

BACHELORARBEIT II

Titel der Bachelorarbeit

Blood Flow Restriction Training bei Kniegelenksarthrose

Verfasser

Benjamin Schmid

angestrebter Akademischer Grad

Bachelor of Science in Health Studies (BSc)

St. Pölten, 2019

Studiengang:	Studiengang Physiotherapie
Jahrgang	PT 16
Betreuerin / Betreuer:	FH-Prof. Barbara Wondrasch, PT, PhD

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

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

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

.....
Datum

.....
Unterschrift

I. Abstract

Einleitung: Blood Flow Restriction (BFR) Training mit niedrigen Intensitäten ist in der Lage die Muskelkraft in einem ähnlichen Ausmaß wie beim klassischen Krafttraining mit hohen Intensitäten zu steigern. Da bei älteren Personen eine erhöhte Kraft des M. Quadriceps mit einem niedrigeren Risiko einer symptomatischen Kniegelenksarthrose verbunden wird, soll im Rahmen dieser Arbeit die Wirksamkeit eines BFR-Trainingsprogrammes überprüft und evaluiert werden.

Methoden: Es handelt sich hierbei um eine Studie, die als Case Series durchgeführt wurde. Für die Evaluierung des Trainingsprogrammes wurde die Erhebung des Einwiederholungsmaximums (EWM) an der Leg Press, die maximal willkürliche isometrische Kontraktion des M. Quadriceps, der Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), die Visuelle Analog Skala (VAS), der Star Excursion Balance Test (SEBT) und der Single Leg Squat (SLS) ausgewählt. Diese evidenzbasierten Messinstrumente und Assessments sollen den Zustand der ProbandInnen vor und nach der Intervention erheben. Das Trainingsprogramm an der Leg Press (max. 30% EWM) wurde über fünf Wochen, mit oder ohne BFR-Gerät, zweimal wöchentlich, von zwei männlichen Personen mit Kniegelenksarthrose durchgeführt. Die Auswertung der gemessenen Daten erfolgte mittels deskriptiver Statistik.

Ergebnisse: Kraftsteigerungen der betroffenen Beine waren im BFR- Programm deutlicher (Leg Press EWM +27,78% bzw. max. isometrische Kontraktion M. Quadriceps +37,25%) als beim Kontrollprobanden (+7,14% bzw. +17,32%). Deutliche Kraftzuwächse wurden durch das BFR Training an der kontralateralen Seite beobachtet (+16,67% bzw. +35,79%). Bei den Funktionstests der betroffenen Beine konnte nur beim SLS des BFR Probanden ein Trend der Verbesserung festgestellt werden (+2 WH bzw. +25%). KOOS verbesserte sich bei beiden Probanden (BFR: +5,41% bzw. Control: +20,49%).

Schlussfolgerung: Die Addition von personalisiertem BFR zu einem Krafttrainingsprogramm mit niedriger Intensität zeigte sich effektiv in der Steigerung der Maximalkraft an der Leg Press wie auch in der Kraft der Knieextension bei Männern mit Kniegelenksarthrose Grad 2. Jedoch führten beide Trainingsmodalitäten zu einer Verbesserung des KOOS.

Keywords: blood flow restriction, Kniegelenksarthrose, Rehabilitation, Quadriceps, Krafttraining

I. Abstract

Introduction: Low-load exercise training with blood flow restriction (BFR) has been shown to elicit gains in muscle strength comparable in magnitude to that with heavy-load training. As greater quadriceps strength has been linked with a reduced risk of symptomatic knee osteoarthritis in older people, the effects of a BFR-training program should be evaluated within the scope of this bachelor thesis.

Methods: This study was designed as a case series. To evaluate the effects of the training program leg press 1-repetition maximum (1RM), isokinetic knee extensor strength, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Visual Analog Scale (VAS), Star Excursion Balance Test (SEBT) and Single Leg Squat (SLS) were used. These are evidence-based tools to assess the condition of the test persons before and after the intervention. The training program (max. 30% 1-RM) either with or without concurrent BFR was completed twice a week over a period of five weeks by two male persons with knee osteoarthritis. For statistical analysis descriptive statistics were used.

Results: Strength gains of the affected legs were greater in the BFR group (Leg Press 1RM +27,78% and isokinetic knee extensor strength +37,25%) than in the control group (+7,14% respectively +17,32%). There were also strength gains by the BFR program in the contralateral limb (+16,67% respectively +35,79%). Only SLS of the affected limbs showed improvements throughout the BFR program (+2 reps respectively +25%). KOOS improved throughout both training programs (BFR: +5,41%, Control: +20,49%).

Conclusion: The addition of personalized BFR to a low-load resistance training program was effective in increasing leg press and knee extensor strength in men with knee osteoarthritis grade 2. Importantly, both training modalities were able to improve KOOS.

Keywords: blood flow restriction, knee osteoarthritis, rehabilitation, quadriceps muscle, resistance training

II. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Kniegelenksarthrose.....	1
1.2	Behandlung der Kniegelenksarthrose	2
1.3	Krafttraining	3
1.4	Blood Flow Restriction Training.....	4
1.5	Aktuelle Studienlage.....	6
1.6	Forschungsfragen	9
2	Methodik	10
2.1	Studiendesign/ Studienverlauf.....	10
2.2	Studienteilnehmer	10
2.3	Methodik	11
2.3.1	Leg Press- EWM.....	12
2.3.2	Maximal willkürliche isometrische Kontraktion M. Quadriceps.....	12
2.3.3	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)	13
2.3.4	Visuelle Analogskala (VAS).....	14
2.3.5	Star Excursion Balance Test (SEBT)	15
2.3.6	Single Leg Squat (SLS)	16
2.4	Trainingsintervention	16
2.5	Statistisches Auswertungsverfahren	18
3	Ergebnisse.....	19
3.1	Leg Press- EWM	19
3.2	Maximal willkürliche isometrische Kontraktion M. Quadriceps	19
3.3	KOOS	20
3.4	Visuelle Analogskala- Schmerz.....	21
3.5	Star Excursion Balance Test (SEBT)	21
3.6	Single Leg Squat (SLS).....	22
3.7	Verlauf des Restriktionsdruckes.....	23
4	Diskussion	24
4.1	Einsatz in der orthopädischen Rehabilitation	29
4.2	Limitationen	30
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	32
6	Literaturverzeichnis	33
A	Anhang: KOOS.....	36

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stadieneinteilung der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence (Michael u. a., 2010)	2
Abbildung 2: Ergebnisse der Prä- und Postmessung beider Trainingsmodalitäten (Bryk u.a., 2016)7	
Abbildung 3: Ermittlung des EWM an der Leg Press	12
Abbildung 4: Ermittlung der max. willkürlichen isometrischen Kontraktion des M. Quadriceps mit 90° Hüft- und 60° Knieflexion mit Hilfe des Mark-10, Digital Force Gauges Series 3	13
Abbildung 5: Visuelle Analogskala (Schomacher, 2007)	14
Abbildung 6: Ermittlung des SEBT in die Richtungen anterior, antero-medial und antero-lateral ...	15
Abbildung 7: BFR Trainingsprotoll (modifiziert nach Segal u.a., 2015)	17
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung eines unilateralen BFR-Trainings mit dem Delfi PTSii an einer Leg Press	17
Abbildung 9: Einbeiniges EWM an der Leg Press	19
Abbildung 10: Gegenüberstellung der maximal willkürlich isometrischen Kontraktion des M. Quadriceps im Pre- und Posttest	20
Abbildung 11: KOOS- Gegenüberstellung der ermittelten Durchschnittswerte der Subskalen Schmerz, Symptom, ADL, Sport und QOL im Pre- und Posttest.....	21
Abbildung 12: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Reichweite in cm beim SEBT im Pre- und Posttest der Richtungen anterior, antero-medial und antero-lateral	22
Abbildung 13: Vergleich der Anzahl der erfolgreich absolvierten SLS pro Bein im Pre- und Posttest	23
Abbildung 14: Verlauf der 80% LOP Schwelle über den gesamten Interventionszeitraum	23

