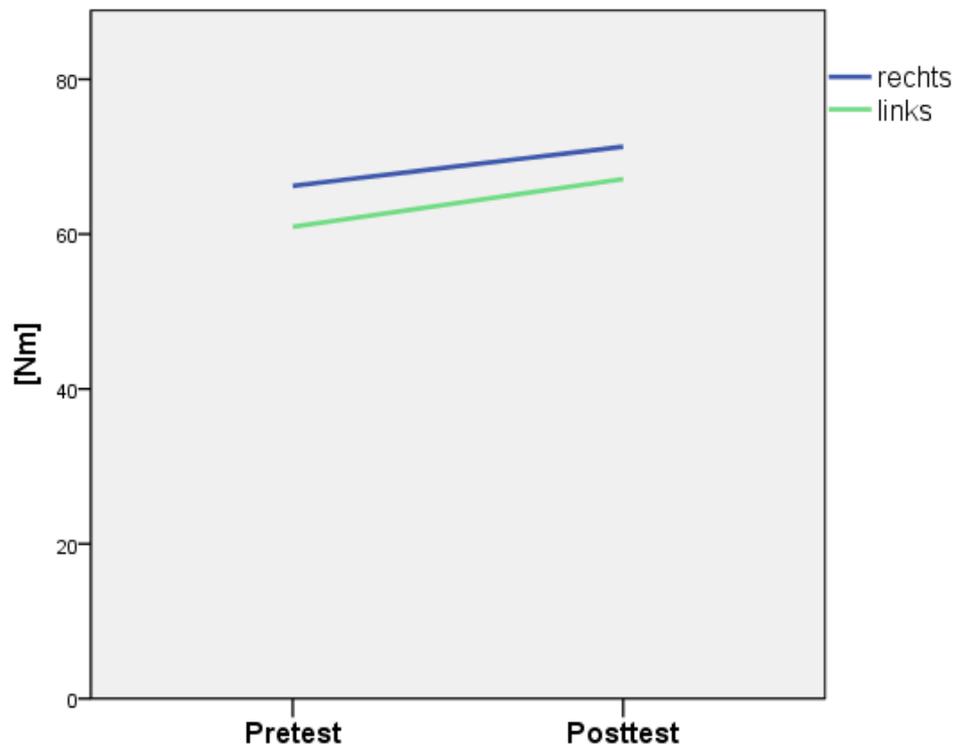


Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der isokinetischen Kraftausdauer-messung bei 120°/s in Flexion



**Abbildung 27: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte der isokinetischen Kraftausdauer-
messung bei 120°/s in Flexion**

3.3 Auswertung der Schmerzparameter

Zunächst wurden die Mittelwerte der Schmerz-Werte, die die Probanden nach jeder Trainingseinheit abgaben, betrachtet. Dazu wurde eine Grafik (Abbildung 28) erstellt.

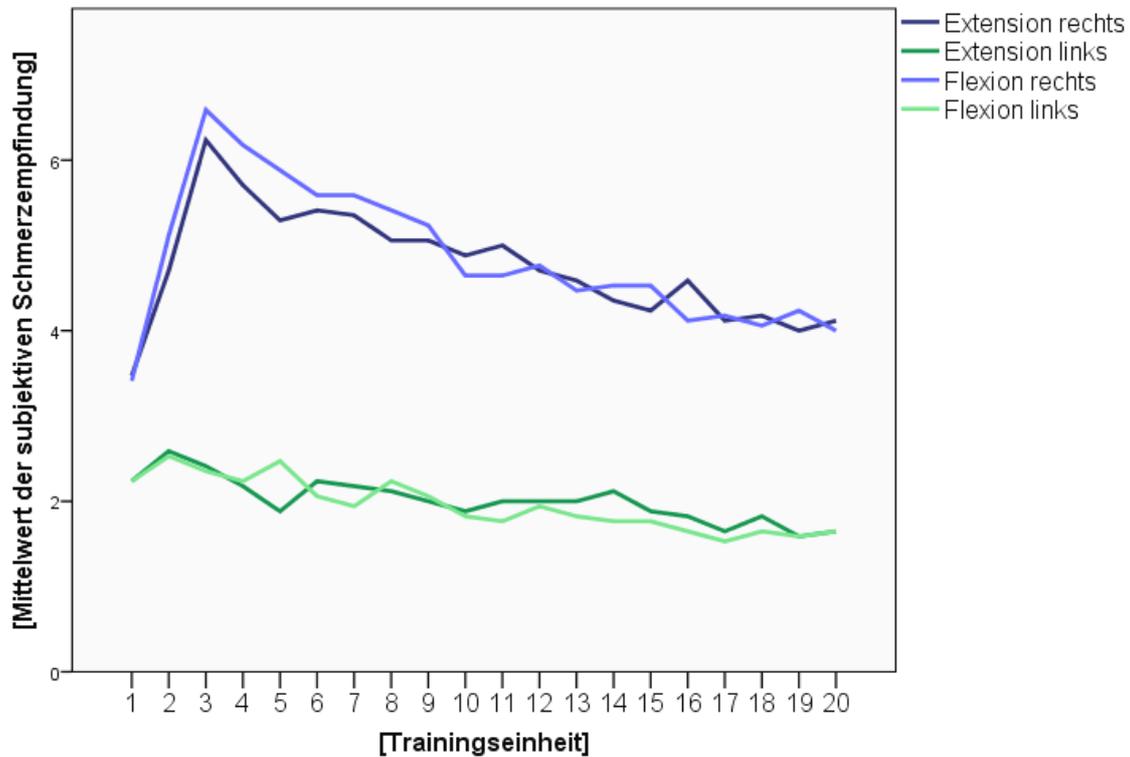


Abbildung 28: Verlauf der Schmerzangaben der Probanden über den gesamten Trainingszeitraum

In Abbildung 28 sind auf der x-Achse die Trainingseinheiten 1 bis 20 aufgetragen, auf der y-Achse die Mittelwerte der Schmerzangaben aller Probanden. Für fehlende Werte, die entstanden, wenn Probanden bei Trainingseinheiten fehlten, wurden nach der Methode „Last Observation Carried Forward“ (35) die Werte der letzten vorausgegangen Trainingseinheit, an der teilgenommen wurde, übernommen. Als Beispiele seien hier jeweils die Höchst- und Tiefstwerte für jede Übung einzeln für das Versuchs- und Kontrollbein aufgeführt: Der Höchstwert der durchschnittlich angegebenen Schmerzwerte liegt für die Extension rechts bei 6,24. Dieser wurde bei der 3. Trainingseinheit erreicht, als zum ersten Mal ein Okklusionsdruck von 100 mmHg angewendet wurde. Beim linken Bein liegt der maximal erreichte Durchschnittswert lediglich

bei 2,59 und wurde bei der 2. Trainingseinheit so angegeben. Bei der Flexion wurde der Maximalwert von 6,59 mit dem rechten Bein ebenfalls bei der 3. Trainingseinheit erreicht. Für das linke Bein in Flexion wurden wiederum bei der 2. Trainingseinheit die größten Schmerzen mit durchschnittlich 2,53 angegeben. Die niedrigsten Schmerzwerte wurden gegen Ende der Trainingsphase verzeichnet: Für die Extension rechts 4,00 und für die Extension links 1,59, jeweils bei der 19. Trainingseinheit. Für die Flexion rechts liegt der Tiefstwert ebenfalls bei 4,00. Dieser entstand jedoch bei der 20. und somit letzten Trainingseinheit. Bei der Flexion links liegt der Tiefstwert bei 1,53 und wurde bereits bei der 17. Trainingseinheit verzeichnet.

Mittels Wilcoxon-Test wurden jeweils die Werte des dritten Trainings mit den Werten des 20. Trainings des gleichen Beines und der gleichen Übung verglichen. Bei der Extensionsübung des rechten Beines wurden beim 3. und 20. Training mittlere Schmerzwerte von 6,24 beziehungsweise 4,12 angegeben ($p = 0,001$). Für das linke Bein wurden bei der Extension Werte von 2,41 und 1,65 angegeben ($p < 0,05$).

Bei der Flexionsübung wurden für das rechte Bein durchschnittlich Werte von 6,59 beim 3. Training und 4,00 beim 20. Training angegeben ($p = 0,001$). Beim linken Bein lag der Mittelwert der Schmerzwahrnehmung bei 2,35 beziehungsweise 2,65 ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Beim Rechts-Links-Vergleich innerhalb einer Trainingseinheit lagen die Werte des linken Beines immer deutlich unter denen des rechten Beines. Die Ergebnisse des Rechts-Links-Vergleichs sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Der Wilcoxon-Test lieferte bei der 3. Trainingseinheit höchst signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) und bei der 20. Trainingseinheit sehr signifikante Unterschiede ($p = 0,001$).

	Extension		Flexion	
	MW rechts	MW links	MW rechts	MW links
Training 3	6,24	2,41	6,59	2,35
Training 20	4,12	1,65	4,00	1,65
Signifikanz beim Vergleich des 3. und 20. Trainings	= 0,001	< 0,05	= 0,001	< 0,05

Tabelle 15: Schmerzparameter des 3. und des 20. Trainings im Vergleich

	Extension		Flexion	
	Training 3	Training 20	Training 3	Training 20
rechts	6,24	4,12	6,59	4,00
links	2,41	1,65	2,35	1,65
Signifikanz beim Rechts-Links-Vergleich des gleichen Trainings	< 0,001	= 0,001	< 0,001	= 0,001

Tabelle 16: Schmerzparameter rechts und links im Vergleich

3.4 Auswertung der Borg-Skala

Zunächst wurden die Mittelwerte der Belastungsempfindung, die die Probanden nach jeder Trainingseinheit auf der Borg-Skala angaben, betrachtet. Dazu wurde eine Grafik (Abbildung 29) erstellt.

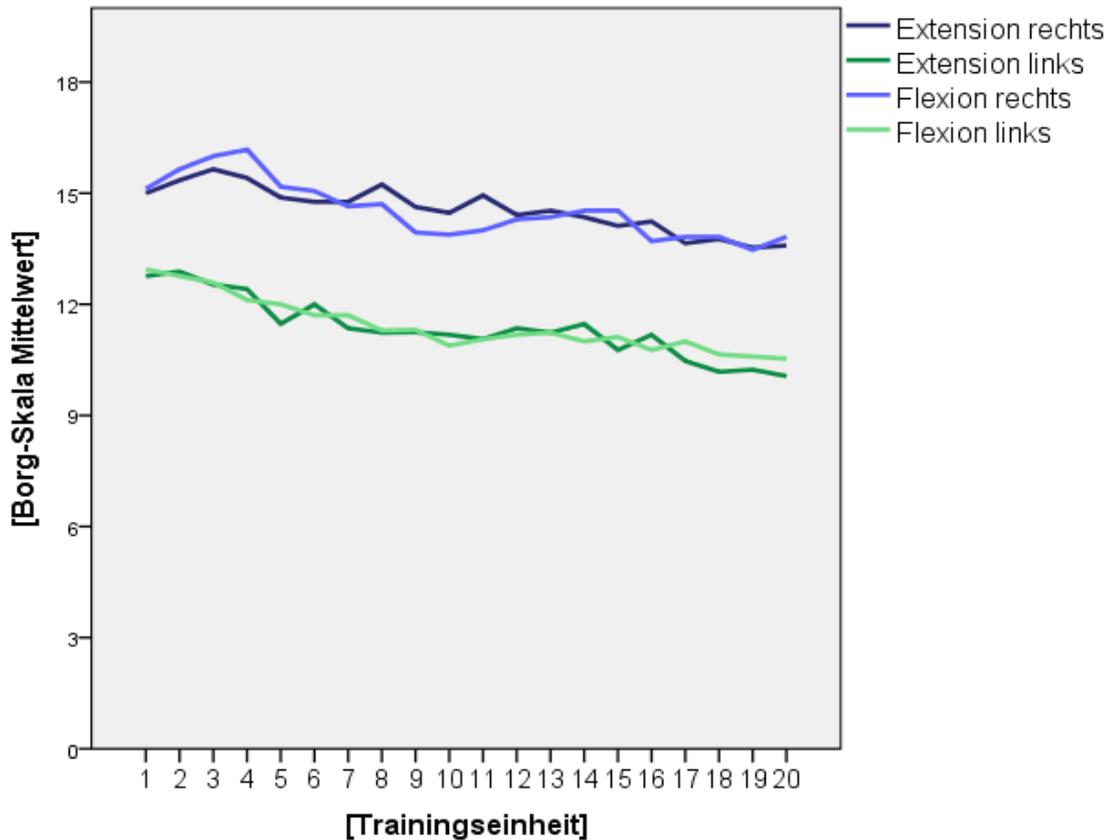


Abbildung 29: Verlauf der Borg-Skala-Angaben der Probanden über den gesamten Trainingszeitraum

In Abbildung 29 sind auf der x-Achse die Trainingseinheiten 1 bis 20 aufgetragen, auf der y-Achse die Mittelwerte der Angaben auf der Borg-Skala. Mit fehlenden Werten wurde identisch wie bei den Schmerzparametern umgegangen.

Man erkennt, dass das Belastungsempfinden sowohl beim rechten als auch beim linken Bein abnimmt. Die Abnahme erfolgt in ähnlichem Maße, wobei die Borg-Skala-Werte des rechten Beines immer deutlich über denen des linken Beines liegen. Die statistische Sicherung der bereits grafisch dargestellten Ergebnisse wurde mit dem Wilcoxon-Test durchgeführt.

Mittels Wilcoxon-Test wurden die Werte des dritten Trainings mit den Werten des 20. Trainings des gleichen Beines und der gleichen Übung verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Bei der Extensionsübung des rechten Beines wurden beim 3. und 20. Training mittlere Schmerzwerte von 15,7 beziehungsweise 13,6 angegeben ($p < 0,01$).

Für das linke Bein wurden bei der Extension Werte von 12,5 und 10,1 angegeben ($p = 0,001$).

Bei der Flexionsübung wurden für das rechte Bein durchschnittlich Werte von 16,0 beim 3. Training und 13,8 beim 20. Training angegeben ($p = 0,001$). Beim linken Bein lag der Mittelwert der Belastungswahrnehmung bei 12,6 beziehungsweise 10,5 ($p < 0,01$).

Beim Rechts-Links-Vergleich innerhalb einer Trainingseinheit lagen die Werte des linken Beines immer deutlich unter denen des rechten Beines ($p < 0,001$). Eine Zusammenfassung der Werte findet sich in Tabelle 18.

	Extension		Flexion	
	MW rechts	MW links	MW rechts	MW links
Training 3	15,7	12,5	16,0	12,6
Training 20	13,6	10,1	13,8	10,5
Signifikanz beim Vergleich des 3. und 20. Trainings	< 0,01	= 0,001	= 0,001	< 0,01

Tabelle 17: Borg-Skala-Werte des 3. und des 20. Trainings im Vergleich

	Extension		Flexion	
	Training 3	Training 20	Training 3	Training 20
rechts	15,7	13,6	16,0	13,8
links	12,5	10,1	12,6	10,5
Signifikanz beim Rechts-Links-Vergleich des gleichen Trainings	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Tabelle 18: Borg-Skala-Werte rechts und links im Vergleich

Tendenziell korrelierten die Patientenangaben über den Schmerz mit denen bei der Belastung. Beispielsweise gaben Patienten, die nur geringen Schmerz empfanden, meist auch nur geringe bis mittlere Belastungen an. Trotz dieser Tendenz gab es Ausreißer mit starkem Belastungsempfinden bei geringem Schmerz oder mäßiger Belastung bei starkem Schmerz.

4. Diskussion

Inhalt dieses Kapitels ist zunächst die Methodenkritik. Außerdem werden die Gütekriterien Objektivität und Reliabilität geprüft und die anfangs formulierten Fragestellungen beantwortet. Weiter werden die Untersuchungsergebnisse diskutiert und interpretiert sowie die eigenen Untersuchungsergebnisse bereits vorhandenen Ergebnissen früherer Forschungsstudien gegenübergestellt. Am Ende des Kapitels steht die Schlussfolgerung.

4.1 Methodenkritik

Obwohl das Training vom Aufbau her nicht so ausgelegt war, dass eine Verbesserung der Maximalkraft unbedingt zu erwarten war, konnte diese Verbesserung bei beiden Beinen im Mittel festgestellt werden. Es könnte daher sein, dass die Probanden derart untrainiert waren, dass selbst die geringe Intensität des Trainings schon einen adäquaten Trainingsreiz verursachen konnte. Die Probandenstichprobe war außerdem zahlenmäßig am unteren Limit, um überhaupt allgemeingültige Aussagen hinsichtlich festgestellter Ergebnisse machen zu können, da schon ein Messergebnis eines einzelnen Probanden den Mittelwert der Messergebnisse stark beeinflussen konnte. Auch waren die ausgewählten Probanden natürlich rein körperlich und von ihrer allgemeinen Fitness und ihrem Trainingszustand unterschiedlich. Um diese Unterschiede in einem gewissen vertretbaren Rahmen zu halten, wurden die in 2.1 erläuterten Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt.