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Meilensteinplan für die Durchführung der Bachelorarbeit I und II	10
Tabelle 2: Basisdaten der Probanden	11
Tabelle 3: Gegenüberstellung der Daten aus Pre- und Posttest für die Subkategorien Schmerz (P), Symptom (S), Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Sport (SP) und Lebensqualität (QOL) und deren prozentuelle Veränderungen.....	20

V. Abkürzungsverzeichnis

BFR	Blood Flow Restriction
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index
EWM	Einwiederholungsmaximum
GH	Wachstumshormon (Growth Hormone)
NPRS	Numerische Schmerz-Bewertungsskala (Numerical Pain Rating Scale)
TST	Timed-Stands Test
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
VAS	Visuelle Analogskala
LOP	Limb Occlusion Pressure
VMO	Vastus Medialis Obliquus
VL	Vastus Lateralis
ACR	American College of Rheumatology
AAOS	American Academy of Orthopedic Surgeons
OARSI	Osteoarthritis Research Society International
ACSM	American College of Medicine
BMI	Body-Mass-Index
KLS	Kellgren-Lawrence-Score

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mich seit Studienbeginn unterstützen und auf meinem Weg begleiten.

Ein besonderes Dankeschön gilt dabei jenen, die mich bei der Umsetzung dieser Studie begleitet haben. Besonders hervorheben möchte ich dabei meine Betreuerin FH-Prof. Barbara Wondrasch, PT, PhD und Mag. Niels Ruso, die mir die Möglichkeit gegeben haben, mich diesem Thema intensiv zu widmen und sich meinen Fragen und Anliegen angenommen haben. Ein weiteres Dankeschön gilt dem Fitness Club „Homes Place“, der die Räumlichkeiten und das notwendige Trainingsgerät zur Verfügung gestellt hat sowie meinen freiwilligen Probanden, ohne die eine Durchführung der Studie nicht möglich gewesen wäre.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch noch bei meiner Familie und meiner Freundin JP bedanken, die mir den nötigen Rückhalt geboten haben. Danke für das Korrektur lesen und die gelegentlichen Motivationsansprachen!

Benjamin Schmid

Wien, 06.02.2019

1 Einleitung

In der folgenden Arbeit sollen Aspekte der Kniegelenksarthrose und deren konservativer Behandlung beleuchtet werden. Im Mittelpunkt der Übersichtsarbeit soll die Maßnahme der Muskelkräftigung stehen und in weiterer Folge erörtert werden, ob der Einsatz von Blood Flow Restriction (BFR)- Training eine geeignete Maßnahme darstellt.

1.1 Kniegelenksarthrose

Arthrose wird durch fokale Bereiche mit Verlust von Gelenksknorpel innerhalb von Synovialgelenken charakterisiert, welche mit der Hypertrophie des Knochens (Osteophyten und subchondrale Knochensklerose) und einer inflammatorisch bedingten Adaptation der Gelenkskapsel einhergehen (Woolf & Pfleger, 2003). Die Kniegelenks- bzw. Gonarthrose stellt die häufigste Art der Arthrose (etwa 6% aller Erwachsenen weltweit) dar. Dabei korreliert die Häufigkeit mit dem zunehmenden Alter der Bevölkerung (Michael, Schlüter-Brust, & Eysel, 2010). In Amerika leiden nach Vincent und Vincent (2012) etwa 60 Millionen Menschen an Kniegelenksarthrose, wobei angenommen wird, dass die Anzahl im nächsten Jahrzehnt um 50% zunehmen wird. Epidemiologische Studien haben gezeigt, dass es endogene wie auch exogene Risikofaktoren für Arthrose gibt. Zu den endogenen zählen neben dem Alter das Geschlecht, die Vererbung, die ethnische Herkunft und postmenopausale Veränderungen. Als exogene Risikofaktoren zählen Makro- und repetitive Mikrotraumen, Übergewicht, resektive Gelenksoperationen und Lifestyle Faktoren wie Alkohol und Tabakkonsum (Michael u. a., 2010). Kniegelenksarthrose wird zudem als primär (idiopathisch) oder als sekundär klassifiziert. Ursachen der sekundären Gonarthrose sind posttraumatische, infektiöse, entzündliche oder biochemische Ätiologien (Kohn, Sassoon, & Fernando, 2016). Zu den typischen Symptomen zählen Gelenkssteifigkeit und aktivitätsbedingte Schmerzen, die sich im Laufe der Zeit verschlimmern können und in anhaltenden Schmerzen, eingeschränkter Gelenksfunktion und reduzierter körperlicher Fitness resultieren können (Fransen u. a., 2015). Typischerweise beklagen PatientInnen Schmerzen bei der Initiierung der Bewegung. Der Schmerz wird als dumpf beschrieben und bei Fortschreiten der Erkrankung konstant wahrgenommen (Michael u. a., 2010). Eine tragende Rolle in der Diagnostik nimmt die radiologische Bildgebung ein. Die Klassifizierung nach Kellgren und Lawrence (Abb. 1) ist das am weitesten verbreitete klinische Tool für die radiologische Diagnose von Gonarthrose (Kohn u. a., 2016). In einer kürzlich erschienenen Studie wurde festgestellt, dass eine Verringerung des Gelenksspaltes im bildgebenden Verfahren nichts über die Veränderung der Symptomatik aussagt (Halilaj, Le, Hicks, Hastie, & Delp, 2018).

- Grad 0
 - ohne Befund
- Grad 1
 - initiale Arthrose, beginnende Osteophyten an Eminentia
- Grad 2
 - mäßige Gelenkspaltverschmälerung, mäßige subchondrale Sklerosierung
- Grad 3
 - Gelenkspaltverschmälerung > 50 Prozent, Entrundung Femurcondylus, ausgedehnte subchondrale Sklerosierung, ausgeprägte Osteophyten
- Grad 4
 - Gelenkdestruktion, Gelenkspalt komplett aufgehoben, Geröllzysten im Tibiakopf und Femurcondylus, Subluxationstellung

Abbildung 1: Stadieneinteilung der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence (Michael u. a., 2010)

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung des klinischen Schweregrades der Gonarthrose stellt der Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) dar und erlaubt ein valides Assessment vom Grad der Einschränkung durch Schmerzen und Funktionsverlust (Michael u. a., 2010). Aus Gründen, die in Kapitel 2.3.3 beschrieben werden, wurde in dieser Arbeit der Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) zur Evaluierung gewählt.

1.2 Behandlung der Kniegelenksarthrose

Derzeit ist Arthrose nicht heilbar, weshalb die Reduktion der klinischen Symptome und die Beeinflussung der Progredienz das oberste Therapieziel darstellt. Die therapeutischen Möglichkeiten umfassen allgemeine Maßnahmen wie zum Beispiel eine Reduktion des Körpergewichts oder die Beseitigung kniebelastender Noxen, orthopädische Hilfsmittel und Orthesen, Pharmakotherapie, Physiotherapie und letztlich den operativen Eingriff mit anschließender Rehabilitation. Letztere Möglichkeit ist allerdings erst dann indiziert, wenn alle konservativen Möglichkeiten ausgeschöpft wurden (Michael u. a., 2010).

Die konservative Therapie orientiert sich oftmals an Leitlinien, zum Beispiel an jener der Osteoarthritis Research Society International (OARSI). In jener Arbeit wurden verschiedene Therapiemethoden untersucht und es konnte nachgewiesen werden, dass Training im Sinne einer Kombination von Krafttraining, Übungen im aktiven Bewegungsausmaß und

aerober Aktivität die wirksamste, nicht-chirurgische Behandlung von Kniegelenksarthrose darstellt (McAlindon u. a., 2014). Auch die Ottawa Panel Leitlinie empfiehlt Kräftigungsübungen als eine effektive nicht-pharmakologische Intervention zur Schmerzlinderung, Verbesserung der physischen Funktion und Lebensqualität bei Erwachsenen mit Kniegelenksarthrose (Brosseau u. a., 2017). Ebenso wird in der Metaanalyse von Hughes, Paton, Rosenblatt, Gissane, und Patterson (2017) aufgezeigt, dass Krafttraining einen wesentlichen Bestandteil einer muskuloskelettalen Therapie ausmacht. Eine erhöhte Kraft des M. Quadriceps wird zum Beispiel mit einem reduzierten Risiko einer symptomatischen Kniegelenksarthrose, verringertem Schmerzempfinden und positiven Veränderungen der physischen Funktion in Verbindung gebracht (Hughes u. a., 2017). Zusätzlich wird bei Frauen mit Gonarthrose eine stärkere Abnahme von Muskelmasse der unteren Extremität im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe festgestellt. Diese Reduktion der Muskelmasse wird außerdem mit einer Krankheitsprogression, Schmerzen sowie der Präsenz und dem Schweregrad der altersbedingten Arthrose assoziiert. Weiters korreliert bei Frauen mit Kniegelenksarthrose die Muskelmasse des Oberschenkels mit der Kraft der Kniestrecker und -beuger, welche sich direkt auf die Kraft und Funktionalität auswirken. Aus diesem Grund stellt die Kräftigung und Hypertrophie des M. Quadriceps die Primärbehandlung bei Kniearthrose dar (Ferraz u. a., 2017). Zusätzlich kommt die aktuelle Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie in Folge der Auswertung zahlreicher Arbeiten zu einem 100%igen Konsens, dass Maßnahmen der Bewegungstherapie wie Kraft-, Ausdauer- und Beweglichkeitstraining zur primären Behandlung der Gonarthrose angewendet werden sollen (DGOOC, 2018).

1.3 Krafttraining

Heute ist die Datenlage zum Kraft- und Hypertrophietraining nicht mehr so eindeutig wie noch vor einigen Jahren, als man der Meinung war, dass mindestens Lasten von 70-85% des Einwiederholungsmaximums (EWM) nötig sind, um Muskelwachstum auszulösen sowie 60-70% des EWM zur Steigerung der Kraft (American College of Sports Medicine, 2009). So haben etwa Lasevicius u.a. (2018) in ihrer jüngsten Studie festgestellt, dass Intensitäten zwischen 20% und 80% des EWM effektiv erscheinen, um Kraft und Muskelhypertrophie zu steigern. Jedoch zeigt sich auch, dass niedrige Intensität (20% EWM) suboptimal sind, um Muskelhypertrophie zu maximieren. In den ersten sechs Wochen der Studie erzielten alle beobachteten Intensitäten (20, 40, 60 und 80% des EWM) Verbesserungen der Kraft und Muskelhypertrophie. Sollte es aber das Ziel sein, langfristig Kraft- und Muskelmasse aufzubauen, empfehlen die Autoren höhere Intensitäten zu verwenden.

Ferraz u.a. (2017) betonen jedoch, dass Menschen mit Kniegelenksarthrose oftmals aufgrund der Schmerzen nicht in der Lage sind, mit solch hohen Intensitäten zu trainieren.

1.4 Blood Flow Restriction Training

Als Alternative zum klassischen Krafttraining wird in der Literatur seit einiger Zeit das BFR-Training untersucht. Diese Trainingsmodalität, geprägt vom sogenannten *KAATSU Training*, welches Ende der 1960er Jahre vom japanischen Wissenschaftler Yoshiaki Sato (Sato, 2005) entwickelt wurde, wurde erstmals für die Öffentlichkeit in Japan zugänglich gemacht (Fahs, Loenneke, Rossow, Tiebaud, & Bemben, 2012). Studienergebnisse zeigen dabei, dass es bereits nach drei- wöchigem Training mit Intensitäten von 20% des EWM und einer gleichzeitigen, moderaten Restriktion des venösen Blutflusses zum Muskelwachstum kommen kann (Loenneke, Wilson, & Wilson, 2010). Obwohl in Studien auch bei AthletInnen eine signifikante Zunahme der Muskelmasse und Kraft festgestellt wurde (Scott, Loenneke, Slattery, & Dascombe, 2015), wird BFR-Training besonders für PatientInnen in der kardiologischen Rehabilitation, ältere Personen (Loenneke u. a., 2010) und PatientInnen in der Rehabilitation von muskuloskelettalen Beschwerden empfohlen, da es mit den verwendeten Intensitäten nicht zu jenen hohen Gelenkbelastungen kommt, die bei dem Training mit hohen Gewichten auftreten (Hughes u. a., 2017). Zur Anwendung der BFR-Technik wird ein Stauschlauch, eine aufblasbare Manschette oder eine elastische Kniebandage am proximalen Ende des zu trainierenden Armes oder Beines angebracht, um den Blutfluss in den Muskel einzuschränken und den venösen Rückfluss zu hemmen. Die Größe, speziell jedoch die Breite der Manschette, ist eine wichtige Variable, die beachtet werden muss. Breite, restriktive Manschetten drosseln den arteriellen Blutfluss bei geringerem Druck effektiver als schmale Manschetten (Vechin u. a., 2015). In früheren Studien wurde bei der Anwendung an den Beinen stets mit einem Druck von ungefähr 200 mmHg (Scott u. a., 2015) bzw. mit einem Druck von 140-240 mmHg (Fahs u. a., 2012) gearbeitet. McEwen, Owens, und Jeyasurya (2018) konnten in ihrer Arbeit jedoch feststellen, dass es durch diese nicht personalisierte Methode zu einer kompletten Okklusion anstatt einer Restriktion des Blutflusses kommen kann. Diese Tatsache erhöht das Risiko einer Verletzung und reduziert die Effektivität einer BFR-Intervention während der Rehabilitation. Aus diesem Grund wird in jener Arbeit empfohlen, den Druck individuell an den „limb occlusion pressure“ (LOP) der trainierenden Person anzupassen. Als LOP ist der minimal erforderliche Druck definiert, welcher benötigt wird, um zu einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Manschette an einer bestimmten Extremität einer bestimmten Person den arteriellen Blutfluss distal der Manschette zu stoppen. Den Autoren zufolge

ermöglicht diese Methode, in Kombination mit der Anwendung einer Manschette aus dem chirurgischen Anwendungsbereich, einen sicheren und gleichbleibenden BFR-Trainingsstimulus zu erhalten. Vanwye u.a. (2017) schreiben in ihrer Arbeit zur Durchführung des BFR-Trainings in der klinischen Praxis, dass die größten Effekte bei einem zwei- bis dreimaligen Training pro Woche beobachtet werden können. Eine höhere Frequenz scheint jedoch, möglicherweise aufgrund von Übertraining, weniger effektiv zu sein. Sie empfehlen ein hohes Trainingsvolumen, das klassischerweise aus 75 Wiederholungen über 4 Sätze besteht (d.h. 30/15/15/15). Die ideale Pausenzeit wird mit 30 Sekunden zwischen den Sätzen angegeben. Es wird angenommen, dass das ischämische bzw. hypoxische Umfeld, welches durch das Krafttraining mit reduziertem Blutfluss erzeugt wird, mechanische Spannung verursacht und es zu einer Ansammlung von Metaboliten kommt (Pearson & Hussain, 2015). Diese beiden Faktoren, auch als primäre Hypertrophiefaktoren bezeichnet, sorgen für einen Anstieg von Wachstumshormonen (GH), welche so die Kollagensynthese für Gewebereparatur und Erholung (Recovery) unterstützen. Ein akuter Anstieg von GH erhöht die Produktion des Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1). Dieses Protein besitzt starke anabole Effekte und resultiert dadurch in verstärktem Muskelwachstum (Vanwye u. a., 2017).