Durch starke Schmerzen während des Trainings, die von den meisten Probanden beschrieben wurden, könnte es sein, dass sie die Bewegungen, insbesondere mit dem rechten Bein, nicht mit letzter Gewissenhaftigkeit ausgeführt haben. In Folge dessen könnte es zu einer Limitierung des Trainingsreizes beim Versuchsbein gekommen sein.

In dieser Studie gehörten jeweils ein Versuchs- und ein Kontrollbein zu ein und derselben Person. Hier scheint ein Kritikpunkt an der Methode unumgänglich: Ein durch die Manschette induzierter höherer Trainingseffekt kann durch einen kontralateralen Trainingseffekt oder durch Hormone, die durch die Ischämie in der Muskulatur eines Beines ausgeschüttet werden, auf beide Beine wirken.

Erhöhte Hormonspiegel konnten zuvor schon in mehreren Studien (1, 15, 33, 40, 45) festgestellt werden. Um diese Wirkungen am Kontrollbein zu verhindern, müsste man für Versuchs- und Kontrollgruppen unterschiedliche Personen einsetzen. Diese andere Methode würde allerdings andere Nachteile mit sich bringen. Beispielsweise wären dann andere Parameter wie Körpergewicht, Trainingszustand und weitere körperliche Faktoren der verschiedenen Individuen in der Versuchs- und Kontrollgruppe sehr unterschiedlich. Um repräsentative Ergebnisse zu erzielen, sollten diese Faktoren allerdings bei beiden Gruppen möglichst übereinstimmen, was die Vereinigung der Versuchs- und Kontrollbeine in einer Person in dieser Studie rechtfertigte.

Bei der Messmethodik muss folgender Punkt beachtet werden: Alle am Testgerät IsoMed 2000 durchgeführten Messungen unterliegen der Problematik, dass sich eine gewisse Verbesserung der Messwerte bereits durch einen Lerneffekt bezogen auf die Bewegungsausführung einstellen kann, ohne dass sich die Maximalkraft dabei wirklich verbessert haben muss. Um diesen Effekt soweit als möglich zu minimieren, hat jeder Proband bereits vor den Eingangsmessungen des Pretests einen Probedurchgang aller Messungen absolviert, um sich mit dem Testgerät vertraut zu machen. Dass die Verbesserungen allein durch Lerneffekte im Umgang mit dem Gerät herrühren, erscheint daher sehr unwahrscheinlich. Um dieses Phänomen gänzlich auszuschließen, hätte jedoch eine separate Gruppe von Probanden in die Studie miteinbezogen werden müssen, die nur den Pre- und Posttest absolviert, jedoch nicht die Trainingsphase.

Letztlich muss darauf hingewiesen werden, dass die Messmethodik der anthropometrischen Daten wie Oberschenkelumfang und Hautfaltendicke zwar ausreichend ist, um Tendenzen festzustellen oder Hinweise zu geben, aber nicht genau genug sein kann, um detaillierte Aussagen über Veränderungen des Muskelquerschnitts zu machen. Hierfür hätten bildgebende Verfahren wie beispielsweise MRT-Untersuchungen durchgeführt werden müssen. Finanzielle Mittel standen zur Durchführung dieser Untersuchungen leider nicht zur Verfügung.

Da alle Messungen der anthropometrischen Daten von Hand durch die Versuchsleiterin bestimmt wurden, kann keine 100-prozentige Objektivität (Unabhängigkeit der Ergebnisse von der Person welche die Tests durchführt) und Reliabilität (Genauigkeit) gegeben sein. Die erhobenen Werte sind dennoch aussagekräftig, da die Messungen des Pretests und die des Posttests von ein und derselben Person in identischer Technik durchgeführt wurden.

Die Messmethodik der Kraftwerte ist der Messmethodik der anthropometrischen Daten insofern überlegen, dass von einer höheren Objektivität und Reliabilität ausgegangen werden kann. Dies beruht darauf, dass die Messungen von einer Maschine vorgenommen wurden und das Risiko des technischen Versagens im Vergleich zum menschlichen Versagen als geringer eingeschätzt wird.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Zunächst werden die anthropometrischen Daten, anschließend die Ergebnisse der Kraftmessungen und zum Schluss die erhobenen Schmerzparameter und Borg-Skala-Werte diskutiert. Soweit vorhanden werden dabei die eigenen Ergebnisse mit bereits existierenden Forschungsergebnissen verglichen.

Nun zu den Ergebnissen der **Anthropometrie**: Zwischen dem Pretest und dem Posttest verringerte sich die Hautfaldendicke sowohl beim rechten als auch beim linken Bein signifikant. Der Unterschied der Verringerungen rechts und der Verringerungen links war nicht signifikant. Folglich wiesen beide Beine eine ähnliche Veränderung der Hautfaldendicke im Verlauf der Trainingsphase auf. Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Das Unterhautfettgewebe könnte unabhängig von der Okklusionsmanschette durch das Training zurückgegangen sein. Dieser Trainingseffekt könnte auch durch hormonelle Reaktionen, welche durch die Ischämie verstärkt wurden, beeinflusst worden sein (45). Lokale Unterschiede konnten jedenfalls nicht festgestellt werden, wodurch auch in Betracht gezogen werden könnte, dass die lokale Ischämie eines Muskels während des Trainings keinen Einfluss auf das Unterhautfettgewebe nimmt.

Die Messungen des Oberschenkelumfangs 10 cm über der Patellaoberkante ergaben für das Versuchsbein einen signifikanten Zuwachs, für das Kontrollbein jedoch nur einen minimalen, nicht signifikanten Zuwachs. So kam es zu einem signifikanten Unterschied zwischen der Zuwachsrate rechts und der

Zuwachsrate links. Da sich das Unterhautfettgewebe bei beiden Beinen etwa gleich veränderte, lässt das auf eine Hypertrophie der Muskulatur, besonders beim Versuchsbein schließen. Allerdings ist die Messmethodik, wie oben beschrieben, nicht für genauere Analysen des Muskelquerschnitts zulässig. An der Messstelle 20 cm oberhalb der Patellaoberkante konnte im Mittel ebenfalls ein Zuwachs des Oberschenkelumfangs festgestellt werden. Obwohl der Zuwachs beim rechten und linken Bein ähnliche Beträge annahm, sorgte die Verteilung dafür, dass das Versuchsbein, im Gegensatz zum Kontrollbein, keine signifikante Veränderung verzeichnen konnte. Hier gilt gleiches wie im vorigen Abschnitt: Obwohl sich eine Tendenz zur Muskelhypertrophie abzeichnet, erlaubt die Messmethodik keine genaueren Aussagen.

Die anfangs formulierte Fragestellung, ob sich signifikante Veränderungen der Hautfaldendicke am Oberschenkel und des Oberschenkelumfangs durch ein Okklusionstraining mit einer Trainingsintensität von 40% feststellen lassen, kann mit ja beantwortet werden.

Dabei ist es durchaus überraschend, dass es überhaupt zu signifikanten Veränderungen der sogenannten weichen Parameter, insbesondere beim Kontrollbein, kommen konnte. Besonders eine Muskelhypertrophie war bei solch niederintensivem Krafttraining, wie es die Probanden durchführten, nicht zu erwarten. Lediglich beim Versuchsbein könnte man diese Veränderung als Reaktion auf die Sauerstoffmangel-Situation deuten, die mit der Manschette erzwungen wurde. Hier kommt ein Kritikpunkt der Methode ins Spiel, denn obwohl die Versuchs- und Kontrollbeine als unabhängige Stichproben angenommen wurden, sind diese jeweils in einer Person vereint. Eventuelle hormonelle Reaktionen (45) könnten beiden Beinen zu Gute gekommen sein. Es wäre sogar denkbar, dass dieser Effekt über den rein kontralateralen Nutzen hinausgeht. So könnte sich beispielsweise ein Okklusionstraining der Arme durch überregionale Mechanismen positiv auf die Beinkraft auswirken. Bei den durchgeführten Tests kann so allerdings bisher kein eindeutiger Nutzen des Okklusionstrainings in Bezug auf die Hautfaldendicke und die Oberschenkelumfänge nachgewiesen werden. Weitere Untersuchungen mit

Versuchs- und Kontrollbeinen, die nicht in einer Person vereint sind wären hierzu sinnvoll.

2002 veröffentlichten Takarada et al. (39) eine Studie in der 17 etwa 25-jährige gut trainierte männliche Fußballspieler getestet wurden. Sie wurden in eine Versuchsgruppe (n = 12) und eine Kontrollgruppe (n = 5) eingeteilt. Die Versuchsgruppe wurde weiter in eine Gruppe, die mit Okklusion und eine Gruppe, die mit gleicher Intensität ohne Okklusion trainierte unterteilt. Die Kontrollgruppe nahm nicht am testspezifischen Training teil, führte jedoch das gewöhnliche Football-Training fort. Die Probanden der Versuchsgruppe trainierten über 8 Wochen 2-mal wöchentlich die Extension der Beine an einer Maschine. Bei den mit Okklusionsdruck trainierenden Probanden lag dieser bei durchschnittlich 196 mmHg. Die Trainingsintensität betrug 50% des 1-RM. Vor und nach der Trainingsphase wurden jeweils die isometrische und isokinetische Maximalkraft der Extensionsbewegung bestimmt. Zusätzlich wurde bei der Gruppe, die mit Okklusion trainierte, der Muskelquerschnitt mittels MRT veranschaulicht. Ziel der Untersuchung mittels MRT war es herauszufinden, ob die festgestellte Steigerung der Kraft eher von einer neuromuskulären Adaption oder von einer Hypertrophie der Muskulatur herrührte. Resultat der Untersuchungen war, dass die Muskulatur der Extensoren signifikant an Durchmesser zunahm, während die Flexoren und der Femur keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich ihres Umfanges zeigten. So kann von einer Muskelhypertrophie der trainierten Muskelgruppe ausgegangen werden. Die in der eigenen Studie festgestellten Steigerungen der Oberschenkelumfänge an 2 verschiedenen Stellen mit der gleichzeitigen signifikanten Abnahme der Hautfaltendicke gibt Hinweise auf eine ähnliche Entwicklung wie sie durch Takarada et al. (2002) mittels MRT verifiziert wurde.

Im Arbeitskreis zum Okklusionstraining in der Sportmedizin Tübingen wurden vor dieser Studie bereits 3 ähnlich ablaufende Studien durchgeführt. Diese sind gut vergleichbar, da das gleiche Messgerät und die gleichen Trainingsgeräte und Manschetten verwendet wurden. Außerdem wurden die gleichen Parameter beim Pre- und Posttest erhoben. Der Trainingszeitraum dauerte jeweils 8-10 Wochen und es wurde 2-mal wöchentlich mit einer Intensität von

40% des 1-RM und unter Kompression eines Beines mit einem Okklusionsdruck von 100 mmHg trainiert. Der Hauptunterschied zwischen den verschiedenen Studien lag lediglich in der Auswahl der Probanden. Schiff (34) untersuchte 2010 14 junge Männer im Alter von 20-25 Jahren. Fuchs (14) testete 2011 16 junge Frauen zwischen 19 und 29 Jahren. 2013 führte Driedger (10) eine Studie mit 18 älteren Frauen im Alter von 41 bis 60 Jahren durch.

Bei Schiff (2010) gab es im Vergleich zur vorliegenden Studie Unterschiede im Ablauf einer einzelnen Trainingseinheit, welche die Ergebnisse eventuell beeinflusst haben könnten. Es wurde hier der Druck der Okklusionsmanschette zwischen dem Training der Extension auf dem einen Trainingsgerät und dem Training der Flexion auf dem anderen Trainingsgerät abgelassen. So konnte das Versuchsbein bereits nach der Hälfte des Trainings wieder durchblutet werden, bevor die Blutzufuhr für die zweite Hälfte der Trainingseinheit durch erneutes Anlegen der Manschette wieder eingeschränkt wurde. Auch wurden beide Beine nicht, wie in dieser Studie, abwechselnd trainiert sondern es wurden erst 3 Sätze von je 20 Wiederholungen mit einem Bein und anschließend 3 Sätze mit dem anderen Bein durchgeführt. Dadurch waren längere Pausen zwischen den Sätzen notwendig, da sich ein Bein nicht regenerieren konnte, während das andere trainierte. Diese Pausen zwischen den einzelnen Sätzen wurden bei Schiff stehend absolviert. Diese Positionsänderungen könnten sich auf die Durchblutung ausgewirkt haben, da der Druck der Okklusionsmanschette je nach Körperposition und Muskeltonus schwankte. Die vor und nach der Trainingsphase gemessenen anthropometrischen Daten von Schiff lieferten folgendes: Das Versuchsbein zeigte bei der Hautfaltendicke im Mittel keine Veränderungen, während die Hautfaltendicke beim Kontrollbein um 1,7 mm abnahm. Die Oberschenkelumfänge veränderten sich sowohl an der Stelle 10 cm als auch an der Stelle 20 cm über der Patellaoberkante kaum. Daraus ergeben sich keine Hinweise auf eine Muskelhypertrophie.

Dass bei Schiff keine merkliche Senkung des Unterhautfettgewebes festgestellt werden konnte, könnte damit zusammenhängen, dass die Fettschicht bei den getesteten jungen Probanden schon zu Beginn der Studie geringer war als bei

den, in der eigenen Studie getesteten, älteren Probanden. Der Altersunterschied könnte auch dafür verantwortlich sein, dass es bei der eigenen Studie, durch Anstiege der Oberschenkelumfänge, Hinweise auf eine Muskelhypertrophie gab, was bei Schiff nicht der Fall war. Eventuell waren die jüngeren Probanden allgemein körperlich fitter, so dass es durch das Training zu keinem wirksamen Reiz, der eine Muskelhypertrophie nach sich zog, kommen konnte. Auch könnte die Wirkung der Okklusionsmanschette durch das Abnehmen dieser nach der Hälfte einer Trainingseinheit verringert worden sein.

Die Untersuchung von Fuchs (2011) (14) wurde mit jungen Frauen durchgeführt. Es konnten sowohl beim Versuchs- als auch beim Kontrollbein leichte Abnahmen der Hautfaltendicken festgestellt werden. Gleiches gilt für die Oberschenkelumfänge 10 cm und 20 cm über der Patellaoberkante. So decken sich die Ergebnisse der Messung der Hautfaltendicken in etwa mit denen der eigenen Studie. Die Umfänge entwickelten sich jedoch in verschiedene Richtungen. Mit der angewendeten Messmethodik konnte bei Fuchs nicht festgestellt werden, ob trotz der Abnahme der Oberschenkelumfänge eine Muskelhypertrophie stattfand. Sollte es jedoch bei Fuchs dennoch zu einer Muskelhypertrophie gekommen sein, so würde diese wohl geringer ausfallen als bei der eigenen Studie. Diese Ergebnisse könnten auf geschlechtsspezifisch unterschiedliche Reaktionen der Muskulatur bei identischem Training hinweisen, wodurch die Muskelhypertrophie bei Männern ausgeprägter ist.

Die 2013 von Driedger (10) durchgeführte Studie mit Frauen zwischen 41 und 60 Jahren war vom Ablauf her vollkommen vergleichbar mit der eigenen hier vorgestellten Studie. Bei den Messungen der Hautfaltendicke konnte Driedger keine signifikanten Ergebnisse erzielen. Dennoch nahm die Hautfaltendicke des Versuchsbeins und die des Kontrollbeins im Mittel geringfügig ab. Die Messung des Oberschenkelumfanges 10 cm über der Patellaoberkante lieferte sehr ähnliche Ergebnisse wie die eigene Studie. Driedger stellte ebenfalls am Versuchsbein eine signifikante Steigerung und am Kontrollbein eine nicht signifikante Steigerung des Oberschenkelumfangs fest. An der Stelle 20 cm über der Patellaoberkante waren Driedgers Ergebnisse beim Versuchsbein

denen der eigenen Studie auch sehr ähnlich: Es wurden jeweils zwar Steigerungen der Umfänge festgestellt, diese waren jedoch nicht signifikant. Lediglich beim Kontrollbein gab es hier Abweichungen. Während Driedger eine minimale Abnahme des durchschnittlichen Oberschenkelumfangs verzeichnete, stieg dieser in der eigenen Studie signifikant an. Die insgesamt sehr übereinstimmenden Ergebnisse stützen die These, dass durch Okklusionstraining eine Hypertrophie der Muskulatur erreicht werden kann.

Zum gleichen Schluss kommt eine neuere Studie von Lowery et al. (2013) (27). Auch hier konnten signifikante Zuwächse des Muskelquerschnitts durch Okklusionstraining des Bizeps' registriert werden. Die Daten wurden dabei durch Ultraschall erhoben.

Die Messungen der **isometrischen Maximalkraft** in Extension ergaben für beide Beine leichte Verbesserungen, die jedoch nicht signifikant waren. In der Flexion verbesserten sich beide Beine signifikant. Zwischen den Verbesserungen rechts und links wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Frage, ob sich eine Verbesserung der isometrischen Kraft mit Hilfe eines Okklusionstrainings der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% des 1-RM erzielen lässt, kann mit ja beantwortet werden, auch wenn auf den ersten Blick kein eindeutiger Nutzen der Okklusionsmanschette ausgemacht werden konnte. Durchaus unerwartet war es allerdings, dass das niederintensive Training die Maximalkraft überhaupt verbessern konnte. Der positive Effekt könnte von verbesserter intra- und intermuskulärer Koordination herrühren. Sollte dies der Fall sein, könnte sich die Maximalkraft unter anderem durch effizientere Rekrutierung von Muskelfasern verbessert haben. Auch kommen wieder hormonelle Stimuli, die durch den Sauerstoffmangel im Versuchsbein ausgelöst wurden und ein kontralateraler Trainingseffekt als Faktoren für die Verbesserung in beiden Beinen in Betracht.

Die Ergebnisse der **isokinetischen Maximalkraftmessung** bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s und 120°/s lieferten sowohl für die Extension als auch für die Flexion signifikante Verbesserungen beider Beine. Die eingangs gestellte Frage nach einer Verbesserung der isokinetischen Kraft mit

Hilfe eines Okklusionstrainings der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% des 1-RM kann ebenfalls bejaht werden. Signifikante Unterschiede zwischen der Verbesserung des Versuchsbeins und der Verbesserung des Kontrollbeins konnten dabei nicht verzeichnet werden. Tendenziell verbesserte sich die Maximalkraft in Flexion etwas stärker als die Extensionskraft. Insbesondere bei der Maximalkraftmessung mit einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s in Flexion konnte das Versuchsbein im Vergleich zum Kontrollbein eine stärkere Verbesserung verzeichnen. Bei den anderen Versuchen hielten sich die Verbesserungen beider Beine in etwa die Waage.

Die Gründe, warum es trotz der niedrigen Intensität des Trainings überhaupt zu einer Verbesserung der Maximalkraft kommen konnte, sind die Gleichen welche bereits zuvor für die isometrischen Maximalkraftmessungen erläutert wurden. Hinzu kommt, dass die Probanden möglicherweise eine ergonomischere Bewegungsausführung erlernten. Ein Versuch, die tendenziell stärkeren Verbesserungen in der Flexion zu erklären, beinhaltet die Tatsache, dass die absoluten Kraftwerte der Flexionsbewegung deutlich unter denen der Extensionsbewegung lagen, denn je höher das Ausgangskraftniveau eines Muskels liegt, desto intensiver muss trainiert werden, um überschwellige Trainingsreize zu erzielen (11). Die Streckmuskulatur des Kniegelenkes (M. quadriceps femoris) ist in der Regel stärker als die Beugemuskulatur des Kniegelenkes (Ischiokruralmuskulatur), deren Maximalkraft im Mittel nur bei etwa 60 Prozent der Kraftfähigkeit der Streckmuskulatur liegt.

In der oben beschriebenen Studie von Takarada et al. (2002) (39), an der 17 Footballspieler teilnahmen, wurde neben der MRT-Untersuchung auch die isometrische und isokinetische Maximalkraft vor und nach der Trainingsphase getestet. In der Gruppe, die mit Okklusion trainierte, konnten signifikante Verbesserungen sowohl bei der isometrischen Kraft, als auch bei der isokinetischen Kraft bei verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten festgestellt werden. Die Kraftwerte der Gruppe, die das gleiche Training ohne Okklusion bestritt und die der nicht trainierenden Kontrollgruppe zeigten hingegen keine signifikanten Veränderungen. Die Intensität wurde von Takarada et al. mit 50%

des 1-RM höher gewählt als bei den meisten vergleichbaren Studien. Dass sich trotzdem nur die Versuchsgruppe die mit Okklusion trainierte signifikant verbessern konnte, hing vermutlich mit der Auswahl der Probanden zusammen, die bereits gut trainiert waren und somit ohne den Stimulus der Okklusion nicht auf das Training ansprachen.

Der entscheidende Vorteil der Studie von Takarada et al. (39) gegenüber der eigenen Studie war die Unterteilung in verschiedene Trainingsgruppen aus unterschiedlichen Personen. Somit konnten keine, auf Grund von der Ischämie in der Muskulatur ausgeschütteten, Hormone in einem Bein, das ohne Okklusion trainierte wirken. Auch dass eine Kontrollgruppe gar nicht am spezifischen Training teilnahm und gleiche Ergebnisse wie die Gruppe, die das Training ohne Okklusion durchführte erreichte, machte deutlich, dass der Effekt des Kraftzuwachses bei der Gruppe, die mit Okklusion trainierte, eindeutig von der Einschränkung der Blutzufuhr kam. Obwohl in der eigenen Studie ebenfalls ein Kraftzuwachs durch Okklusionstraining verzeichnet werden konnte, fehlt die eindeutige Trennung von Versuchs- und Kontrollgruppe, um solch eindeutige Ergebnisse zu erzielen, wie es Takarada et al. gelang.

In einer von Sumide et al. 2007 (36) veröffentlichten Studie, an der 21 gesunde junge Männer teilnahmen, wurde ebenfalls die Beinkraft trainiert. Die Teilnehmer wurden zufällig in 4 Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe trainierte ohne Okklusionsdruck, eine zweite mit 50 mmHg, eine dritte mit 150 mmHg und eine vierte mit 250 mmHg. Abgesehen vom Okklusionsdruck absolvierten alle Teilnehmer das gleiche Training: Über 8 Wochen hinweg wurden 3 Einheiten pro Woche absolviert und dabei unter anderem die Kniestreckung trainiert. Die Trainingsintensität lag bei 20% der Maximalkraft. Vor und nach dem Trainingszeitraum wurde die Maximalkraft bei Winkelgeschwindigkeiten von 60 und 180°/s gemessen. Sumide et al. konnten bei den Messungen mit einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s in allen Gruppen Kraftzuwächse verzeichnen, welche allerdings nicht signifikant waren. Bei 180°/s dagegen verbesserten sich die Gruppen, die mit 50 und 150 mmHg trainierten signifikant, die Gruppe, die ohne Okklusionsdruck trainierte, verbesserte sich nicht und die 250-mmHg-Gruppe verbesserte sich nur leicht (nicht signifikant). Die Ergebnisse von

Sumide et al. wurden schon bei der Planung der eigenen Studie, hinsichtlich der Wahl des Okklusionsdrucks miteinbezogen.

Da die Verbesserungen der Kraft bei Sumide et al. bei angelegten Drücken von 50 mmHg und 150 mmHg am größten waren und man zusätzlich die Schmerzbelastung der Probanden beachten musste, erschien die Wahl eines Drucks von 100 mmHg sinnvoll. Sumide et al. machten die durch die Ischämie im Muskel induzierte vermehrte Ausschüttung des Wachstumshormons STH und von insulinähnlichen Wachstumsfaktoren für den Muskelzuwachs verantwortlich. Das passt zu den Ergebnissen der eigenen Studie, wenn man bedenkt, dass die ausgeschütteten Hormone an beiden Beinen wirken können und sich das Versuchs- und Kontrollbein bei den isokinetischen Maximalkraftmessungen in ähnlicher Weise verbesserten. Dass sich die Verbesserung der isokinetischen Maximalkraft bei der vorliegenden Studie bereits bei der langsameren Winkelgeschwindigkeit von 60°/s als signifikant herausstellte, könnte mit der im Vergleich zu Sumides Versuch höheren Trainingsintensität und mit der ausgeprägten Untrainiertheit der älteren Probanden zusammenhängen.

In einer Studie von Laurentino et al. (2008) (24) wurde von 16 Männern über 8 Wochen hinweg, zweimal pro Woche die Streckmuskulatur der unteren Extremität trainiert. Die Trainingsintensität lag bei 60-80% des 1-RM. Wie in der eigenen Studie wurde jeweils am rechten Bein ein Okklusionsdruck angelegt, während das linke Bein als Kontrollgruppe fungierte. Der angelegte Okklusionsdruck lag bei 125-130 mmHg und wurde in den Pausen nicht beibehalten. Der Trainingsumfang wurde im Verlauf der Trainingsphase gesteigert. Dazu wurden die absolvierten Sätze von 3 Sätzen in den ersten 3 Trainingswochen, über 4 Sätze in den Trainingswochen 4 und 5, bis hin zu 5 Sätzen in den letzten 3 Trainingswochen gesteigert.

Die Kniestrecke beider Beine konnten sich signifikant verbessern, wobei es zu keinem signifikanten Unterschied zwischen der Verbesserung rechts und der Verbesserung links kam. Laurentino et al. (2008) vermuteten, die Trainingsintensität habe mit 60-80% so hoch gelegen, dass die Muskelspannung während des Trainings auch ohne Okklusion schon so hoch

war, dass die Manschette keinen zusätzlichen Nutzen erbringen konnte. Außerdem wurde der Druck in den Satzpausen abgelassen, wodurch die Voraussetzungen des Versuchs- und Kontrollbeins weiter angenähert wurden. Dennoch könnten Hormonausschüttungen durch die Manschette verstärkt worden sein und ein kontralateraler Trainingseffekt auch dem linken Bein zugute gekommen sein, so dass sich beide Beine stärker als ohne Okklusion verbessert haben könnten. Ein ähnliches Ergebnis konnte in der eigenen Studie mit niedrigerem Okklusionsdruck und wesentlich niedrigerer Trainingsintensität erreicht werden, was die Vermutung zulässt, dass die bilaterale Hormonwirkung und der kontralaterale Trainingseffekt neben anderen Faktoren für den Kraftzuwachs verantwortlich waren. Bei Laurentino et al. (2008) bleibt dagegen offen, ob ein identischer Kraftzuwachs durch die hohe Trainingsintensität auch ohne Okklusionsbedingungen hätte stattfinden können.

2012 veröffentlichten Laurentino et al. (25) eine ähnliche Studie. Hier wurden wiederum männliche Probanden in 3 Gruppen aufgeteilt. Alle Gruppen führten über 8 Wochen hinweg ein Krafttraining durch. Die erste Gruppe trainierte mit niedriger Intensität (20% des 1-RM). Die zweite mit ebenso niedriger Intensität unter moderater Einschränkung der Blutzufuhr und die dritte mit hoher Intensität (80% des 1-RM). Neben Serum-Parametern wurden die maximale dynamische Extensionskraft der Beine und der Muskelquerschnitt vor und nach der Trainingsphase erhoben. Die Maximalkraft verbesserte sich bei allen Gruppen signifikant. Interessant war hierbei das Ausmaß der Verbesserungen: Die erste Gruppe verbesserte sich durchschnittlich um 20,7% während sich die zweite und dritte Gruppe um 40,1% beziehungsweise 36,2% verbessern konnten. Das ist ein aussagekräftiges Ergebnis in Bezug auf die Wirkung eines niederintensiven Okklusionstrainings! Außerdem konnten die zweite und die dritte Gruppe leichte Zuwächse beim Muskelquerschnitt verzeichnen, was bei der ersten Gruppe nicht der Fall war. Auch das ist ein Effekt, der in der eigenen Studie, wenn auch unter Vorbehalt wegen mangelnder Präzision bei der Messmethodik, bestätigt werden konnte.

Karabulut et al. (19) veröffentlichten 2010 eine Studie in der sie ebenfalls die untere Extremität unter Okklusionsbedingungen trainierten. Es nahmen daran

37 gesunde Männer im Alter von 50-64 Jahren teil. Die Beinmuskulatur wurde mittels Kniestreckung und Beinpresse trainiert. Dabei wurden die Probanden in 3 verschiedene Gruppen eingeteilt. Die erste Versuchsgruppe trainierte mit 80% des 1-RM ohne Okklusion, die zweite Versuchsgruppe trainierte den gleichen Trainingsumfang, jedoch nur mit 20% des 1-RM unter Okklusion. Die dritte Gruppe diente als Kontrollgruppe und nahm nicht am Training teil. Der Okklusionsdruck, der bei der zweiten Versuchsgruppe an beiden Beinen angelegt wurde, lag zu Beginn der Trainingsphase bei 160 mmHg und wurde sukzessive auf durchschnittlich knapp über 200 mmHg gesteigert.

Karabulut et al. (19) konnten bei der Beinpresse bei beiden Versuchsgruppen ähnliche, im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikante, Verbesserungen der Kraft feststellen. Bei der Kniestreckung verbesserte sich dagegen die Gruppe, die mit 80% des 1-RM trainierte signifikant stärker, als die Versuchsgruppe, die mit 20% unter Okklusion der Muskulatur trainierte. Diese Gruppe verbesserte sich jedoch im Vergleich zur nicht trainierenden Kontrollgruppe auch signifikant. Hier konnte erkannt werden, dass die Wirkungen eines Krafttrainings unter Okklusion zu verschieden starken Effekten führen kann, je nachdem welche Muskelgruppe trainiert wird. Dennoch konnten Karabulut et al. (19) zumindest bei einer Übung, der Beinpresse, ein gleich gutes Ergebnis mit niederintensivem Krafttraining unter Okklusion, wie mit hochintensivem Krafttraining erreichen. Karabulut et al. stellten damit fest, dass diese Trainingsmethode insbesondere für ältere Menschen, die sich altersmäßig im Bereich der Studienteilnehmer befinden, eine gute Alternative zum herkömmlichen hochintensiven Krafttraining sein kann. Es fällt auf, dass die Ergebnisse der Studien, die Versuchs- und Kontrollgruppen mit unterschiedlichen Personen besetzten deutlicher und aussagekräftiger ausfielen, was erneut die Vermutung einer bilateralen Wirkung eines einseitigen Okklusionstrainings zulässt.

Karabulut et al. (20) verifizierten den positiven Effekt des Okklusionstrainings 2011 mit einer weiteren Studie, an der wiederum ältere Männer teilnahmen. 2 Versuchsgruppen führten 6 Wochen lange ein Krafttraining durch. Die 1. Versuchsgruppe absolvierte das Krafttraining mit hoher Intensität und die

2. Versuchsgruppe mit niedriger Intensität unter verminderter Blutzufuhr. Eine 3. Gruppe fungierte als Kontrollgruppe und trainierte nicht. Als Ergebnis konnten, im Vergleich zur Kontrollgruppe, signifikante Kraftzuwächse bei beiden Versuchsgruppen notiert werden. Die Kraftzuwächse der beiden Versuchsgruppen zeigten größtenteils keine signifikanten Unterschiede. Das gibt einen weiteren Hinweis dafür, dass das Okklusionstraining in seiner Wirksamkeit durchaus mit einem Krafttraining hoher Intensität mithalten kann. Insbesondere ist zu beachten, dass das Altersspektrum der Probanden bei Karabulut et al. 2011 dem der hier vorgestellten Studie ähnlich war.

Clark et al. (6) konnten 2011 ähnliche Ergebnisse erzielen. In einer Trainingsphase von 4 Wochen trainierten 2 verschiedene Gruppen von jungen gesunden Probanden die Extensionskraft der Beine: Eine Gruppe trainierte mit niedriger Intensität unter Okklusion und eine mit hoher Intensität ohne verminderte Blutzufuhr. Dabei verbesserte sich die Beinkraft bei der Gruppe, die mit Okklusion trainierte, um durchschnittlich 8% und bei der Gruppe, die ohne Okklusion mit hoher Intensität trainierte, um 13%.

Ähnliche Trainingsinhalte wurden von 2 Probandengruppen in einer neueren Studie von Ozaki et al. (2013) (32) absolviert. Jedoch wurde hier ein Krafttraining der oberen Extremität mittels Bankdrücken durchgeführt. Die männlichen Probanden wurden analog zu Clark et al. (2011) in eine Versuchsgruppe, die mit niedriger Intensität (hier 30% des 1-RM) unter Okklusion und eine Kontrollgruppe, die mit hoher Intensität (hier 75% des 1-RM) trainierte eingeteilt. Die Trainingsdauer betrug 6 Wochen. Trainiert wurden 3 Trainingseinheiten pro Woche. Sowohl das 1-RM beim Bankdrücken, als auch der Muskelquerschnitt der Arm- und Brustmuskulatur zeigten signifikante Anstiege bei beiden Gruppen. Sehr interessant war hierbei, dass eine Muskelgruppe, die nicht okkludiert wurde (Brustmuskulatur) von dem Okklusionstraining profitieren konnte. Das ist ein Hinweis auf eine systemische Wirkung des Okklusionstrainings, die über den zuvor beschriebenen kontralateralen Trainingseffekt hinausgeht.

Die Wirkungen eines Okklusionstrainings auf nicht okkludierte Muskelgruppen des Rumpfes wurden auch in 2 verschiedenen Studien von Yasuda et al. 2010 (50) und 2011 (51) betrachtet:

2010 nahmen 10 junge Männer, die in eine Versuchsgruppe und eine Kontrollgruppe aufgeteilt wurden, an der Studie teil. Die Versuchsgruppe trainierte unter Okklusion der Oberarme mit 100-160 mmHg Bankdrücken mit 30% des 1-RM. Die Kontrollgruppe führte das gleiche Training ohne Okklusion aus. Der Trainingszeitraum dauerte 2 Wochen, in denen an 6 Tagen der Woche jeweils 2-mal täglich trainiert wurde.

2011 wurden 30 junge Männer untersucht. Trainingsinhalt war wieder das Bankdrücken. Es gab eine Versuchsgruppe (30% des 1-RM und Okklusion der Oberarme), eine andere Versuchsgruppe (75% des 1-RM, keine Okklusion) und eine Kontrollgruppe (kein Training). Über 6 Wochen hinweg wurde 3-mal pro Woche trainiert.