Die häufigsten Nebenwirkungen sind subkutane Blutungen (13,1%) und temporäre Taubheitsgefühle (1,3%). Diese Symptome treten meist in der Anfangsphase des Trainingsprogrammes auf und verschwinden sobald sich der/die Trainierende an die Trainingsmodalität gewöhnt hat (Scott u. a., 2015). Daten aus zwei Umfragen mit nahezu 13,000 ProbandInnen zeigen zudem, dass die Häufigkeit einer tiefen Venenthrombose bei unter 0,06% und einer Lungenembolie bei 0,01% liegt. Die Daten der zuvor genannten Umfragen zeigen weiters, dass die Inzidenz einer exzessiven Muskelschädigung (d.h. Rhabdomyolyse) 0,01% beträgt. Das Ausmaß der Muskelschädigung durch BFR-Training ist nach aktueller Studienlage noch nicht gänzlich erforscht. Ein Vergleich zwischen maximalen exzentrischen Bewegungen und BFR-Training zeigt ähnliche Werte an trainingsinduzierter Muskelschädigung. Da die Autoren in einer klinischen Population jedoch nicht empfehlen bis zur Erschöpfung zu trainieren, erscheint das Risiko einer exzessiven Muskelschädigung aufgrund von BFR-Training als sehr gering. Generell gilt, dass ungewohntes Training in einer Muskelschädigung und einem Delayed-Onset of Muscle Soreness (d.h. Muskelkater) resultiert. Diese körperliche Reaktion ist normal, besonders wenn die Trainingsübungen viele exzentrische Bewegungen beinhalten, und sollte nach 24-72 Stunden abklingen (Vanwye u. a., 2017). Als Kontraindikationen werden Venenthrombosen in der Vergangenheit des/der Trainierenden, Schwangerschaft und Krampfadern genannt. Den-

noch stellt BFR-Training in einem kontrollierten Umfeld unter Anleitung von fachkundigem Personal eine sichere Trainingsalternative für die meisten Menschen, unabhängig von Alter und Trainingszustand, dar (Scott u. a., 2015).

Befürworter des BFR-Trainings betonen oftmals den primären Vorteil, dass muskuläre Anpassungen ohne schwere Lasten möglich sind. Aus diesem Grund kann BFR-Training mit geringen Lasten sinnvoll bei PatientInnen angewendet werden, bei denen Krafttraining mit hohen Gewichten kontraindiziert ist (Scott u. a., 2015). Hughes u.a. (2017) schreiben in ihrer Meta-Analyse auch, dass BFR-Training einen effektiveren Ansatz zur Rehabilitation mit niedriger Intensität und einen erträglicheren Ansatz zur Rehabilitation mit hoher Intensität bietet. Außerdem kann individualisiertes BFR-Training einen vergleichbaren Ersatz zum Training mit hohen Gewichten darstellen, wobei der Schmerz während des Trainings minimiert wird.

1.5 Aktuelle Studienlage

Obwohl es bereits eine Vielzahl an Studien zu BFR-Training gibt, sind derzeit nur vier Studien bekannt, die sich mit dem Einsatz dieser Trainingsmethode bei Personen mit Kniegelenksarthrose beschäftigen.

In der Arbeit von Bryk u.a. (2016) wurden 34 Frauen mit einer diagnostizierten Kniegelenksarthrose (Grad 2 oder 3 auf der Stadieneinteilung nach Kellgren und Lawrence) zufällig einer klassischen Krafttrainingsgruppe (70% EWM) oder einer Okklusionsgruppe (30% EWM) zugeteilt. Beide Gruppen absolvierten ein sechswöchiges Kräftigungs- und Stretchingprogramm (3x/Woche), wobei sich nur die Übung Knieextension in Bezug auf Trainingsintensität und -volumen voneinander unterschied (ohne Okklusion: 3 x 10 Wiederholungen, mit Okklusion: 3 x 30 Wiederholungen). In der Okklusionsgruppe wurde die partielle vaskuläre Okklusion mittels einer Druckmanschette (200 mmHg) während der Quadriceps-Übung sichergestellt. Erhoben wurden eine 11-stufige numerische Schmerz-Bewertungsskala (NPRS), der Lequesne Index, der Timed Up and Go (TUG) Test und eine Muskelkraftmessung mittels Hand-Dynamometer vor und nach der Intervention. Außerdem wurde die NPRS auch während der Ausübung der Quadriceps-Übung beurteilt. Die Resultate (Abb. 2) dieser randomisierten klinischen Studie zeigten für beide Gruppen die gleichen Verbesserungen bezüglich der Quadriceps-Kraft, Funktion und Schmerzlinderung. Allerdings konnte ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die NRPS während der Übungsausführung für die Beinstreckmuskulatur festgestellt werden. Die Okklusionsgruppe zeigte verringerte anteriore Kniebeschwerden im Vergleich zur konventionellen Trainingsgruppe.

Measure/group	Preintervention*	Postintervention*	Within-group change score	Between-group difference in change score [‡]
Quadriceps strength (normalized to weight), kg				
Conventional	24.1 ± 10.1	33.5 ± 12.9	9.4 ± 8.3 (1.3, 17.5)	7.4 (0.9, 13.9)
Occlusion	23.2 ± 8.4	40.0 ± 9.2	16.8 ± 10.3 (10.6, 22.9)	
Lequesne (0–20)[#]				
Conventional	13.0 ± 8.3	7.0 ± 3.6	(–) 6.0 ± 7.5 (–1.5, 10.5)	1.0 (–3.3, 5.3)
Occlusion	11.5 ± 2.9	6.5 ± 3.4	(–) 5.0 ± 4.5 (–2.8, 7.2)	
TUG(s)[#]				
Conventional	7.9 ± 2.7	6.3 ± 1.7	(–) 1.6 ± 3.5 (0, 3.2)	0.4 (–1.5, 2.3)
Occlusion	7.5 ± 1.2	6.3 ± 1.6	(–) 1.2 ± 1.8 (–2.9, –0.21)	
NPRS (0–10)[#]				
Conventional	6.0 ± 2.6	3.5 ± 2.3	(–) 2.5 ± 1.8 (4.2, –0.8)	(–) 0.8 (–2.2, 0.6)
Occlusion	6.5 ± 2.5	3.2 ± 1.9	(–) 3.3 ± 2.2 (–4.8, –1.7)	
NPRS—During performing exercises (0–10)[#]				
Conventional	6.2 ± 2.2			(–) 3.7 (–5.0, –2.4)
Occlusion	2.5 ± 1.5			

NPRS Numerical Pain Rating Scale (0–10 cm), *TUG* Timed Up and Go
* Values are mean ± SD
+ Values are mean ± SD (95 % confidence interval)
‡ Values are mean (95 % confidence interval)
Lower values represent better result

Abbildung 2: Ergebnisse der Prä- und Postmessung beider Trainingsmodalitäten (Bryk u.a., 2016)

Ferraz u.a. (2017) evaluierten die Effekte eines Krafttrainings mit niedriger Intensität (30% EWM) in Kombination mit einer partiellen Restriktion des Blutflusses (BFRT) oder ohne (LI-RT) und eines Trainings mit hoher Intensität (80% EWM) (HI-RT). 48 Frauen wurden dabei randomisiert in genannte Gruppen aufgeteilt und absolvierten ein beaufsichtigtes, 12-wöchiges (2x/Woche) Krafttrainingsprogramm, bestehend aus je einer Übung an der Beinpresse und an der Kniestreckmaschine. Wiederum wurden Parameter für Kraft, Muskelquerschnitt, Funktion und ein krankheitsspezifischer Index erhoben. Ähnliche Verbesserungen in Bezug auf das EWM an der Beinpresse (26% bzw. 33%) und an der Kniestreckmaschine (23% bzw. 22%) sowie auch in der Vergrößerung des Muskelquerschnitts (7% bzw. 8%) wurden in der BFRT und HI-RT Gruppe festgestellt. Diese waren signifikant größer als jene der LI-RT Gruppe. Außerdem zeigten die BFRT und HI-RT Gruppe vergleichbare Verbesserungen im Timed-Stands Test (TST). Eine wichtige Erkenntnis war zudem, dass Krafttraining mit niedriger Intensität in der Lage war Schmerzen signifikant zu verringern (WOMAC Schmerz BFRT: -39%, LI-RT: -45%) und dass HI-RT in einer signifikanten Anzahl an Abbrüchen der Studie resultierte (vier von sechs aufgrund von trainingsinduzierten Knieschmerzen).

Eine weitere Studie (Segal, Williams, Davis, Wallace, & Mikesky, 2015) beschäftigte sich mit dem Vergleich von Krafttraining mit niedriger Intensität allein (Kontrollgruppe) oder mit einer gleichzeitigen Restriktion des Blutflusses (BFR) bei Frauen mit Risikofaktoren für eine symptomatische Kniegelenksarthrose. Die insgesamt 40 Frauen trainierten vier Wo-

chen lang drei Mal pro Woche an der Beinpresse. Dabei wurde das von Vanwye u.a. (2017) empfohlene Trainingsprotokoll durchgeführt. Nach Beendigung der Intervention zeigte sich, dass die Addition von BFR zu einem 30%-EWM- Krafttraining in einer signifikanten Verbesserung der Beinpresskraft und in der Kraft der Beinstreckmuskulatur resultierte. Beide Gruppen konnten die Leistung beim Treppensteigen verbessern. Zusätzlich wurde in keiner der beiden Gruppen eine signifikante Verschlechterung des kniespezifischen Schmerzes festgestellt.

Nur eine der vier bekannten Studien beschäftigte sich mit männlichen Probanden (Segal, Davis, & Mikesky, 2015). Diese mussten ebenfalls Risikofaktoren für eine symptomatische Kniegelenksarthrose aufweisen. Danach wurden sie wiederum in eine Kontroll- und Interventionsgruppe eingeteilt. Beide Gruppen trainierten mit 30% des EWM, wobei die Interventionsgruppe zusätzlich mit einem *Kaatsu Master* BFR-Gerät ausgestattet wurde. Die Ergebnisse nach einer vierwöchigen Trainingsintervention (3x/ Woche) ergaben eine signifikante Steigerung der EWM Beinpressleistung in beiden Trainingsgruppen. Zusätzlich wies die Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen der isokinetischen Kniestreckerkraft und im KOOS auf. Die Autoren erklären die unterschiedlichen Ergebnisse im Vergleich zu zuvor genannten Studien in der kurzen Interventionszeit (vier Wochen vs. 12 Wochen in anderen Studien), kräftigere Probanden (größere isotonische Beinpress-Kraft in der BFR-Gruppe vor Trainingsbeginn) und unterschiedlicher körperlicher Aktivität der Probanden während der Studie, welche die Resultate möglicherweise beeinflusst haben. Im Vergleich zu der Studie mit weiblichen Probandinnen (Segal, Williams, u. a., 2015) könnte ebenfalls das Fitnesslevel einen entscheidenden Unterschied gemacht haben. Die Frauen waren weniger körperlich aktiv und weniger fit als die Männer, die für die Studie rekrutiert wurden. Außerdem könnte auch die verwendete Okklusionsstärke die Unterschiede der Ergebnisse dieser Studie zu früheren wissenschaftlichen Arbeiten erklären. Obwohl die gleiche Druckstärke verwendet wurde, könnten Frauen aufgrund der höheren Fetteinlagerung in ihren Oberschenkeln eine stärkere Restriktion des Blutflusses erfahren haben. Dies könnte in weiterer Folge für eine effektivere Verbesserung der Kraftleistung bei den Frauen zuständig gewesen sein. Weitere Studien sind deshalb notwendig, um zu klären, ob eine veränderte Trainingsdosis und -dauer eine Steigerung der Muskelkraft bei BFR-Training mit niedriger Intensität auslösen kann.

1.6 Forschungsfragen

Aufgrund dieser ersten Indizien könnte sich BFR-Training als eine effektive Therapiemethode bei der Behandlung von Kniearthrose herausstellen. Daher soll im Zuge dieser Arbeit der Einsatz dieser Trainingsmethode in der Therapie von KniearthrosepatientInnen diskutiert und folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- *Stellt BFR-Training bei Kniearthrose-PatientInnen eine geeignete Trainingsform dar, um die Muskelkraft zu verbessern?*
- *Verbessert sich die Funktion bei PatientInnen mit Gonarthrose durch BFR-Training deutlicher als durch Krafttraining mit niedriger Intensität?*
- *Kann durch BFR-Training bei PatientInnen mit Kniegelenksarthrose eine Reduktion der Schmerzen erzielt werden?*
- *Ermöglicht die Restriktion des venösen Blutflusses mittels LOP eine individuelle und zeitsparende Anpassung an die trainierende Person?*

2 Methodik

Dieses Kapitel soll einen Überblick über den geplanten Studienverlauf geben und die Merkmale beschreiben, die mögliche ProbandInnen aufweisen müssen, um für die Studie berücksichtigt werden zu können.

2.1 Studiendesign/ Studienverlauf

Die Studie wurde als Case Series geführt. Die Konkretisierung des Themas, die Formulierung der Forschungsfragen und die Auswahl der Messmethoden bzw. der physiotherapeutischen Assessments erfolgte von April bis Ende Juni 2018. Die Umsetzung der Intervention erfolgte im Wintersemester 2018/19 im Rahmen der Bachelorarbeit II. Im November und Dezember wurden dabei Messungen der Kraft, Funktion und eine Erhebung der Schmerzen an zwei Personen mit Kniegelenksarthrose aus Wien durchgeführt. Anschließend absolvierten beide Männer ein identes unilaterales Trainingsprogramm über fünf Wochen, welches eine Übung für die Kräftigung der unteren Extremität enthielt. Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde das Trainingsprogramm einer Person mit der Anwendung eines BFR-Gerätes kombiniert. Abschließend erfolgte eine zweite Messung der Evaluierungsparameter mit Hilfe der ausgewählten Messinstrumente und Fragebögen, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Trainingsmodalitäten im Vergleich darzustellen. Auswertung, Interpretation und kritische Betrachtung der gewonnenen Erkenntnisse erfolgten von Jänner bis Februar 2019. Eine grafische Veranschaulichung des Zeitplans findet sich in Tabelle 1.

	Apr.18	Mai.18	Jun.18	Nov.18	Dez.18	Jan. 18	Feb.18
Konkretisierung des Themas							
Formulierung Forschungsfragen							
Auswahl Messmethoden und Assessments							
ProbandInnenenrekrutierung							
Durchführung Intervention							
Analyse und Interpretation der Ergebnisse							
Fertigstellung Bachelorarbeit II							

Tabelle 1: Meilensteinplan für die Durchführung der Bachelorarbeit I und II

2.2 Studienteilnehmer

Die Rekrutierung der ProbandInnen begann im September 2018 und erfolgte über die Physiotherapie-Einrichtung „physion“ unter der Leitung von Mag. Niels Ruso, im Bekanntenkreis des Autors und dessen Betreuerin, Fh-Prof. Barbara Wondrasch, PhD. Zwei Per-

sonen wurden gefunden, welche alle Ein- und Ausschlusskriterien erfüllten. Beiden Probanden wurde im Vorfeld der wissenschaftliche Kontext, der Ablauf der Erhebung der Evaluierungsparameter und der Trainingsintervention erklärt.