In beiden Studien konnten signifikante Verbesserungen des 1-RM beim Bankdrücken und beim Muskelquerschnitt der Oberarm- und Brustmuskulatur festgestellt werden. Dies gilt für die Versuchsgruppen, die mit niedriger Intensität unter Okklusion oder mit hoher Intensität trainiert hatten, nicht jedoch für die niederintensiv oder gar nicht trainierenden Kontrollgruppen. Eine positive Wirkung des Okklusionstrainings der Arme auf Muskelgruppen des Rumpfes konnte so von Yasuda et al. (50, 51) und Ozaki et al. (32) nachgewiesen werden, was die Vermutung einer systemischen Wirkung des Okklusionstrainings stützt.

Andere Untersuchungen von Yasuda et al. (2012) (52) kommen ebenfalls zu positiven Ergebnissen bei einem Okklusionstraining der Arme. Hier wurde von 10 jungen Männern ein dynamisches Krafttraining der Arme mit gleich niedriger Intensität (30%), wie bei Ozaki et al. (32) unter Okklusion durchgeführt. Auch der Trainingszeitraum (6 Wochen) und die Trainingseinheiten pro Woche (3 Einheiten) deckten sich mit dem Vorgehen bei Ozaki et al., ebenso das Ergebnis: Die Maximalkraft der Extensoren und die der Flexoren konnte sich dabei verbessern, wobei der Kraftzuwachs bei der Flexion stärker ausfiel. Außerdem kam es zu signifikanten Zunahmen des Muskelquerschnitts.

Mit Credeur et al. (2010) (9) soll nun noch eine andere Studie vorgestellt werden, bei der die obere Extremität trainiert wurde. Die jungen Teilnehmer waren 5 Männer und 7 Frauen im Alter von durchschnittlich 22 Jahren. Es wurde jeweils ein Arm als Versuchsgruppe unter Okklusion trainiert, während der andere Arm das gleiche Training als Kontrollgruppe ohne Okklusion durchführte. Die Trainingsphase dauerte 4 Wochen. 3-mal wöchentlich wurde je 20 Minuten die Greifmuskulatur der Hände mit einer Intensität von 60% trainiert. Die Okklusionsmanschette wurde am Versuchsarm proximal der Ellenbeuge angebracht. Ein Druck von 80 mmHg wurde angelegt.

Als Ergebnis konnte eine geschlechterunabhängige Verbesserung der Greifkraft des Versuchsarms um 16,17% und des Kontrollarms um 8,32% verzeichnet werden. Der Versuchsarm verbesserte sich demnach signifikant stärker als der Kontrollarm. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass am Oberarm bereits ein geringerer Okklusionsdruck ausreichen kann, um eine wirksame Kompression der Gefäße zu erzielen. Möglicherweise hängt das mit dem geringeren Umfang des Oberarms im Vergleich zum Oberschenkel zusammen. Credeur et al. (9) nahmen an, dass der stärkere Zuwachs der Kraft des Versuchsarms auf erhöhte Wachstumshormon-Spiegel sowie verstärkte Ausschüttung von anderen metabolischen Enzymen und insulinähnlichen Wachstumsfaktoren zurückzuführen war. Die Trainingsintensität war mit 60% recht hoch gewählt, was eine Kraftzunahme des Kontrollarmes, auch ohne kontralaterale Trainingseffekte und bilateral wirkende Botenstoffe erklären könnte. Das schließt jedoch nicht aus, dass diese Mechanismen trotzdem in einem gewissen Umfang stattgefunden haben.

Credeur et al. (9) konnten dennoch, obwohl sie die Versuchsgruppe und die Kontrollgruppe in einer Person vereinigten, deutlich positive Effekte eines Okklusionstrainings nachweisen, was in der eigenen Studie nicht in solch deutlicher Ausprägung gelang. Eventuell könnte das mit unterschiedlichen Reaktionen der Muskulatur zusammenhängen, je nachdem welche Extremität trainiert wird.

Teramoto und Golding (42) stellten 2006 eine Studie vor, in der ebenfalls eine Probandengruppe mit einem Versuchs- und einem Kontrollbein trainierte.

20 College-Studenten führten über 5 Wochen hinweg 3-mal wöchentlich ein Step-Up-Training der Beine durch. Die Probandengruppe bestand aus 9 im Mittel 24 Jahre alten Männern und 11 im Mittel 25-jährigen Frauen. Vor und nach der Trainingsphase wurden die Maximalkraft mittels 1-RM und die Kraftausdauer an der Beinpresse für jedes Bein separat bestimmt. Die Trainingseinheiten bestanden aus je 200 Step-Ups, wobei nach den ersten 100 Wiederholungen eine 5-minütige Pause eingelegt wurde. Alle 10 Step-Ups wurde das Bein gewechselt. Die Geschwindigkeit der Step-Ups lag konstant bei 20 Wiederholungen pro Minute. Während des Trainings wurde am Versuchsbein ein Okklusionsdruck von etwa 95 mmHg angelegt.

Die Trainingsmethode ließ also eher eine Verbesserung der Kraftausdauer als eine Verbesserung der Maximalkraft erwarten. Trotzdem konnte sich die Maximalkraft an beiden Beinen signifikant verbessern, wobei sich das unter vaskulärer Okklusion trainierende Versuchsbein signifikant stärker verbesserte. Teramoto und Golding (42) konnten damit bestätigen, dass sich eine Verbesserung der Maximalkraft durch Okklusionstraining einstellt. In der eigenen Studie gelang es nicht, den signifikanten Unterschied zwischen der Verbesserung des Versuchsbeins und der des Kontrollbeins nachzuweisen. Das könnte beispielsweise an inkonsequenter Bewegungsausführung seitens der Probanden, durch die störende Manschette und die Schmerzen im Versuchsbein gelegen haben.

Cook et al. (2014) (7) führten ebenfalls eine Studie mit jungen trainierten Sportlern (Rugbyspieler) durch. Diese wurden allerdings in eine unabhängige Versuchs- und Kontrollgruppe aufgeteilt, so dass kein kontralateraler Trainingseffekt stattfinden konnte. Während des Krafttrainings wurden bei der Versuchsgruppe Arme und Beine proximal des Ellbogen-/ Kniegelenkes mit 180 mmHg okkludiert. Die Trainingsintensität war mit 70% des 1-RM bei beiden Gruppen gleich hoch. Der Trainingszeitraum dauerte nur 3 Wochen. Pro Woche wurde 3-mal trainiert. Festgestellt wurden stärkere Zuwächse der Arm- und der Beinkraft sowie der Sprintfähigkeit bei der Versuchsgruppe. Diese Untersuchung zeigte, dass ein Okklusionstraining mit hoher Intensität durchaus als Trainingsmethode für bereits trainierte Sportler Anwendung finden könnte. Bei

Cook et al. (7) verbesserte sich neben der Maximalkraft auch die Schnellkraft. Unklar bleibt, wie der Organismus auf solch ein belastendes Training über einen längeren Zeitraum hinweg reagieren würde. Forschungsergebnisse zur Sicherheit eines hochintensiven Okklusionstrainings stehen noch aus.

Beim niederintensiven Okklusionstraining gibt es dagegen schon Studien, die sich mit belastungsinduzierten Muskelschäden beschäftigt haben: Thiebaud et al. (2013) (43), Karabulut et al. (2013) (21) und Wilson et al. (2013) (47) konnten übereinstimmend keine Indizien für Schäden an der Muskulatur durch niederintensives Okklusionstraining ausmachen.

2010 stellten Abe et al. (2) eine weitere Studie vor, in der kein klassisches Krafttraining unter Okklusion sondern ein Ausdauertraining unter Okklusion, mit dem Ziel die Maximalkraft zu verbessern, durchgeführt wurde. Die Probandengruppe beinhaltete beide Geschlechter. Insgesamt nahmen 19 körperlich aktive oder bereits regelmäßig walkende Probanden an der Studie teil, wobei 8 davon nur als Kontrollgruppe fungierten und nicht am Training teilnahmen. Die Kontrollgruppe behielt aber ihre gewöhnliche körperliche Aktivität über den Trainingszeitraum der Versuchsgruppe bei. 11 Probanden bildeten die Versuchsgruppe und absolvierten 6 Wochen lang immer 5-mal pro Woche eine 20-minütige Walking-Einheit in langsamem Tempo. Dabei wurde die Blutzufuhr beider Beine, unter Anwendung von Manschetten, eingeschränkt. Die Okklusionsdrücke lagen anfangs bei 160 mmHg und wurden jede Woche 10 mmHg, bis zu 200 mmHg, erhöht. Vor und nach dem 6-wöchigen Training wurden umfangreiche Tests durchgeführt: Unter anderem wurden dabei die Muskeldicke mittels Ultraschall am Ober- und Unterschenkel und die isometrische Maximalkraft in Extension sowie die isokinetische Maximalkraft bei Winkelgeschwindigkeiten von 30%/s, 90%/s und 180%/s in Extension und Flexion bestimmt. Interessant wäre die Entwicklung der Kraftausdauer bei dieser Trainingsmethode gewesen, was allerdings nicht getestet wurde. Vom Pre- zum Posttest verbesserten sich in der Versuchsgruppe alle Parameter (Ober-/ Unterschenkelumfang, isometrische und isokinetische Maximalkraft bei den verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten), mit Ausnahme der Flexion bei 180%/s

signifikant. In der Kontrollgruppe gab es dagegen keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttest.

Ein recht klares Ergebnis, was darauf hindeutete, dass ein Okklusionstraining nicht spezifisch sein muss. So kann durch Ausdauertraining unter Okklusion die Maximalkraft verbessert werden. Auch konnte ein weiteres Mal ein Effekt an nicht direkt okkludierter Muskulatur (Unterschenkel) festgestellt werden. Außerdem war in der Studie von Abe et al. (2) zu erkennen, dass es keinen einheitlichen, für alle Trainingsmethoden gültigen, optimalen Okklusionsdruck gibt, sondern dieser Druck von der Trainingsform abhängt. Bei Ausdauertrainingsformen erscheint ein höherer Druck als der zuvor für Krafttrainingsformen als sinnvoll beschriebene Druck angebracht. Das kann durchaus im Zusammenhang mit der Schwerkraft stehen: Abhängig von der Körperposition kann es zu erhöhten Drücken in den Gefäßen der Beine kommen. Diesem Zustand muss dann eventuell ein höherer Okklusionsdruck entgegengesetzt werden, um eine Wirkung zu erzielen.

Die Trainingsmethoden von Teramoto und Golding (42) sowie von Abe et al. (2) sind insofern interessant, dass sie auch für ältere oder schwache beziehungsweise sich in Rehabilitation befindliche Patienten geeignet sein können, da keine zusätzlichen Gewichte, außer dem eigenen Körpergewicht verwendet werden müssen. Genau für diese Patientengruppe stellt das Okklusionstraining eventuell eine Perspektive dar, da es eine wirksame Alternative zum normalen Training mit hoher Intensität ist. Überlastungen der Gelenke bei Patienten mit Vorschädigungen oder altersbedingter physiologischer Schwäche kann damit eventuell vorgebeugt werden. Loenneke et al. (2013) (26) begleiteten einen Bodybuilder, der nach einer schweren Knieverletzung das Okklusionstraining nutzte, um wieder fit zu werden. Nach den Beobachtungen kamen Loenneke et al. ebenfalls zu dem Schluss, dass ein Okklusionstraining im Bereich der Rehabilitation sinnvoll und effektiv genutzt werden kann.

Bei Schiff (2010) (34) wurde beim Pre- und Posttest die gleiche Testmethodik wie bei der eigenen Studie angewendet. Es wurden die isometrische Maximalkraft und die isokinetische Maximalkraft, jedoch lediglich bei 60%,

jeweils in Extension und Flexion bestimmt. Schiff stellte bei der isometrischen Maximalkraft in Extension eine durchschnittliche Steigerung von 11,6 Nm fest, während sich das Kontrollbein leicht um etwa 0,93 Nm verschlechterte. Große individuelle Schwankungen verhinderten dabei allerdings, dass die Veränderungen, vor allem die des Versuchsbeins, als signifikant eingestuft werden konnten. In der Flexion stellte Schiff ähnliche Ergebnisse fest: Das Versuchsbein verbesserte sich bei der isometrischen Maximalkraft um 9,9 Nm und das Kontrollbein verschlechterte sich um 1,0 Nm. Wiederum waren die Veränderungen nicht signifikant. Für das Versuchsbein konnten bei der hier vorgestellten Studie ähnliche Ergebnisse erzielt werden, es kam ebenfalls zu einer durchschnittlichen Verbesserung der isometrischen Maximalkraft in der Extension und der Flexion. Beim Kontrollbein deckten sich die Beobachtungen allerdings nicht. Hier wurde bei der eigenen Studie ebenfalls eine Verbesserung der isometrischen Maximalkraft in Extension und Flexion festgestellt, was eventuell dadurch erklärt werden kann, dass die älteren Probanden so untrainiert waren, dass der Trainingsreiz im Kontrollbein auch ohne die Okklusionsmanschette schon wirksam war. Bei den isokinetischen Messungen der Maximalkraft stellte Schiff sehr deutliche durchschnittliche Verbesserungen fest: Das Versuchsbein verbesserte sich bei der Extension signifikant um 21,2 Nm und das Kontrollbein ebenfalls signifikant um 9,4 Nm. Bei der Flexion verbesserte sich das Versuchsbein signifikant um 18,3 Nm und das Kontrollbein nicht signifikant um 16,7 Nm. Die Ergebnisse der isokinetischen Maximalkraftmessungen bei 60%/s von Schiff (2010) korrelieren mit den Feststellungen der hier vorgestellten Studie. Die tendenziell stärkeren Verbesserungen der isokinetischen Maximalkraft im Vergleich zur isometrischen Maximalkraft können eventuell auf die Trainingsmethode zurückgeführt werden. Da bei beiden Studien ein dynamisches Krafttraining durchgeführt wurde, könnte es zu einer Routine in der Ausführung der Beuge- und Streckbewegung bei den Probanden gekommen sein.

Fuchs (14) konnte 2011 ebenfalls Steigerungen der isometrischen und isokinetischen Maximalkraft der Beuge- und Streckmuskulatur des Oberschenkels durch ein Okklusionstraining beobachten: Seine Messungen

lieferten für die isometrische Maximalkraft in der Extension und Flexion beim Versuchsbein (15,6 Nm und 5,1 Nm) und beim Kontrollbein (11,5 Nm und 9,7 Nm) signifikante durchschnittliche Verbesserungen. Bei den isokinetischen Maximalkraftmessungen mit einer Winkelgeschwindigkeit von 60%/s stellte Fuchs (2011) ebenfalls Verbesserungen in der Extension und Flexion beim Versuchsbein (10,4 Nm und 3,0 Nm) und beim Kontrollbein (13,2 Nm und 5,3 Nm) fest. Mit Ausnahme der Flexion des Versuchsbeins waren auch diese Ergebnisse allesamt signifikante Verbesserungen. Hier war interessant, dass sich die von Fuchs 2011 getesteten jungen Probandinnen im Mittel in der Extension stärker als in der Flexion verbessern konnten, während sich das bei den in der hier vorliegenden Studie getesteten älteren Männern umgekehrt verhielt.

Leichte, jedoch nicht signifikante Verbesserungen der isometrischen Maximalkraft in Extension (Versuchsbein 3,9 Nm und Kontrollbein 5,2 Nm), der isokinetischen Maximalkraft bei 60%/s in Extension (Versuchsbein 3,4 Nm und Kontrollbein 0,7 Nm) und Flexion (Versuchsbein 1,8 Nm und Kontrollbein 2,9 Nm) konnte auch Driedger (2013) (10) verzeichnen. In der von Driedger durchgeführten Studie mit älteren Frauen konnte sich die isometrische Maximalkraft in Flexion allerdings nicht verbessern. Hier wurde eine Verschlechterung von durchschnittlich 2,5 Nm beim Versuchsbein und 2,6 Nm beim Kontrollbein festgestellt. Driedger versuchte den fehlenden Kraftzuwachs bei der isometrischen Maximalkraft in der Flexion im Vergleich zur Extension mit Vernachlässigungen der Bewegungsausführung seitens der Probandinnen während des Trainings zu rechtfertigen. Auf Grund von größeren Schmerzen und Unannehmlichkeiten beim Training der Beugemuskulatur im Vergleich zum Training der Streckmuskulatur könnte die Bewegungsausführung derart gelitten haben, dass kein überschwelliger Trainingsreiz mehr erreicht wurde (vgl. 10, S.93).

In der eigenen Studie konnte das nicht bestätigt werden, denn hier nahmen die Probanden die Übung zur Stärkung der Beugemuskulatur und die Übung zur Stärkung der Streckmuskulatur im Mittel etwa gleichermaßen unangenehm beziehungsweise schmerzhaft wahr und es verbesserte sich die isometrische

Maximalkraft beider Muskelgruppen. Die stärkere Verbesserung der isometrischen und isokinetischen Maximalkraft beider Beine und beider Bewegungsrichtungen bei der Gruppe von älteren Männern im Vergleich zu älteren Frauen könnte vielmehr einen ganz anderen Hintergrund haben: Es wäre vorstellbar, dass die Männer bei den Tests zum Herausfinden des 1-RM ehrgeiziger waren als die Frauen. So konnten sie eventuell höhere Werte des über die Formel nach McArdle (29, vgl. Kap. 2.4.2) ermittelten 1-RM erzielen. Daraus könnte dann wiederum ein höheres Trainingsgewicht hervorgegangen sein, das in Abhängigkeit des 1-RM errechnet wurde.

Nun zu den isokinetischen Messungen der **Kraftausdauer**: Die Trainingsform des von den Probanden absolvierten Trainings war von seiner Struktur her so aufgebaut, dass eine Verbesserung der Kraftausdauer durchaus denkbar war. Denn im Gegensatz zur Maximalkraft kann eine Verbesserung der Kraftausdauer schon mit niedriger Trainingsintensität, durch Stärkung aerober Energieversorgungsmechanismen (z.B. verbesserte Kapillarisation) (46), erreicht werden. Die Messungen der Kraftausdauer bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s ergaben auch signifikante Verbesserungen für beide Beine für die Extensions- und die Flexionsbewegung. So kann auch für die Kraftausdauer die eingangs gestellte Frage, ob sich diese durch ein Okklusionstraining der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% verbessern kann, mit ja beantwortet werden.

Signifikante Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollbein lagen zwar nicht vor, dennoch ist auffallend, dass sich bei beiden Bewegungsformen das Kontrollbein stärker als das Versuchsbein verbessern konnte. Auf den ersten Blick scheint es daher so als ob die Okklusionsmanschette als limitierender Faktor für die Steigerung der Kraftausdauer wirkt. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Bewegungen während des Trainings durch die oft als störend empfundene Manschette und die stärkeren Schmerzen auf der rechten Seite nicht ganz so exakt durchgeführt wurden wie auf der linken Seite. Ob die Manschette aber wirklich limitierend wirkte oder doch, durch systemische hormonelle Reaktionen und kontralateralen Trainingseffekt, positiv auf beide Beine wirkte, konnte mit den durchgeführten Tests nicht festgestellt werden.

Wenn es jedoch einen positiven Effekt des Trainings mit der Manschette gab, so wirkte sich dieser wohl nicht nur positiv auf das Versuchsbein aus.

Takarada et al. (39) haben 2002 ebenfalls die Kraftausdauer berücksichtigt. Die Probanden der 3 verschiedenen Gruppen (erste Gruppe: Training mit Okklusion, zweite Gruppe: Training ohne Okklusion und dritte Gruppe: kein Training) haben dazu jeweils beim Pre- und Posttest 50 Wiederholungen der Extensionsbewegung mit einer Winkelgeschwindigkeit von 180°/s absolviert. Dann wurden die Leistungen der ersten 10 Wiederholungen mit denen der letzten 10 Wiederholungen verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Kraftausdauer, wie auch die Maximalkraft nur bei der unter Okklusion trainierenden Gruppe signifikant verbessern konnte. Durch die klare Trennung der 3 verschiedenen Gruppen gelang es Takarada et al., auch im Bereich der Kraftausdauer, eine klare Überlegenheit des Okklusionstrainings im Vergleich zum gleichen Training ohne Okklusion zu beweisen. In der eigenen Studie konnte zwar ebenfalls die Verbesserung der Kraftausdauer festgestellt werden, doch ob sich diese Verbesserung bei der vorhandenen Probandenstichprobe auch ganz ohne Okklusion eines Beines eingestellt hätte, bleibt offen.

Teramoto und Golding (42) (2006) testeten in ihrer Studie neben der Maximalkraft auch die Kraftausdauer. Wie bei der eigenen Studie verbesserte sich die Kraftausdauer zwar bei beiden Beinen signifikant, allerdings konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Versuchsbein und dem Kontrollbein festgestellt werden. Doch obwohl die Ergebnisse bezüglich der Kraftausdaueränderung sehr ähnlich erscheinen, sind die beiden Studien nicht ohne weiteres vergleichbar, da die Trainingsinhalte doch sehr verschieden waren. Die Muskulatur wechselte bei einem ausdauerorientierten Training wie den Step-Ups ständig vom angespannten in den entspannten Zustand. Außerdem kam es nicht zu einem absoluten hohen Druck auf die Kapillaren, wie beim Heben schwerer Lasten (vgl. Teramoto und Golding (42)). Dadurch konnte eine teilweise Durchblutung der Muskulatur, die durch einen bestimmten Druck komprimiert wurde, länger als bei einer reinen Kraftbelastung aufrechterhalten werden. Wie von Abe et al. 2010 (2) beschrieben wurde, würde das wiederum einen höheren Okklusionsdruck für Trainingsformen des

Okklusionstrainings, bei denen eine Ausdauerbelastung angewendet wird, rechtfertigen. Für reine Kraftleistungen während des Trainings trifft das, wie Sumide et al. (2007) (36) bestätigen konnten, zumindest für Okklusionsdrücke jenseits der Marke von 200 mmHg nicht zu.

Die Studien von Schiff (2010) (34), Fuchs (2011) (14) und Driedger (2013) (10) haben die Kraftausdauer ebenfalls berücksichtigt und dabei unterschiedliche Ergebnisse erzielt. Es wurde bei diesen 3 Studien jedoch jeweils ein Quotient aus dem Mittelwert der hier beschriebenen Kraftausdauer (mittlere Drehmomentwerte der Wiederholungen 19-24 des Kraftausdauertests) und der Maximalkraft (mittlere Drehmomentwerte der Wiederholungen 2-6) bei 120% gebildet, um die Kraftausdauerleistung zu ermitteln.

Bei Schiff verbesserte sich die Kraftausdauer im Mittel beim Versuchsbein in Extension und Flexion lediglich minimal. Das Kontrollbein zeigte dagegen bei der Extension eine minimale Abnahme der Kraftausdauer und bei der Flexion keine Veränderung zwischen dem Pre- und Posttest. Schiff berichtete in diesem Zusammenhang davon, dass der Kraftausdauererprobungsversuch von den Probanden als sehr anstrengend empfunden wurde und sie sich nur schwer motivieren ließen, dabei wirklich ihr Bestes zugeben. Dieser psychische Aspekt könnte sich durchaus auf das Ergebnis ausgewirkt haben.

In der eigenen Studie konnten bei der Kraftausdauer prozentual in etwa gleich starke Verbesserungen wie bei der Maximalkraft festgestellt werden. Um die eigenen Ergebnisse nun mit den vorangegangenen Studien vergleichen zu können, wurden ebenfalls die Quotienten ermittelt. Für die Extension des Versuchsbeins lieferte das folgende Ergebnisse: Beim Pretest und Posttest liegt der Quotient zwischen den ermittelten Drehmomentwerten der Wiederholungen 19-24 bei 120% und denen der Wiederholungen 2-6 bei identischen 0,79. Beim Kontrollbein in Extension sieht es ähnlich aus: Der Quotient des Pretests liegt hier bei 0,78 und steigert sich beim Posttest leicht auf 0,80. Bei der Flexion liegen die Quotienten des Versuchsbeins beim Pretest bei 0,86 und beim Posttest bei 0,82. Folglich kam es sogar zu einer leichten Verschlechterung. Das Kontrollbein verbesserte sich nach dieser Methode zwischen Pre- und Posttest bei der Flexion nur kaum. Der Quotient liegt beim Pretest bei 0,81 und

beim Posttest bei 0,82. Es konnten folglich bei der Extension und bei der Flexion, nach der Quotientenmethode, keine merklichen Verbesserungen der Kraftausdauer festgestellt werden. Je nach Methode der Auswertung werden folglich unterschiedliche Ergebnisse erzielt. Die Quotienten wurden hier lediglich ermittelt, um die Vergleichbarkeit der Studien zu wahren. Dabei wurde festgestellt, dass in der eigenen Studie vergleichbare Messergebnisse wie bei Schiff (2010) (34) und Fuchs (2011) (14) erhoben wurden.

Auch Fuchs (2011) konnte keine eindeutigen Verbesserungen der Kraftausdauer nach der Quotienten-Methode verzeichnen. Das Kontrollbein der Probanden verschlechterte sich im Mittel bei der Kraftausdauer der Extension und der Flexion leicht, während sich das Versuchsbein bei der Extension ebenfalls etwas verschlechterte und bei der Flexion leicht verbessern konnte. Fuchs erwähnte in diesem Zusammenhang auch den starken mentalen Anteil einer Kraftausdauerleistung, und betonte, dass diese Leistung starken Schwankungen unterliegen könne.

Driedger konnte 2013 (10) gegensätzliche Ergebnisse verzeichnen. Während sich die Maximalkraft hier nur leicht verbesserte, konnten stärkere Verbesserungen im Bereich der Kraftausdauer erreicht werden. Das Versuchsbein konnte sich hier deutlich und signifikant verbessern und das Kontrollbein verbesserte sich ebenfalls, wenn auch in geringerem Umfang. Driedger berichtete von guter Motivation der Probandinnen und nahm eventuell fehlende Motivation der Probandinnen nicht als limitierenden Faktor in Bezug auf die Ausdauerleistung bei den Tests wahr. Auch zog Driedger in Betracht, dass das Motivationsniveau der Probandinnen durch das unangenehme Training mit der Okklusionsmanschette zusätzlich anstieg, so dass die Probandinnen für den abschließenden Ausdauerstest mental gut gerüstet waren. Letztendlich konnten von Driedger (2013) (10), nach Erhebung der Quotienten, Verbesserungen der Kraftausdauer verzeichnet werden. Die Drehmomente der Wiederholungen 19-24 der Ausdauerstests verbesserten sich dabei in ähnlicher Weise wie bei der eigenen Studie. Die Quotienten verbesserten sich bei Driedger stärker, da bei den Wiederholungen 2-6 keine deutlichen Veränderungen stattfanden.

Hier ist zu erkennen, dass die Ergebnisse stark von der Methode der Auswertung abhängen. Wenn man zusätzlich dazu den mentalen Anteil an einer Kraftausdauerleistung beachtet, wird ersichtlich, dass weitgehende Interpretationen der Kraftausdauerleistungen beim Okklusionstraining nicht unbedingt aussagekräftig sein können.

Bei Betrachtung der Abbildung 28 in Kapitel 3.3, in welcher die Mittelwerte der **Schmerzangaben** aufgetragen sind, ist zu erkennen, dass die Werte für das rechte Bein über den gesamten Trainingszeitraum hinweg deutlich über denen des linken Beines lagen. Dies gilt unabhängig davon, ob die Extension- oder Flexionsbewegung betrachtet wird. Die Kurven des rechten Beins steigen sowohl für die Extension als auch für die Flexion zwischen dem ersten und dritten Training stark an. Das kann durch die Drucksteigerung von 60 mmHg über 80 mmHg zu den 100 mmHg erklärt werden, die anschließend für den restlichen Trainingszeitraum beibehalten wurden.

Folglich ist der Grafik zum einen zu entnehmen, dass die Stärke des wahrgenommenen Schmerzes zu Beginn der Trainingsphase eindeutig vom angewendeten Okklusionsdruck abhing. Zum anderen konnte festgestellt werden, dass die Schmerzen beim Versuchsbein im Verlauf der Trainingsphase stärker abnahmen als beim Kontrollbein. Auch wenn die Differenz zwischen dem Schmerzempfinden des rechten und dem des linken Beins zunehmend geringer wurde, war der Schmerz am Ende der Trainingsphase im rechten Bein immer noch deutlich höher, als beim linken. Dass jedoch an beiden Beinen ein Rückgang der Schmerzen verzeichnet werden konnte, wies auf eine gewisse Adaption beziehungsweise eine Gewöhnung an den Schmerz hin, so dass dieser im Verlauf der 10-wöchigen Trainingsphase zunehmend weniger wahrgenommen wurde. Der Effekt der Adaption machte sich allerdings am Versuchsbein, das zu Beginn des Trainings mit dem Druck von 100 mmHg sehr viel stärker schmerzte, stärker bemerkbar.

Weiter liegen keine Hinweise vor, dass die einzelnen auffällig schmerzfreien Probanden in besonderer Weise auf das Training reagierten.

Bei der Auswertung der **Borg-Skala** (dargestellt in Abbildung 29 in Kapitel 3.4) ist zunächst bemerkenswert, dass die Probanden das Training des

Versuchsbeins im Vergleich zum Kontrollbein als belastender empfanden. Ein Grund hierfür könnte sein, dass es beim Training des okkludierten Muskels zu einem hohen Druck im Oberschenkel kommt. Das resultierende Sauerstoffdefizit könnte die höhere Belastungsempfindung erklären. Während das Kontrollbein trainierte, war der Druck im Oberschenkel des Versuchsbeins durch fehlende Muskelanspannung sicher geringer. So könnte von einer besseren Herz-Kreislauffunktion ausgegangen werden. Das könnte wiederum die, von den Probanden als geringer wahrgenommene, Belastung erklären.

In einer Studie von Vieira et al. (2014) (44) wurde ebenfalls die Belastungsempfindung untersucht. Hier wurde das Belastungsempfinden von Gruppen, die mit Okklusion ein niederintensives Krafttraining durchführten mit dem von Gruppen, die mit hoher Intensität ohne Okklusion trainierten verglichen. Dabei wurden signifikant höhere Belastungen der unter Okklusion trainierenden Probanden registriert, obwohl die Trainingsintensität geringer war. Dieses Ergebnis bestätigt den in der eigenen Studie festgestellten Sachverhalt, dass das Okklusionstraining als anstrengender wahrgenommen wird.

Ebenso interessant ist es, dass die Belastungsempfindung bei beiden Beinen im Verlauf der Trainingsphase sank. Das kann einerseits durch einen bereits erzielten Trainingseffekt, der das Training mit gleich bleibender Intensität immer leichter erscheinen ließ, erklärt werden. Andererseits ist es möglich, dass die Schwelle, an der die Probanden die Belastung in einer bestimmten Stärke wahrgenommen hatten, durch Adaptionenmechanismen anstieg.

Interessant ist auch, dass es bei der geringen Trainingsintensität überhaupt zu teils hohen Belastungen kommen konnte. Die einzig sinnvolle Erklärung hierfür könnte wiederum die relative Untrainiertheit der Probanden sein.

4.3 Schlussfolgerung

Ziel dieser Studie war es, die Effekte eines Krafttrainings unter Okklusionsbedingungen genauer zu durchleuchten. Zahlreiche Hinweise, dass ein Okklusionstraining der Extremitäten die Krafftähigkeit verbessern könnte und zu einer Muskelhypertrophie führen könnte, auch wenn das Training mit unterschwellig niedriger Intensität durchgeführt wird, lagen bereits vor (17). Diese Phänomene konnten in dieser Studie bestätigt werden. Es wurde

allerdings in mehreren Studien deutlich, dass keine zweifellos auf das Training mit der Okklusionsmanschette zurückzuführenden Ergebnisse erzielt werden konnten, wenn Versuchs- und Kontrollbein in einer Person vereint waren. Auch war die Probandenstichprobe zahlenmäßig am unteren Limit, und es lagen zum Teil große individuelle Schwankungen der Ergebnisse vor, so dass die Gesamtergebnisse auch stark von einzelnen Probanden beeinflussbar waren. Daher erscheint es sinnvoll, weitere Studien unter gleichen Bedingungen mit einem möglichst identischen Probandenklientel durchzuführen, um zu prüfen ob die hier festgestellten Ergebnisse bestätigt werden können. Außerdem wäre die Durchführung einer weiteren, ansonsten identischen Studie empfehlenswert, in der die Versuchs- und Kontrollgruppen nicht in ein und derselben Person vereinigt sind. Auch wenn keine endgültige Sicherheit der Wirkung eines Okklusionstrainings nach Beendigung dieser Studie vorliegt sind die Hinweise auf einen positiven Effekt eindeutig genug, um der Trainingsmethode eine Perspektive zu geben. Besonders interessant könnte das Okklusionstraining als Alternative zum hochintensiven Krafttraining für ältere und sich in Rehabilitation befindliche Patienten sein. Hier besteht Hoffnung auf gute Trainingseffekte, ohne eine starke Belastung des Bewegungsapparates durch hohe Gewichte. Bei dem normalen höherintensiven Krafttraining würden solch hohe Gewichte zum Einsatz kommen, die auf Grund der Belastung besonders für die angesprochenen Personengruppen unerwünscht oder nicht tragbar sein können.

Ein Nachteil des Okklusionstrainings sind die Schmerzen und die höhere Belastungsempfindung, die die Kompression der Muskulatur mit sich bringt. Das könnte bedeuten, dass sich die Trainingsmethodik nur für äußerst motivierte Teilnehmer eignet. Insofern bleibt es weiter abzuwarten, inwiefern sich das Okklusionstraining in Zukunft als anerkannte Trainingsform etablieren kann.