In Tabelle 2 werden die Basisdaten der Probanden aufgelistet.

	Geschlecht	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	BMI	Arthrosegrad
P 1	männlich	54	79	174	26,1	KLS 2, links
P 2	männlich	50	75	180	23,1	KLS 2, rechts

Tabelle 2: Basisdaten der Probanden

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse definiert:

Einschlusskriterien:

- diagnostizierte Kniegelenksarthrose (Kellgren-Lawrence-Score 2 oder 3)
- Alter zwischen 45 und 65

Ausschlusskriterien:

- kardiovaskuläre Erkrankungen (Venenthrombose in der Vergangenheit der/des Trainierenden, Krampfadern)
- aktivierte Arthrose, intraartikuläre Infiltration oder Operation des betroffenen Knies
- Stattgefunden OP an der unteren Extremität im vergangenen Jahr
- Schwangerschaft
- Neurologische Erkrankungen
- Reduzierte Compliance
- Alkohol- und Drogenabusus

2.3 Methodik

In den folgenden Unterkapiteln werden die verwendeten Messgeräte und Erhebungsmethoden vorgestellt, die zur Evaluierung möglicher Veränderungen der Kraft, Funktion und Schmerzen herangezogen werden.

2.3.1 Leg Press- EWM

Das einbeinige Einwiederholungsmaximum (EWM) der Probanden wurde auf einer herkömmlichen Beinpresse mit manueller Gewichtsbelastung ermittelt, um die korrekte Trainingsbelastung für die Intervention zu bestimmen. Dabei wurde die Sitzposition der Person auf dem Gerät so eingestellt, dass Hüfte und Knie jeweils 90° gebeugt sind und der Fuß auf der dafür vorgesehenen Stützfläche abgestellt ist (Abb. 3). Vor der eigentlichen Krafttestung wurden zwei Aufwärmätze zu je zehn Wiederholungen mit submaximalem Gewicht durchgeführt. Danach wurde die Belastung so lange erhöht bis die Person nicht öfter als einmal in der Lage war, das Bein gegen den Widerstand über das gesamte Bewegungsausmaß schmerzfrei zu strecken. War das gewählte Gewicht zu gering (d.h. mehr als eine Wiederholung war möglich) wurde nach einer drei- bis fünf-minütigen Pause ein Versuch mit höherem Widerstand durchgeführt. Nach jedem Versuch wurden die Probanden nach Gelenkschmerzen befragt. Mit Hilfe dieses Wertes wurde die Intensität für die Trainingsintervention berechnet. Dabei wurden 30% des EWM für den Kontrollprobanden und maximal 30% für die BFR-Intervention verwendet. Nach drei Wochen wurde die Messung der Maximalkraft wiederholt, um notwendige Anpassungen des Trainingswiderstandes durchführen zu können.



Abbildung 3: Ermittlung des EWM an der Leg Press ©Schmid

2.3.2 Maximal willkürliche isometrische Kontraktion M. Quadriceps

Für die Beurteilung wurde ein tragbares Dynamometer für Zug- und Kompressionskräfte (*Mark-10, Digital Force Gauges Series 3*) verwendet. Die Patienten saßen dabei auf dem

Trainingsgerät für die Knieextension, die Arme vor dem Körper verschränkt. Hüft- und Kniegelenk wurden 90° bzw. 60° flektiert. Der Dynamometer wurde ca. fünf cm proximal des lateralen Malleolus auf der anterioren Seite der Tibia positioniert und mit Hilfe einer Kette am Gerät befestigt (Abb. 4). Bei der Kraftmessung wurden zwei submaximale Versuche durchgeführt, um die Studienteilnehmer an die Testposition zu gewöhnen. Danach folgten drei Wiederholungen mit maximaler isometrischer Kontraktion. Für die Datenanalyse wurde der Durchschnittswert der drei maximalen Versuche verwendet. Forschungsergebnisse zeigen eine gute Reliabilität mit einer Intra-Klassen-Korrelation von 0,89. Die Analyse der Intrarater- und Interrater- Reliabilität der Spitzenkraft (peak force) und der Geschwindigkeit der Kraftentwicklung (Rate of Force Development) kommt in der Studie von Mentiplay u.a. (2015) zu dem Ergebnis einer meist guten bis ausgezeichneten Reliabilität, besonders für proximale Muskelgruppen. Die Analyse der Validität weist auf ein mäßiges bis ausgezeichnetes Verhältnis zwischen mobilem Dynamometer und einem fixierten Dynamometer für Hüft- und Kniemuskulatur hin.



Abbildung 4: Ermittlung der max. willkürlichen isometrischen Kontraktion des M. Quadriceps mit 90° Hüft- und 60° Knieflexion mit Hilfe des Mark-10, Digital Force Gauges Series 3 ©Schmid

2.3.3 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)

Der KOOS wurde als Erweiterung des WOMAC Index entwickelt, um kurz- und langfristige Symptome und die Funktion bei PatientInnen mit Knieverletzungen und Arthrose zu evaluieren. Er enthält fünf Subskalen: 1) Schmerzfrequenz und -intensität während funktionseller Aktivitäten, 2) Symptome wie Kniesteifigkeit, das Auftreten von Schwellung, Knirschen und Bewegungseinschränkung, 3) Schwierigkeiten bei Aktivitäten des täglichen

Lebens, 4) Schwierigkeiten bei Sport- und Freizeitaktivitäten und 5) kniebezogene Lebensqualität (siehe Anhang). Eine Likert-Skala mit jeweils fünf möglichen Antworten wird verwendet. Die Antwortmöglichkeiten werden vordefinierten Punktwerten zugeteilt und anschließend nach einem standardisierten Schema ausgewertet. Es können null bis 100 Punkte erreicht werden, wobei null Punkte extreme Knieprobleme darstellen und 100 Punkte keine Knieprobleme bedeuten (Roos & Lohmander, 2003).

Der KOOS ist empfänglich und sensibel auf Veränderungen bei Menschen mit Kniegelenksarthrose (Roos & Lohmander, 2003). Ergebnisse einer Meta-Analyse zeigen außerdem, dass der KOOS dazu verwendet werden kann, um PatientInnen in jedem Alter bezüglich der internen Konsistenz, Test-Retest-Reliabilität und der Konstruktvalidität zu evaluieren (Collins u. a., 2016).

2.3.4 Visuelle Analogskala (VAS)

Die VAS ist eine von mehreren Methoden zur Erhebung der subjektiven Schmerzintensität (Schomacher, 2008) und sollte dazu verwendet werden, um die möglichen typischen arthrosebedingten anterioren Knieschmerzen während der Intervention mit den beiden Trainingsmodalitäten aufzuzeigen. Es wurden speziell diese anterioren Schmerzen erhoben, da die größte Sorge während der Kräftigung des M. quadriceps die Überbelastung des Patellofemoralgelenks darstellt (Bryk u. a., 2016). Die VAS besteht aus einer bidirektionalen, zehn cm langen Linie mit zwei Beschriftungen an den jeweiligen Enden: „kein Schmerz“ und „schlimmster vorstellbarer Schmerz“ (Abb. 5). PatientInnen werden gebeten eine vertikale Markierung an der Stelle zu setzen, welches das aktuelle Schmerzniveau am besten widerspiegelt (Alghadir, Anwer, Iqbal, & Iqbal, 2018).



Abbildung 5: Visuelle Analogskala (Schomacher, 2007)

Schomacher (2008) zeigt auf, dass die VAS eine reliable, valide und objektive Erhebungsmethode mit hoher Sensitivität für Veränderungen darstellt. In einer Studie mit PatientInnen mit Kniegelenksarthrose (Alghadir u. a., 2018) zeigte die VAS eine exzellente Test-Retest-Reliabilität. Zudem war die VAS im Vergleich mit anderen Erhebungsmethoden die zuverlässigste Skala mit den geringsten Fehlern bei der Messung von arthrosebedingten Knieschmerzen.

2.3.5 Star Excursion Balance Test (SEBT)

Der Star Excursion Balance Test ist ein dynamischer Test, welcher Kraft, Beweglichkeit und Propriozeption erfordert. Er wird hauptsächlich zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit, der dynamischen posturalen Kontrolle und zur Identifizierung von SportlerInnen mit einem erhöhten Risiko für Verletzungen der unteren Extremitäten verwendet (Plisky u. a., 2009). Jedoch wurde der Test in der Vergangenheit auch zur Beurteilung der dynamischen Balancefähigkeit von KniearthrosepatientInnen verwendet, da festgestellt wurde, dass Menschen mit Arthrose eine signifikant höhere Sturzgefahr aufweisen als gesunde ältere Personen. Dynamische Balance wird als Fähigkeit definiert, eine stabile Basis während einer Bewegungsaufgabe beibehalten zu können. Aus diesem Grund argumentieren die Autoren, dass Rehabilitationsprogramme bei Kniegelenksarthrose dieses Problem behandeln sollten, um das Sturzrisiko zu reduzieren (Al-Khlaifat, Herrington, Tyson, Hammond, & Jones, 2016). Beim SEBT balancieren die PatientInnen auf einem Bein während versucht wird, das andere Bein so weit wie möglich in acht verschiedene Richtungen zu bewegen, um danach in den Zweibeinstand zurückzukehren ohne dabei die Balance zu verlieren (Al-Khlaifat u. a., 2016). Earl und Hertel (2001) kommen zu dem Ergebnis, dass die Aktivität des M. vastus medialis obliquus (VMO) und des M. vastus lateralis (VL) in die anterioren Richtungen am höchsten zu sein scheint.

Anhand dieser Daten wurde eine modifizierte Version des SEBT durchgeführt, bei welchem nur die Richtungen nach anterior, antero-medial und antero-lateral beurteilt wurden (Abb. 6). Die Hände wurden dabei in die Hüften gelegt. Die Probanden wurden gebeten jeweils drei Durchgänge pro Bein zu absolvieren. Die Werte der jeweiligen Richtungen wurden gemessen, notiert und deren Mittelwerte berechnet.



Abbildung 6: Ermittlung des SEBT in die Richtungen anterior, antero-medial und antero-lateral ©Schmid

2.3.6 Single Leg Squat (SLS)

Dieser Test ermittelt die maximale Wiederholungsanzahl an einbeinigen Kniebeugen mit kontrollierter Geschwindigkeit, Durchführungsqualität und Höhe der Sitzfläche (40 cm). Dieser Test stellte für den Autor dieser Arbeit aufgrund des hohen Aktivitätsniveaus der Probanden eine aussagekräftigere Alternative zum Timed- up and Go Test dar, welcher in der bereits vorhandenen Literatur zu BFR-Training bei Kniegelenksarthrose verwendet wird (Bryk u. a., 2016; Ferraz u. a., 2017; Segal, Davis, u. a., 2015; Segal, Williams, u. a., 2015). Culvenor, u.a. (2016) zeigten in ihrer Arbeit einen Cutoff- Wert von 22 Wiederholungen auf, welcher die Entwicklung einer radiografischen Kniegelenksarthrose bei Menschen mittleren Alters mit chronischen Knieschmerzen prognostiziert.

2.4 Trainingsintervention

Vor Beginn der Intervention wurden allgemeine Daten der Probanden aufgenommen und eine Einverständniserklärung unterschrieben, welche für eine Teilnahme an der Studie notwendig war. Zusätzlich wurden die Personen aufgeklärt, dass ein Rücktritt von der Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen möglich ist. Danach wurden die Probanden zufällig mittels Losung einer der beiden Trainingsmodalitäten zugeteilt. Beide Personen absolvierten ein unilaterales Krafttrainingsprogramm an der Beinpresse mit niedriger Intensität, welches sich an der Untersuchung von Segal u.a. (2015) orientierte. Der einzige Unterschied war, dass eine Person die Kräftigungsübung mit einer gleichzeitigen Restriktion des venösen Blutflusses absolvierte. Für diesen Zweck wurde das Gerät *Delfi PTSii* (Abb. 8) in Kombination mit der Manschette (*Delfi Easi-Fit Tourniquet Cuff for BFR*) in der Länge von 86 cm verwendet. Die Manschette wurde soweit proximal wie möglich positioniert und der Druck während des Trainings betrug 80% des LOP, welcher zu Beginn jeder Trainingseinheit mit dem *Delfi PTSii* neu ermittelt wurde. Das Programm beinhaltete vier einbeinig durchgeführte Sätze an der Beinpresse, zwei Mal pro Woche für insgesamt fünf Wochen. Der BFR-Proband trainierte dabei ausschließlich mit dem betroffenen linken, der Kontrollproband mit dem betroffenen rechten Bein. Die Intensität des Kontrollprogrammes betrug 30% des EWM, die des BFR- Programmes sollte so nahe wie möglich an der 30%-EWM-Schwelle liegen. Nach Absprache mit dem Probanden wurde von den Betreuern der Studie vor Trainingsbeginn und während der Satzpausen entschieden, ob eine Erhöhung/ Verringerung der Trainingsbelastung notwendig war, um einerseits das gesamte Trainingsprotokoll absolvieren zu können und andererseits eine möglichst hohe wahrgenommene Anstrengung des Probanden nach Beendigung der 75 Wiederholungen zu erreichen. Nach drei Wochen wurde das EWM der beiden Studienteilnehmer erneut ermittelt,

um die Trainingsbelastung bei einer möglichen Kraftsteigerung an das Trainingsprotokoll anpassen zu können. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da Loenneke u.a. (2010) bei ProbandInnen bereits nach drei Wochen eine Steigerung der Kraft aufgrund von BFR-Training nachweisen konnten. Die Person, welche mit dem BFR-Gerät trainierte, trug die Manschette 6,5 Minuten (Abb. 7). Im Schnitt betrug die BFR-Trainingsintensität $17,8 \pm 5,7\%$ des EWM.

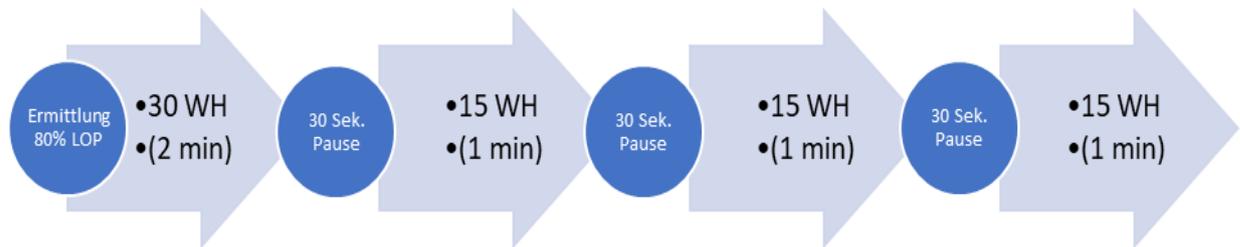


Abbildung 7: BFR Trainingsprotokoll (modifiziert nach Segal u.a., 2015)

Die exzentrische wie auch die konzentrische Kontraktion sollten in beiden Trainingsprotokollen jeweils zwei Sekunden dauern, da Studien gezeigt haben, dass dies die Ermüdung steigert (Cook, Clark, & Ploutz-Snyder, 2007). Die Adhärenz am BFR- Trainingsprogramm betrug 88,9% (8 von 9 Trainings). Die Kontrollperson nahm an 100% der Einheiten teil (9 von 9 Trainings).