5. Zusammenfassung

Mit dem Ziel, neue Erkenntnisse über die Wirkungen eines Krafttrainings unter verminderter Blutzufuhr zu gewinnen, oder bereits vorher bekannte Tendenzen der Wirkung solch eines Trainings zu bestätigen, wurde diese Studie geplant. Dabei wurden die Fragestellungen, ob sich eine Verbesserung der Maximalkraft und der Kraftausdauer mit Hilfe eines Okklusionstrainings der Oberschenkelmuskulatur bei einer Trainingsintensität von 40% des Einwiederholungsmaximums erzielen lässt und ob sich signifikante Veränderungen der Hautfaldendicke und des Oberschenkelumfanges bei einem Okklusionstraining mit einer Trainingsintensität von 40% feststellen lassen, formuliert.

Die Teilnehmer der Studie waren 17 Männer im Alter von 40 bis 60 Jahren. Sie betätigten sich vorher lediglich in ihrer Freizeit in geringem Umfang sportlich oder trieben bisher keinen Sport. Die Probanden absolvierten eine 10-wöchige Trainingsphase in der sie 2-mal pro Woche an einem Krafttraining der Beine teilnahmen. Es wurde die Beinstreckung und Beinbeugung mit einer niedrigen Trainingsintensität von 40% des 1-RM trainiert. Eine Trainingseinheit umfasste pro Bein und Übung jeweils 3 Sätze aus je 20 Wiederholungen. Während des Trainings wurde bei allen Probanden das rechte Bein als Versuchsbein unter Einschränkung der Blutzufuhr trainiert. Dazu wurde eine Manschette mit einem Druck von etwa 100 mmHg am Oberschenkel angelegt. Der Druck wurde in den kurzen Pausen zwischen den Übungen der Streckmuskulatur und denen der Beugemuskulatur, die an 2 verschiedenen Trainingsgeräten stattfanden, sowie in den kurzen Satzpausen beibehalten. Vor und nach der Trainingsphase wurden anthropometrische Daten wie die Hautfaldendicke am Oberschenkel und der Oberschenkelumfang an 2 verschiedenen Stellen gemessen. Außerdem wurden isometrische und isokinetische Maximalkraftwerte und isokinetische Kraftausdauerwerte mit verschiedenen Krafttests erhoben.

Die Auswertung der Daten lieferte etwa übereinstimmende Ergebnisse für beide Beine. Es konnten signifikante Verringerungen der Hautfaldendicken (rechts $p < 0,001$, links $p = 0,001$) und durchschnittliche Zunahmen der Oberschenkelumfänge an beiden Messstellen verzeichnet werden (10 cm über

Patellaoberkante: rechts $p < 0,05$, links $p > 0,05$; 20 cm über Patellaoberkante: rechts $p > 0,05$, links $p < 0,05$). Das gibt Hinweise auf eine über den Trainingszeitraum stattgefundene Hypertrophie der Oberschenkelmuskulatur. Außerdem konnten sich fast alle gemessenen Kraftparameter signifikant bei beiden Beinen verbessern (isometrische Maximalkraft Extension: rechts + links $p > 0,05$; Flexion: rechts $p < 0,001$, links $p < 0,01$; isokinetische Maximalkraft 60%/s Extension: rechts $p = 0,001$, links $p < 0,001$; Flexion: rechts $p < 0,001$, links $p = 0,001$; isokinetische Maximalkraft 120%/s Extension: rechts $p < 0,01$, links $p < 0,05$; Flexion: rechts $p < 0,001$, links $p < 0,05$; isokinetische Kraftausdauer Extension: rechts $p < 0,01$, links $p = 0,001$; Flexion: rechts $p < 0,05$, links $p < 0,05$). Insbesondere eine Verbesserung der Maximalkraft konnte so bewiesen werden. Die Kraftausdauer verbesserte sich bei der in diesem Versuch angewendeten Methodik der Auswertung ebenfalls. Signifikante Unterschiede zwischen den Wirkungen des Okklusionstrainings am Versuchsbein und den Wirkungen des Trainings am Kontrollbein konnten nicht nachgewiesen werden ($p > 0,05$).

Dennoch erscheint es wahrscheinlich, dass die Kompression der Muskulatur während des Trainings zu einer Ischämie führen konnte, welche wiederum für erhöhte Ausschüttung von Hormonen und Wachstumsfaktoren gesorgt hat. Durch diese systemische Wirkung haben vermutlich beide Beine profitieren können. Zusätzlich dazu ist ein kontralateraler Trainingseffekt denkbar, der immer auftreten kann, auch wenn nur einseitig trainiert wird. Nicht auszuschließen ist es jedoch, dass die Trainingsintensität von 40% für die relativ untrainierten Probanden bereits ohne Anlegen einer Manschette zu einem geringen überschwelligem Trainingsreiz hätte führen können. Das Ausmaß der Verbesserung der Kraftwerte sprach hier allerdings dafür, dass die erzwungene Ischämie in der Muskulatur mitverantwortlich für die Verbesserung gemacht werden kann. Dem Okklusionstraining kann somit eine Perspektive, insbesondere im Bereich des Trainings älterer Menschen und im Bereich der Rehabilitation, gegeben werden. Durch die Okklusion der Muskulatur soll hier auf hohe Trainingsintensitäten, die normalerweise nötig wären um trainingswirksame Reize zu erzielen, verzichtet werden können.

6. Literaturverzeichnis

1. Abe T, Kearns CF, Sato Y (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu walk training. *J Appl Physiol*, 100(5): 1460-1466.
2. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, Nakajima T (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 33(1): 34-40.
3. Bäumer R, Maiwald A (2008). *Onkologische Pflege: 225-226*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
4. Borg G (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Dtsch Arztlbl*, 101(15): 1016-1021.
5. Bühl A, Zöfel P (2005). *SPSS 12: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows (9., überarbeitete Auflage): 113*. Pearson Studium, München.
6. Clark BC, Manini TM, Hoffman RL, Williams PS, Guiler MK, Knutson MJ, McGlynn ML, Kushnick MR (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports*, 21(5): 653-662.
7. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM (2014). Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1): 166-172.
8. Cook SB, Clark BC, Ploutz-Snyder LL (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10): 1708-1713.
9. Credeur DP, Hollis BC, Welsch MA (2010). Effects of handgrip training with venous restriction on brachial artery vasodilatation. *Med Sci Sports Exerc*, 42(7): 1296-1302.
10. Driedger T (2013). *Effekte eines Krafttrainings unter verminderter Durchblutung bei Frauen mittleren Alters. Wissenschaftliche Arbeit im Rahmen der Diplomprüfung im Studiengang Sportwissenschaft*. Eberhard Karls Universität Tübingen.

11. Ehlenz H, Grosser M, Zimmermann E (2003). Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme (7. überarbeitete Auflage):127. BLV Sportwissen, München.
12. Frey G, Hildebrand E (2002). Einführung in die Trainingslehre, Teil 1: Grundlagen (2., erweiterte und überarbeitete Auflage): 31. Karl Hofmann Verlag, Schorndorf .
13. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, Dhanani S, Volpi E, Rasmussen BB (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol*, 108(5): 1199-1209.
14. Fuchs C (2011). Effekte eines Krafttrainings unter Okklusionsbedingungen bei jungen Frauen. Wissenschaftliche Arbeit, im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Eberhard Karls Universität Tübingen.
15. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, Volpi E, Rasmussen BB (2007). Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol*, 103(3): 903-910.
16. Gabriel H (2006). Bewegungsarmut bis Übertraining, Auswirkungen von Sport auf das Immunsystem. *Notfall Hausarztmed*, 32: 411-415.
17. Heitkamp HC (2014). Training with blood flow restriction – Mechanisms, gain in strength and safety. *J Sports Med Phys Fitness*, 54: In press.
18. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben MG (2007). Overview of neuromuscular adaptations of skeletal muscle to KAATSU training. *Int J Kaatsu Training Res*, 3: 1-9.
19. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben MG (2010). The effects of low intensity training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol*, 108(1): 147-155.
20. Karabulut M, Bemben DA, Sherk VD, Anderson MA, Abe T, Bemben MG (2011). Effects of high-intensity resistance training and low-intensity resistance training with vascular restriction on bone markers in older men. *Eur J Appl Physiol*, 111(8): 1659-1667.
21. Karabulut M, Sherk VD, Bemben DA, Bemben MG (2013). Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. *Clin Physiol Funct Imaging*, 33(5): 393-399.

22. Keller K, Engelhardt M (2013). Muskelatrophie durch Mobilisationseinschränkung. *Sportverletz Sportschaden*, 27: 91-95.
23. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW, (2012). Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11): 2077-2083.
24. Laurentino G, Ugrinowitsch C, Aihara AY, Fernandes AR, Parcell AC, Ricard M, Tricoli V (2008). Effects of strength training and vascular occlusion. *Int J Sports Med*, 29(8): 664-667.
25. Laurentino G, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M Jr, Aihara AY, Fernandes AR, Tricoli V (2012). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc*, 44(3): 406-412.
26. Loenneke JP, Young KC, Wilson JM, Andersen JC (2013). Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: a case review, *J Bodyw Mov Ther*, 17(1): 42-45.
27. Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, de Souza EO, Machado M, Dudeck JE, Wilson JM (2013). Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2013 Nov 4. doi: 10.1111/cpf.12099. [Epub ahead of print].
28. Manini TM, Vincent KR, Leeuwenburgh CL, Lees HA, Borst SE, Clark BC (2011). Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise. *Acta Physiol*, 201(2): 255-263.
29. Mc Ardle WD, Katch FI, Katch VL (2007). *Exercise Physiology. Energy Nutrition and Human Performance* (6. Auflage): 512. Lippincott Williams & Wilkins.
30. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro H, Sato Y, Nagata T (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *Int J Kaatsu Training Res*, 2: 5-13.
31. Operator's manual, Lange skinfold caliper, Beta Technology Incorporated (Santa Cruz CA, USA): 3-9.
32. Ozaki H, Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki-Sunaga M, Naito H, Abe T (2013). Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur J Appl Physiol*, 113(1): 167-174.

33. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, Castracane VD (2006). Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol*, 101(6): 1616-1622.
34. Schiff B (2010). Effekte eines Krafttrainings unter verminderter Durchblutung. Wissenschaftliche Arbeit im Rahmen der Diplomprüfung im Studiengang Sportwissenschaft. Eberhard Karls Universität Tübingen.
35. Schumacher M, Schulgen G (2007). Methodik klinischer Studien: Methodische Grundlagen der Planung, Durchführung und Auswertung (2. erweiterte und überarbeitete Auflage): 261. Springer-Verlag, Berlin.
36. Sumide T, Sakuraba K, Sawaki K, Ohmura H, Tamura Y (2007). Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J Sci Med Sport*, 12(1): 107-112.
37. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, Hirose K (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol*, 95(1): 65-73.
38. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*, 88(1): 61-65.
39. Takarada Y, Sato Y, Ishii, N (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion of muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 86(4): 308-314.
40. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N (2004). Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jap J Physiol*, 54(6): 585-592.
41. Tanimoto M, Madarame H, Ishii N (2005). Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between Kaatsu and other types of regimen. *Int J Kaatsu Training Res*, 1: 51-56.
42. Teramoto M, Golding LA (2006). Low-intensity exercise, vascular occlusion and muscular adaptations. *Res Sports Med*, 14(4): 259-271.
43. Thiebaud RS, Yasuda T, Loenneke JP, Abe T (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interv Med Appl Sci*, 5(2): 53-59.

44. Vieira A, Gadelha AB, Ferreira-Junior JB, Vieira CA, de Melo Keene von Koenig Soares E, Cadore EL, Wagner DR, Bottaro M (2014). Session rating of perceived exertion following resistance exercise with blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2014 Jan 19. doi: 10.1111/cpf.12128. [Epub ahead of print].
45. Viru M, Jansson E, Viru A, Sundberg CJ (1998). Effect of restricted blood flow on exercise induced hormone changes in healthy men. *Eur Appl Physiol*, 77(6): 517-522.
46. Weineck J (2007). *Optimales Training, Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (15. Auflage): 489-490. Spitta Verlag GmbH & Co. KG, Balingen.
47. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res*, 27(11): 3068-3075.
48. Wirth A, Hauner H (2013). *Adipositas: Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie* (4., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage): 101-103. Springer-Verlag, Berlin.
49. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T (2008). Muscle activation during low intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *J Sports Sci Med*, 7(4): 467-474.
50. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 30(5): 338-343.
51. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Bemben MG, Abe T. (2011). Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training, *Clin Physiol Funct Imaging*, 31(5): 347-351.
52. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T (2012). Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *PLoS One*, 7: 12.

7. Anhang

7.1 Informationsblatt

Folgende Kriterien sollten Sie erfüllen um an der Studie teilnehmen zu können:

- männlich
- 40 – 60 Jahre
- Sie betreiben **KEINEN exzessiven** Kraftsport in ihrer Freizeit
- Sie leiden nicht an Knieproblemen oder Muskelverletzungen im Oberschenkel
- Sie leiden nicht an Thrombosen
- Sie sind bereit an einem 10 wöchigen Bein-Krafttraining teilzunehmen. Das Training findet 2mal pro Woche statt und dauert ca. 30 min.

Aufbau und Ablauf der Studie:

Studienbeginn: **Ende Juli 2012** Studienende: **Mitte Oktober 2012**

Vor und nach der 10 wöchigen Trainingsphase wird jeweils ein Krafttest durchgeführt, dieser findet im Sportmedizinischen Institut in Tübingen statt. Dabei werden Maximalkraftwerte und Kraftausdauerwerte ermittelt und der Trainingserfolg festgestellt.

Das **Training** soll dann über die Sommermonate stattfinden und sieht folgendermaßen aus:

- 2 mal pro Woche wird die Beinkraft unter Anleitung trainiert.
- Die Trainingseinheiten dauern ca. 30 min.
- Als Trainingsgerät dient ein Beincurler.
- Es wird die vordere Oberschenkelmuskulatur („Strecker“) und die hintere Oberschenkelmuskulatur („Beuger“) trainiert.

Um den Effekt der Sauerstoffverminderung festzustellen trainiert ein Bein mit Blutdruckmanschette und eines ohne. **Wichtig ist, dass Sie regelmäßig** an dem Training teilnehmen können und höchstens **2 mal fehlen!**

Selbstverständlich werden alle erhobenen Daten und Messwerte nur in anonymisierter Form ausgewertet und so in die wissenschaftliche Arbeit einbezogen.

Ich hoffe nun, dass ich ihr Interesse wecken konnte und einige von ihnen Lust haben an der Studie teilzunehmen!

Für weitere Fragen stehe ich natürlich jederzeit zu Verfügung.

Kathrin Hasler



Medizinische Klinik und Poliklinik
Abteilung Sportmedizin
Prof. Dr. med. H.-C. Heitkamp
Hoppe-Seyler-Straße 6
72076 Tübingen

Ansprechpartner: Kathrin Hasler
Email: kathrin.hasler@web.de
Tel: 0151-47904224 und 07031-7856862

INFORMATIONSBLATT ZUR SPORTMEDIZINISCHEN STUDIE

Thema: „Effekte eines Krafttrainings der Beine unter verminderter Blutzufuhr bei Männern im Alter von 40 bis 60 Jahren“

Sehr geehrte Herren,

im Rahmen meiner medizinischen Doktorarbeit möchte ich eine Studie zu dem oben genannten Thema durchführen.

In den USA und Japan wurden bereits einige Studien durchgeführt, welche die These stützen, dass ein niederintensives Krafttraining hohe Effekte erzielen kann, wenn das Training unter eingeschränkter Blutzufuhr stattfindet. Beim Beintraining wird die Blutzufuhr mit einer Blutdruckmanschette am Oberschenkel eingeschränkt. Der Muskulatur die trainiert wird steht dann weniger Sauerstoff zur Verfügung. Dadurch wird dem Muskel quasi eine höhere Trainingsintensität vorgetäuscht.

Ziel der Studie ist es ein Trainingsprogramm für ältere oder verletzte Patienten zu entwickeln, welche nicht in der Lage sind mit ausreichend hoher Trainingsintensität zu trainieren um gewünschte Effekte zu erzielen.

Für eine erfolgreiche Durchführung der Studie brauche ich ihre Mithilfe!

7.2 Einwilligungserklärungen



Medizinische Klinik und Poliklinik
Abteilung Sportmedizin
Hoppe-Seyler-Straße 6
72076 Tübingen

Prof. Dr. H. Ch. Heitkamp
Prüfartz
Tel./Fax: 07071-29-80696/-5162
E-Mail: hans-christian.heitkamp@med.uni-tuebingen.de



Medizinische Klinik und Poliklinik
Abteilung Sportmedizin
Hoppe-Seyler-Straße 6
72076 Tübingen

Prof. Dr. H. Ch. Heitkamp
Prüfartz
Tel./Fax: 07071-29-80696/-5162
E-Mail: hans-christian.heitkamp@med.uni-tuebingen.de

Einwilligungserklärung zum Datenschutz

„Effekte eines Krafttrainings unter verminderter Blutzufuhr“

Hiermit bestätige ich, dass ich gemäß der nachfolgenden Erklärung über den Umgang mit personenbezogenen Daten informiert wurde:

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten *ohne Namensnennung* auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet werden. Die Weitergabe der erhobenen Daten an Dritte (d.h. Personen, die mit der weiteren Bearbeitung der Daten betraut sind), die Auswertung sowie die Veröffentlichung der Daten erfolgt ausschließlich in pseudonymisierter Form, d.h. ein Personenbezug kann allein anhand dieser Daten deshalb *nicht* festgestellt werden.
Ebenso erkläre ich mich damit einverstanden, dass ein autorisierter und zur Verschwiegenheit verpflichteter Beauftragter der zuständigen Überwachungsbehörde oder der zuständigen Bundesbehörde in meinen, beim Prüfartz vorhandenen personenbezogenen Daten, Einsicht nimmt, soweit dies für die Überprüfung der Studie notwendig ist. Für diese Maßnahme entbinde ich den Prüfartz von der ärztlichen Schweigepflicht.

Proband (Name, Vorname) _____ Geb.datum _____

Ort, Datum _____ Unterschrift Proband _____

Aufklärung durchgeführt:

Datum _____ Name _____

Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme

„Effekte des Krafttrainings unter verminderter Blutzufuhr“

Hiermit erkläre ich, dass ich über die Ziele, den Ablauf, die Dauer und den Nutzen der Studienteilnahme aufgeklärt worden bin.

Die Teilnahmeinformationen habe ich gelesen und ebenso hatte ich die Möglichkeit Fragen dazu zu stellen. Kopien des Informationsblattes und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ich bin darüber informiert, dass die Teilnahme an der Untersuchung vollkommen freiwillig ist und ich das Einverständnis zur Teilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen kann. Dadurch würden keine Nachteile, auch nicht in der Behandlung in der Sportmedizin Tübingen, für mich entstehen.

Proband (Name, Vorname) _____ Geb.datum _____

Ort, Datum _____ Unterschrift Proband _____

Aufklärung durchgeführt:

Datum _____ Name _____

7.3 Fragebogen

FRAGEBOGEN

Probandennummer: _____

1. Infos zur Person:

Name: _____ Vorname: _____
 Telefon: _____ E-Mail: _____
 Geburtsdatum: _____ Alter: _____
 Körpergröße: _____ Gewicht: _____

2. Körperliche Aktivität im Alltag:

Beruf: _____
 Ich arbeite dabei überwiegend
 sitzend stehend in Bewegung

Den Weg zur Arbeit bestreite ich

zu Fuß (ca: _____ min/ Arbeitstag) Auto
 Fahrrad (ca: _____ min/ Arbeitstag) Bus/Bahn

Meine alltägliche berufliche Tätigkeit strengt mich körperlich ...

sehr stark stark mittelmäßig leicht gar nicht
 ... an.

3. Sportliche Aktivität in der Freizeit:

Treiben Sie in ihrer Freizeit regelmäßig Sport? Ja Nein

Wenn ja:

Wie oft pro Woche? _____

Wieviele Stunden insgesamt pro ? _____

Welche Sportart(en) ? _____

Probandennummer: _____

Schätzen Sie ihren Trainingszustand selbst ein!

untrainiert
 sporadische sportliche Aktivitäten
 regelmäßiges Training 1-2 mal pro Woche
 regelmäßiges Training 3-4 mal pro Woche
 häufigeres, fast tägliches Training / Leistungssportler

Verrichten Sie außerhalb ihres Berufes anstrengende körperliche Arbeiten?

Ja Nein

Wenn ja, welche? _____

Habern Sie als Kind/ Jugendliche eine Sportart intensiv betrieben?

Ja Nein

Wenn ja, welche und wie lange? _____

4. Allgemeines:

Nehmen Sie irgendwelche Medikamente? Ja Nein

Wenn ja, welche Medikamente und wogegen wirken diese? _____

Leiden Sie oder jemand in ihrer Verwandtschaft unter Thrombosen bzw. Gerinnungsstörungen?
 Ja Nein

Wenn ja, genauere Beschreibung und Verwandtschaftsverhältnis: _____

7.4 Biometrische Daten

Proband	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	Körperfett [%]
1	43	177	100	31,2
2	50	180	66	15,6
3	41	173	61	15,0
4	53	170	82	30,6
5	60	170	69	26,5
6	56	187	90	22,0
7	59	181	87	22,9
8	55	180	74	30,4
9	52	178	87	29,2
10	40	190	103	31,2
11	59	176	59	24,7
12	43	172	72	24,6
13	51	176	71	24,0
14	54	179	64	22,0
15	55	174	84	30,4
16	50	168	80	32,7
17	41	186	82	19,6

7.5 Datenerhebung aus dem Fragebogen

Proband	Beruf	Arbeitsweg	Bewegung/ Belastung im Alltag	Freizeitsport	Sport pro Woche [h]	Trainingszustand	sportliche Aktivität im Jugendalter	Medikamente
1	Dozent	Bus/ Bahn/ Auto	keine	Rad Schwimmen Fußball	1	sportliche Aktivität: sporadisch	ja	nein
2	Dozent	Fahrrad	mittlere	Ausdauer	3	Training 1-2x/ Woche	nein	nein
3	Ingenieur	zu Fuß	keine	Ausdauer	6	Training 3-4x/ Woche	nein	nein
4	Ingenieur	Fahrrad	keine	Fußball	2	Training 1-2x/ Woche	nein	Candesartan
5	Universitätsangestellter	Bus/ Bahn/ Auto	mittlere	Schwimmen	1	sportliche Aktivität: sporadisch	ja	Nifedipin
6	Universitätsangestellter	Fahrrad	keine	Ball sport	2	sportliche Aktivität: sporadisch	nein	nein
7	Beamter	zu Fuß	mittlere	Ausdauer	3	Training 1-2x/ Woche	ja	nein
8	Ingenieur	Bus/ Bahn/ Auto	keine	Ausdauer	2	Training 1-2x/ Woche	nein	nein
9	Universitätsangestellter	Bus/ Bahn/ Auto	keine	Ausdauer Ball sport	4	Training 1-2x/ Woche	ja	nein
10	Außendienst	Bus/ Bahn/ Auto	keine	Ausdauer Ball sport	4	Training 3-4x/ Woche	ja	nein
11	Universitätsangestellter	Fahrrad	keine	Rad Schwimmen Ausdauer	4	Training 1-2x/ Woche	nein	nein
12	Universitätsangestellter	Fahrrad	keine	X	0	sportliche Aktivität: sporadisch	nein	nein
13	Universitätsangestellter	zu Fuß	keine	X	0	sportliche Aktivität: sporadisch	ja	nein
14	Universitätsangestellter	Fahrrad	keine	Rad	1	sportliche Aktivität: sporadisch	nein	nein
15	Informatiker	Bus/ Bahn/ Auto	mittlere	X	0	untrainiert	ja	nein
16	Selbstständig	Bus/ Bahn/ Auto	mittlere	X	0	untrainiert	nein	nein
17	Universitätsangestellter	Fahrrad	mittlere	Rad Schwimmen Fußball Ball sport	6	Training 1-2x/ Woche	nein	nein

7.6 7-10-RM, 1-RM und Trainingsgewichte

Proband	7-10-RM Extension [kg]	7-10-RM Flexion [kg]	1-RM Extension [kg]	1-RM Flexion [kg]	Trainingsgewicht Extension [kg]	Trainingsgewicht Flexion [kg]
1	31	28	43	38	17	15
2	23	20	30	25	12	10
3	26	26	38	38	15	15
4	23	19	30	24	12	10
5	23	17	30	21	12	8
6	23	23	30	30	12	12
7	32	47	45	63	18	25
8	25	32	34	45	13	18
9	28	27	38	37	15	15
10	30	33	41	46	16	18
11	21	17	27	21	11	8
12	21	30	27	41	11	16
13	22	20	29	26	12	10
14	23	20	30	26	12	10
15	23	26	30	35	12	14
16	24	30	32	41	13	16
17	28	27	38	37	15	15

7.7 Schmerzparameter

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
5	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	2	1	1	7
	4	1	1	1	6
	5	1	1	1	7
	6	1	1	1	6
	7	1	1	1	6
	8	1	1	1	5
	9	1	1	1	4
	10	1	1	1	4
	11	1	1	1	5
	12	1	1	1	5
	13	1	1	1	2
	14	1	1	1	3
	15				
	16				
	17	1	1	1	4
	18	1	1	1	2
	19	1	1	1	3
	20	1	1	1	2
6	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	4
	3	8	1	1	6
	4	5	1	1	7
	5	5	1	1	5
	6	6	1	1	7
	7	5	1	1	6
	8	6	1	1	7
	9	6	1	1	6
	10	6	1	1	6
	11	5	1	1	6
	12	4	1	1	5
	13	4	1	1	6
	14				
	15	4	1	1	9
	16	6	1	1	5
	17	6	1	1	6
	18	5	1	1	4
	19	4	1	1	5
	20	5	1	1	4

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
3	1	3	1	4	1
	2	2	1	4	1
	3	4	1	5	1
	4	5	1	5	1
	5	5	1	4	1
	6	4	1	4	1
	7	3	1	2	1
	8	3	1	4	1
	9	2	1	2	1
	10	2	1	3	1
	11	2	1	2	1
	12	1	1	2	1
	13				
	14				
	15	1	1	2	1
	16	2	1	3	1
	17	2	1	1	1
	18	3	1	2	1
	19	2	1	2	1
	20	2	1	2	1
4	1	1	1	1	1
	2	3	3	7	3
	3	4	1	7	1
	4	6	1	6	1
	5	5	1	7	1
	6	7	2	6	3
	7	6	2	5	2
	8	5	1	6	3
	9				
	10	5	1	5	1
	11	4	3	5	2
	12				
	13	5	2	4	2
	14	4	2	6	1
	15	4	1	3	1
	16	4	2	4	2
	17	4	1	3	1
	18	3	1	3	1
	19	3	1	4	1
	20	4	1	4	2

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
1	1	7	5	6	5
	2	8	6	7	5
	3	9	6	8	4
	4	9	5	7	5
	5				
	6	9	5	7	5
	7	8	5	6	4
	8	7	5	7	5
	9	7	5	7	5
	10	8	5	7	5
	11	8	4	6	4
	12	7	5	6	4
	13	7	5	6	4
	14	6	4	5	4
	15	7	5	5	3
	16	7	5	5	4
	17	5	4	4	2
	18	6	4	6	4
	19	5	4	5	3
	20				
2	1	1	1	1	1
	2	6	1	8	3
	3	10	1	9	1
	4	8	1	7	1
	5	8	1	7	1
	6	9	1	9	1
	7	9	1	8	1
	8	8	1	9	1
	9				
	10	9	1	9	1
	11	8	1	7	1
	12	9	1	10	1
	13	10	1	7	1
	14	8	1	8	1
	15	8	1	8	1
	16	9	1	10	1
	17	9	1	9	1
	18	8	1	9	1
	19	9	1	9	1
	20	9	1	9	1

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
11	1	5	5	5	4
	2	8	5	6	5
	3	8	5	7	5
	4	8	5	6	5
	5	6	3	7	6
	6	7	5	5	4
	7	8	5	6	4
	8	7	6	6	5
	9	8	4	7	3
	10	7	5	5	4
	11	7	6	6	3
	12	7	5	5	4
	13	5	4	6	4
	14	6	5	4	3
	15	6	3	4	3
	16	4	3	3	3
	17	4	3	3	3
	18	5	4	4	3
	19	6	3	4	3
	20	4	3	4	4
12	1	4	4	3	1
	2	7	4	4	1
	3	8	4	9	1
	4	6	4	6	1
	5	6	3	7	5
	6	6	4	6	1
	7	4	4	6	1
	8	6	3	6	3
	9	4	3	6	2
	10	4	2	4	2
	11	5	3	5	1
	12	5	3	4	2
	13	6	3	4	1
	14				
	15	4	4	5	3
	16	6	3	5	1
	17	5	3	5	1
	18	5	4	4	1
	19	4	3	4	1
	20	6	3	4	1

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
9	1	3	1	1	1
	2	3	1	3	1
	3	4	1	3	1
	4	3	1	3	1
	5	3	1	3	1
	6	2	1	3	1
	7	3	1	3	1
	8	1	1	4	1
	9	4	1	3	1
	10	2	1	1	1
	11	3	1	1	1
	12	1	1	1	1
	13	1	1	1	1
	14	1	1	1	1
	15				
	16	1	1	1	1
	17	1	1	3	1
	18	1	1	3	1
	19	1	1	1	1
	20	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
	4	1	1	1	1
	5	1	1	1	1
	6	1	1	1	1
	7	1	1	1	1
	8	1	1	1	1
	9	1	1	1	1
	10	1	1	1	1
	11	1	1	1	1
	12	1	1	1	1
	13	1	1	1	1
	14	1	1	1	1
	15	1	1	1	1
	16	1	1	1	1
	17	1	1	1	1
	18				
	19	1	1	1	1
	20	1	1	1	1

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
7	1	3	1	2	2
	2	2	1	2	2
	3	7	1	7	4
	4	6	1	6	4
	5	6	1	6	4
	6	4	1	4	4
	7	6	2	6	3
	8	6	3	5	4
	9	5	3	4	4
	10	5	1	5	3
	11	4	1	5	3
	12	6	1	5	4
	13	5	1	5	3
	14	4	1	4	3
	15				
	16	5	1	5	3
	17	4	1	5	4
	18	4	2	4	2
	19	4	1	4	2
	20	4	1	4	3
8	1	6	5	6	6
	2	7	4	7	4
	3	5	4	6	5
	4	5	3	8	3
	5	5	4	6	4
	6	4	3	4	1
	7	4	3	4	3
	8	3	2	3	2
	9	5	3	4	2
	10	3	2	3	1
	11	2	1	2	1
	12	2	1	2	1
	13	3	1	3	1
	14	4	3	4	2
	15				
	16	2	1	2	1
	17	2	1	2	1
	18	3	1	3	1
	19	2	1	2	1
	20	2	1	2	1

Proband	Training	Extension re	Extension ii	Flexion re	Flexion ii
17	1	4	1	4	1
	2	6	1	6	1
	3	7	1	7	1
	4	5	1	5	1
	5	5	1	5	1
	6	6	1	6	1
	7	7	1	7	1
	8	7	1	6	1
	9	6	1	6	1
	10	4	1	4	1
	11	5	1	4	1
	12	5	1	5	1
	13	5	1	5	1
	14	6	1	6	1
	15	6	1	6	1
	16	4	1	4	1
	17	5	1	5	1
	18	5	1	5	1
	19	6	1	6	1
	20	5	1	5	1

Proband	Training	Extension re	Extension ii	Flexion re	Flexion ii
15	1	4	2	5	3
	2	8	6	8	5
	3	6	4	6	4
	4	7	3	8	3
	5	4	1	6	3
	6	4	3	5	2
	7	5	2	6	2
	8	5	2	3	2
	9	3	1	4	2
	10	6	2	2	1
	11	7	2	6	2
	12				
	13	6	4	6	3
	14	5	4	4	2
	15	4	2	4	1
	16	5	2	2	1
	17	4	2	3	1
	18	4	2	3	2
	19	3	1	4	2
	20	3	2	3	1
16	1	7	6	8	7
	2	9	6	9	6
	3	8	6	9	6
	4	8	6	8	7
	5	7	5	8	5
	6	7	6	7	6
	7	8	5	9	5
	8	7	5	8	5
	9	8	5	8	5
	10	7	5	7	5
	11	7	5	6	5
	12				
	13	6	5	6	4
	14	6	5	7	5
	15	5	4	7	5
	16	7	5	5	4
	17	5	4	5	4
	18	6	4	6	5
	19	6	4	6	5
	20	6	4	6	4

Proband	Training	Extension re	Extension ii	Flexion re	Flexion ii
13	1	4	1	3	1
	2	4	1	4	2
	3	7	2	8	2
	4	6	1	8	1
	5	6	1	8	1
	6	7	1	8	1
	7	7	1	8	1
	8	7	1	7	1
	9	6	1	7	1
	10				
	11	6	1	6	1
	12	6	1	7	1
	13	5	1	7	1
	14	5	1	7	1
	15	6	1	6	1
	16	9	1	7	1
	17	6	1	6	1
	18	5	1	6	1
	19	4	1	6	1
	20	5	1	7	1
14	1	4	1	6	1
	2	4	1	6	1
	3	8	1	7	1
	4	8	1	8	1
	5	8	1	6	1
	6	8	1	7	1
	7	6	1	6	1
	8	6	1	5	1
	9	7	1	5	1
	10	7	1	6	1
	11	10	1	6	1
	12	7	1	6	1
	13	7	1	5	1
	14	6	1	5	1
	15				
	16	5	1	5	1
	17	6	1	6	1
	18	6	1	4	1
	19	7	1	6	1
	20	7	1	5	1

7.8 Patientenangaben der Borg-Skala

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
5	1	16	13	14	12
	2	15	13	15	13
	3	15	13	15	13
	4	15	13	15	13
	5	15	13	15	13
	6	14	12	15	13
	7	16	13	15	13
	8	15	11	15	12
	9	15	13	15	13
	10	15	13	15	13
	11	15	13	15	13
	12	15	13	15	13
	13	15	13	15	11
	14	14	12	15	13
	15				
	16				
	17	15	13	14	13
	18	15	13	15	11
	19	15	13	15	12
	20	14	12	15	12
6	1	14	13	14	13
	2	18	14	17	13
	3	17	14	17	14
	4	14	13	18	13
	5	15	12	15	12
	6	14	13	17	13
	7	14	13	15	13
	8	16	13	15	13
	9	16	14	16	14
	10	15	13	16	13
	11	15	14	14	13
	12	14	14	16	13
	13	15	13	16	13
	14				
	15	14	14	14	13
	16	15	14	14	13
	17	15	12	15	13
	18	15	13	16	14
	19	14	13	15	13
	20	15	13	16	13

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
3	1	15	15	17	14
	2	17	14	17	15
	3	16	15	16	15
	4	17	14	16	13
	5	16	14	17	14
	6	16	15	18	14
	7	16	14	16	13
	8	15	13	15	13
	9	15	13	15	14
	10	14	12	15	13
	11	17	14	14	13
	12	16	14	15	13
	13				
	14				
	15	15	13	15	13
	16	16	11	14	11
	17	15	12	15	12
	18	16	11	14	11
	19	15	11	15	13
	20	15	10	14	10
4	1	15	10	15	11
	2	15	14	15	10
	3	14	10	17	11
	4	16	14	18	9
	5	14	11	16	11
	6	15	14	16	10
	7	14	12	16	13
	8	16	13	15	11
	9				
	10	14	14	16	12
	11	13	12	15	13
	12				
	13	13	11	14	13
	14	14	14	17	12
	15	14	10	15	13
	16	15	13	16	12
	17	13	10	14	11
	18	13	13	14	13
	19	13	10	14	11
	20	14	12	15	12

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
1	1	17	14	16	14
	2	18	14	16	13
	3	16	14	17	14
	4	17	13	16	13
	5	17	13	16	13
	6	17	13	16	13
	7	16	14	15	12
	8	17	13	14	11
	9	16	13	14	12
	10	16	14	14	12
	11	15	11	14	12
	12	16	12	15	11
	13	15	12	15	11
	14	15	13	14	11
	15	16	11	14	11
	16	16	12	14	12
	17	15	11	15	12
	18	16	11	14	11
	19	15	11	15	11
	20				
2	1	19	15	19	15
	2	19	14	19	16
	3	20	15	19	16
	4	18	14	18	15
	5	19	14	18	15
	6	20	14	19	16
	7	20	15	18	15
	8	20	13	19	15
	9				
	10	20	14	18	14
	11	19	13	17	12
	12	20	14	18	13
	13	20	14	18	13
	14	19	14	19	12
	15	18	14	19	13
	16	18	13	17	12
	17	19	13	19	11
	18	18	12	19	13
	19	19	13	18	12
	20	19	13	18	12

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
11	1	14	13	14	14
	2	14	13	15	14
	3	18	14	16	14
	4	17	13	15	14
	5	18	13	16	15
	6	16	12	17	13
	7	17	13	14	13
	8	16	11	15	11
	9	16	12	14	13
	10	16	10	13	12
	11	15	11	15	13
	12	15	12	14	10
	13	17	13	16	14
	14	16	13	13	11
	15	15	9	15	13
	16	14	12	14	11
	17	14	11	14	13
	18	15	10	15	13
	19	15	11	14	12
	20	14	10	14	13
12	1	14	13	16	12
	2	15	14	14	11
	3	17	13	18	13
	4	18	14	14	11
	5	15	12	15	13
	6	18	13	14	11
	7	13	12	14	11
	8	15	13	14	10
	9	15	11	14	12
	10	16	13	12	8
	11	14	12	14	12
	12	14	12	15	12
	13	14	13	14	11
	14				
	15	14	11	13	11
	16	13	12	12	10
	17	13	12	14	12
	18	12	11	13	11
	19	13	12	12	10
	20	13	12	14	11

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
9	1	13	9	13	11
	2	12	11	13	11
	3	12	10	14	12
	4	12	11	15	10
	5	13	10	14	12
	6	13	12	11	9
	7	12	10	11	10
	8	13	11	12	10
	9	13	10	12	11
	10	13	11	12	9
	11	13	10	12	11
	12	14	12	14	12
	13	13	11	12	11
	14	13	12	13	11
	15				
	16	14	13	12	11
	17	12	11	13	11
	18	14	11	15	11
	19	12	10	12	10
	20	13	10	12	9
10	1	14	9	17	14
	2	14	9	17	13
	3	15	10	17	10
	4	15	9	17	13
	5	17	8	17	11
	6	14	9	16	13
	7	15	8	17	12
	8	15	8	17	14
	9	16	10	16	10
	10	16	9	17	13
	11	17	9	17	12
	12	14	8	17	14
	13	16	8	16	13
	14	14	7	16	13
	15	13	8	17	12
	16	13	8	16	12
	17	13	8	16	12
	18				
	19	14	8	15	13
	20	14	7	16	12

Proband	Training	Extension re	Extension II	Flexion re	Flexion II
7	1	15	13	16	12
	2	12	11	14	11
	3	14	12	14	11
	4	14	12	15	12
	5	12	12	13	11
	6	13	12	13	11
	7	12	11	13	12
	8	13	12	14	11
	9	12	11	10	12
	10	11	10	12	10
	11	13	12	12	10
	12	12	11	10	10
	13	12	11	11	11
	14	12	10	12	10
	15				
	16	11	11	12	10
	17	11	10	12	10
	18	10	8	10	9
	19	9	8	10	9
	20	10	8	10	9
8	1	15	15	16	16
	2	17	14	17	14
	3	14	13	15	13
	4	14	12	18	13
	5	13	12	13	12
	6	12	11	12	11
	7	12	11	12	11
	8	10	8	10	9
	9	12	11	10	9
	10	8	7	8	7
	11	8	7	8	7
	12	8	7	8	7
	13	9	8	9	8
	14	11	10	13	11
	15				
	16	8	6	8	7
	17	8	7	8	7
	18	10	7	8	7
	19	8	7	8	7
	20	9	7	9	7

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
17	1	14	13	14	13
	2	14	12	14	12
	3	15	13	15	13
	4	15	12	15	12
	5	14	12	14	12
	6	15	13	15	13
	7	14	12	14	12
	8	17	15	16	14
	9	16	13	16	13
	10	14	13	14	13
	11	17	12	16	12
	12	14	13	14	13
	13	16	11	16	11
	14	15	12	15	12
	15	16	11	16	11
	16	14	12	14	12
	17	14	12	14	12
	18	15	12	15	12
	19	15	13	15	13
	20	15	12	15	12

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
15	1	14	12	11	10
	2	15	13	14	13
	3	14	11	12	11
	4	14	10	16	11
	5	12	9	13	9
	6	11	8	12	8
	7	11	8	10	7
	8	13	8	11	7
	9	9	6	9	7
	10	13	7	10	6
	11	14	9	13	8
	12				
	13	13	10	13	11
	14	12	10	9	7
	15	11	8	12	7
	16	12	8	10	7
	17	9	7	9	8
	18	11	7	9	7
	19	10	8	7	6
	20	8	7	9	7
16	1	18	16	17	16
	2	19	15	19	15
	3	18	14	18	13
	4	17	14	17	14
	5	16	12	16	13
	6	16	14	16	13
	7	17	13	18	14
	8	16	13	17	14
	9	16	12	16	13
	10	15	13	14	13
	11	15	13	15	13
	12				
	13	15	12	14	12
	14	16	12	16	12
	15	16	12	15	12
	16	18	14	18	14
	17	17	12	16	14
	18	14	11	14	11
	19	14	11	14	11
	20	15	11	15	12

Proband	Training	Extension re	Extension li	Flexion re	Flexion li
13	1	14	12	14	12
	2	13	12	15	12
	3	17	11	16	10
	4	16	13	17	10
	5	15	9	17	8
	6	15	9	16	8
	7	17	7	16	8
	8	16	8	17	8
	9	15	8	15	8
	10				
	11	16	8	13	7
	12	15	9	15	7
	13	14	8	15	7
	14	14	7	15	8
	15	14	9	14	8
	16	16	11	14	7
	17	13	9	13	7
	18	14	8	14	7
	19	14	8	14	7
	20	14	8	14	8
14	1	14	12	14	11
	2	14	12	15	11
	3	14	11	16	11
	4	13	10	15	10
	5	12	9	13	10
	6	12	10	13	10
	7	15	7	15	10
	8	16	8	14	9
	9	16	10	16	9
	10	15	9	15	9
	11	18	8	14	7
	12	16	8	14	8
	13	14	9	15	8
	14	14	9	15	7
	15				
	16	15	8	13	9
	17	16	8	14	9
	18	13	7	14	8
	19	15	7	16	10
	20	14	8	14	9

7.9 Untersuchungsergebnisse

HF am Oberschenkel	Rechts [mm]		Links [mm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	16	15	18	16
2	7	7	8	8
3	10	8	12	9
4	18	18	18	18
5	9	10	11	10
6	11	9	11	10
7	13	12	14	12
8	14	12	16	13
9	22	21	24	24
10	11	10	10	11
11	13	11	15	12
12	13	12	14	13
13	15	13	16	14
14	14	13	12	13
15	17	16	19	17
16	17	16	20	17
17	13	9	13	10

Oberschenkelumfang 10 cm über Patellaoberkante	Rechts [cm]		Links [cm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	51,0	50,0	52,0	50,5
2	42,0	42,0	43,0	43,5
3	42,0	42,0	41,0	40,0
4	48,0	48,5	48,0	47,5
5	43,0	43,0	43,0	42,5
6	47,0	47,5	46,0	46,5
7	47,0	48,5	48,0	48,0
8	43,0	42,5	43,0	43,0
9	49,0	51,0	48,5	50,0
10	48,5	48,5	47,5	48,0
11	41,0	41,0	42,0	41,5
12	44,5	45,0	44,0	44,5
13	44,0	44,0	44,5	44,0
14	41,0	42,0	41,5	42,5
15	48,0	50,5	48,5	50,5
16	43,0	44,5	46,0	46,0
17	44,5	44,5	45,5	45,5

Oberschenkelumfang 20 cm über Patellaoberkante	Rechts [cm]		Links [cm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	60,0	60,0	62,0	60,5
2	50,0	49,5	50,0	50,5
3	51,0	49,0	51,0	50,5
4	57,5	58,0	56,0	57,0
5	49,0	49,5	48,0	50,0
6	55,0	56,5	55,5	56,0
7	53,0	55,0	54,0	54,0
8	50,0	50,5	51,0	51,0
9	56,5	60,0	56,5	58,0
10	58,0	57,5	56,0	57,0
11	49,0	49,0	48,5	48,5
12	53,0	53,5	52,0	53,0
13	52,5	52,0	52,0	52,0
14	49,0	51,5	48,5	50,5
15	58,0	59,5	56,0	58,0
16	54,5	55,0	56,5	57,0
17	52,0	51,5	52,5	52,5

Isometrische Maximalkraft in Extension	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	322	325	301	307
2	235	261	213	253
3	249	255	264	256
4	232	238	168	204
5	190	208	201	222
6	285	273	231	229
7	228	264	249	280
8	234	241	205	222
9	289	307	250	240
10	352	333	315	300
11	219	225	174	151
12	252	270	228	237
13	226	237	208	238
14	183	186	204	201
15	265	283	244	286
16	211	217	243	240
17	276	253	243	238

Isometrische Maximalkraft in Flexion	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	157	183	126	148
2	136	130	138	120
3	120	127	108	117
4	120	135	144	135
5	115	130	126	142
6	151	171	160	162
7	114	127	118	138
8	97	94	96	100
9	139	160	142	145
10	198	213	189	211
11	90	108	97	114
12	130	139	118	127
13	111	121	126	129
14	97	106	103	106
15	142	169	157	160
16	105	127	108	124
17	139	144	136	148

Isokinetische Maximalkraft in Extension bei 60°/s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
Proband				
1	242	260	228	244
2	176	187	169	192
3	169	173	185	179
4	167	188	125	149
5	117	177	124	154
6	196	228	208	207
7	183	204	185	192
8	167	168	162	181
9	252	272	200	231
10	259	261	247	244
11	141	153	121	150
12	182	207	154	193
13	170	193	174	185
14	133	131	136	140
15	166	170	144	162
16	180	189	162	186
17	177	182	175	215

Isokinetische Maximalkraft in Flexion bei 60°/s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
Proband				
1	120	139	102	123
2	107	111	109	113
3	96	104	79	88
4	99	111	106	95
5	78	116	92	108
6	104	125	123	119
7	101	125	104	106
8	85	84	86	102
9	117	132	105	126
10	127	138	137	135
11	88	105	75	100
12	109	118	82	108
13	69	81	86	97
14	86	79	77	74
15	103	109	81	99
16	92	101	71	95
17	107	116	93	119

Isokinetische Maximalkraft in Extension bei 120°/s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
Proband				
1	189	190	177	171
2	126	145	127	139
3	154	148	154	139
4	138	157	97	123
5	105	120	99	121
6	157	157	148	145
7	148	150	136	133
8	132	124	117	120
9	192	208	192	204
10	168	190	180	166
11	100	99	96	111
12	150	159	130	142
13	124	141	126	139
14	105	105	108	106
15	87	106	81	111
16	111	136	100	139
17	139	157	138	168

Isokinetische Maximalkraft in Flexion bei 120 %s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	88	105	81	85
2	79	90	76	81
3	79	90	66	69
4	88	96	82	75
5	66	78	75	78
6	90	93	103	93
7	90	100	91	93
8	66	66	75	81
9	96	106	99	103
10	97	109	102	100
11	70	88	58	72
12	90	99	72	93
13	54	66	69	76
14	75	61	66	61
15	42	57	40	72
16	54	78	52	73
17	82	94	72	91

Isokinetische Kraftausdauer in Extension bei 120 %s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	115	142	115	135
2	105	114	124	133
3	121	123	114	112
4	118	129	93	97
5	93	94	79	85
6	129	114	105	115
7	111	126	99	105
8	96	105	87	105
9	142	156	133	138
10	156	148	153	145
11	84	91	81	90
12	103	121	75	111
13	84	97	85	102
14	82	87	87	90
15	91	99	85	91
16	82	94	75	93
17	135	139	135	153

Isokinetische Kraftausdauer in Flexion bei 120 %s	Rechts [Nm]		Links [Nm]	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	72	72	52	61
2	55	66	55	63
3	66	76	51	66
4	63	72	61	61
5	69	82	73	67
6	78	75	88	69
7	82	102	78	87
8	48	57	60	63
9	87	79	75	72
10	97	96	85	90
11	66	78	52	66
12	64	67	45	61
13	51	51	52	64
14	61	58	57	55
15	55	63	54	73
16	49	57	40	51
17	63	61	58	72

Erklärung zum Eigenanteil

Frau K. Hasler hat die Probanden akquiriert und betreut sowie alle Messungen durchgeführt. Sie war an der Konzeption der Studie beteiligt und hat das Manuskript selbständig verfasst.

Herr Professor Dr. H.-C. Heitkamp war an der Konzeption der Studie beteiligt, er hat die Arbeit betreut und das Manuskript korrigiert.

Herr Dr. W. Rapp war an der Konzeption der Studie und an der Programmierung des Messgerätes IsoMed 2000 beteiligt.

Herr Dr. G. Blumenstock und Frau D. Guéron waren bei der statistischen Auswertung unter Verwendung des Programms SPSS behilflich.

Danksagung

Die von mir vorgelegte Dissertation wäre in ihrer endgültigen Form nicht ohne die Unterstützung und Hilfe einiger Personen zustande gekommen, bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Hans-Christian Heitkamp für die Betreuung meiner Arbeit. Außerdem danke ich Herrn Dr. Walter Rapp für die Unterstützung im Umgang mit dem Messgerät IsoMed 2000 und den Mitarbeitern des Instituts für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie, Herrn Dr. Gunnar Blumenstock und Frau Doris Guéron, für die Hilfe bei der statistischen Datenauswertung. Weiter möchte ich mich bei Herrn Ilja Haubner und seinem Team der Kraft- und Fitnesshalle des Hochschulsports für die Ermöglichung der Trainingsdurchführung bedanken. Nicht zuletzt danke ich allen Probanden, die sich für die Teilnahme an meiner Studie bereit erklärt haben.

Lebenslauf

Zur Person:

Name: Kathrin Doris Hasler

Geburtstag: 02.03.1988

Geburtsort: Backnang

Schulausbildung:

1994-1998: Grund- und Hauptschule in der Taus, Backnang

1998-2005: Gymnasium in der Taus, Backnang

2005-2007 : Württemberggymnasium, Stuttgart-Untertürkheim

29.06.2007: Schulabschluss: Abitur

Akademische Ausbildung:

April 2008: Immatrikulation an der Universität Tübingen und Beginn des Studiums der Zahnheilkunde

17.03.2009: Naturwissenschaftliche Vorprüfung an der Universität Tübingen

23.03.2011: Zahnärztliche Vorprüfung an der Universität Tübingen

April 2011: Beginn des klinischen Studienabschnitts

29.11.2013: Zahnärztliche Prüfung an der Universität Tübingen