Abbildung 8: Exemplarische Darstellung eines unilateralen BFR-Trainings mit dem Delfi PTSii an einer Leg Press ©Schmid

2.5 Statistisches Auswertungsverfahren

Für die Auswertung und Diskussion der ermittelten Daten wurde eine deskriptive Statistik angewendet. Dabei wurde Bezug auf die Literatur von Priestersbach, Röhrig, du Prel, Gerhold-Ay, und Blettner (2009) genommen. Von besonderem Interesse waren die demografischen Daten und die Ergebnisse der Outcomeparameter. Die Daten der zwei bzw. drei Messzeitpunkte wurden im Programm Microsoft Office Excel tabellarisch gesammelt, auf Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und miteinander verglichen. Zusätzlich wurde direkt nach jeder Trainingseinheit die VAS, das verwendete Trainingsgewicht und der Restriktionsdruck dokumentiert. Zur leichteren Veranschaulichung der Trainingseffekte wurden die prozentuellen Veränderungen der einzelnen Parameter berechnet. Zusätzlich wurden die Ergebnisse mit Hilfe von Diagrammen grafisch aufbereitet.

3 Ergebnisse

3.1 Leg Press- EWM

Das einbeinige EWM an der Beinpresse wurde vor der ersten Trainingseinheit, nach drei Wochen Training und nach Beendigung der Intervention erhoben (Abb. 9). Die Ermittlung folgte immer im Anschluss an zwei beidbeinig durchgeführte submaximale Aufwärmätze, da in weiterer Folge das unilaterale EWM von beiden Beinen ermittelt wurde. Der BFR Kandidat konnte die Maximalkraft beider Beine innerhalb der ersten drei Wochen um 16,67% steigern und verbesserte in den beiden darauffolgenden Trainingswochen das EWM des linken Beines um insgesamt 27,78%. Die Maximalkraft des rechten Beines blieb dagegen unverändert. Das EWM beider Beine des Kontrollprobanden verbesserte sich über den fünfwöchigen Trainingszeitraum um insgesamt 7,14%. Die Ermittlung der Maximalkraft erfolgte bei beiden Probanden ohne Schmerzprovokation.

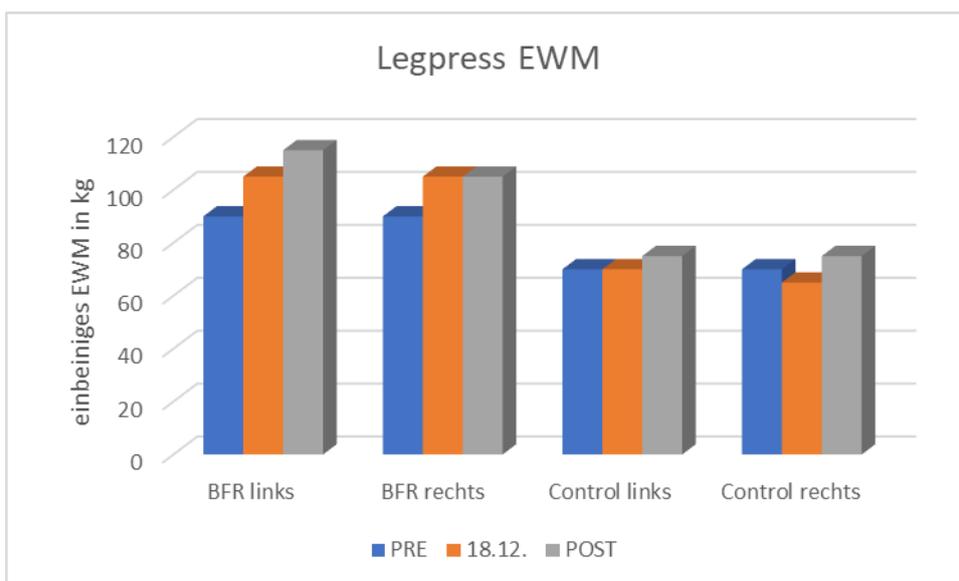


Abbildung 9: Einbeiniges EWM an der Leg Press

3.2 Maximal willkürliche isometrische Kontraktion M. Quadriceps

Der Mittelwert aus drei Versuchen der maximal willkürlichen Kontraktion des M. Quadriceps, welche wie zuvor beschrieben mit einem *MARK-10 Dynamometer* erhoben wurde, ergab einen weiteren Evaluierungsparameter (Abb. 10). Der Mittelwert der Messungen des linken Beines verbesserte sich beim BFR Kandidaten um 37,25%, der des rechten Beines um 35,79%. Der Kontrollproband steigerte die durchschnittliche maximal willkürliche isometrische Kontraktion des linken Quadriceps um 21,15%, die des rechten um

17,32%. Bei der Ermittlung der Maximalkraftwerte gab keiner der beiden Probanden Schmerzen an.

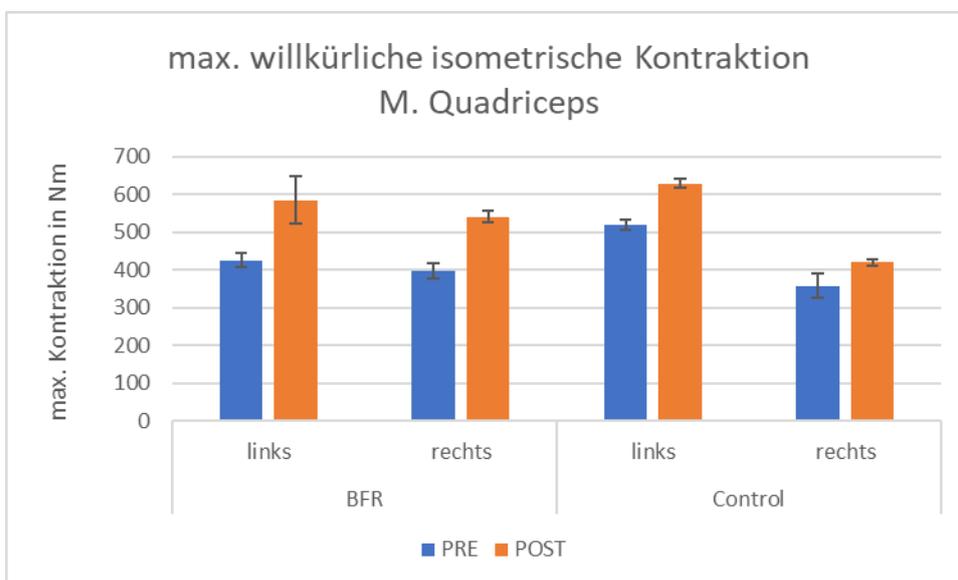


Abbildung 10: Gegenüberstellung der maximal willkürlich isometrischen Kontraktion des M. Quadriceps im Pre- und Posttest

3.3 KOOS

Für die Berechnung der Scores wurde die Excel Tabelle verwendet, welche auf www.koos.nu zur freien Verfügung steht. In Tabelle 3 sind die einzelnen Subkategorien und die prozentuellen Verbesserungen aufgelistet. 100 Punkte bedeuten keine, 0 Punkte extreme Knieprobleme.

	BFR					Control				
	P	S	ADL	SP	QOL	P	S	ADL	SP	QOL
PRE	100	89	100	85	88	92	82	94	65	38
POST	100	93	100	100	94	100	89	99	90	69
%	-	+4,49%	-	+17,65%	+6,82%	+8,70%	+8,54%	+5,32%	+38,46%	+81,58%

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Daten aus Pre- und Posttest für die Subkategorien Schmerz (P), Symptom (S), Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Sport (SP) und Lebensqualität (QOL) und deren prozentuelle Veränderungen

Abbildung 11 soll die allgemeine Veränderung über den Interventionszeitraum verdeutlichen.

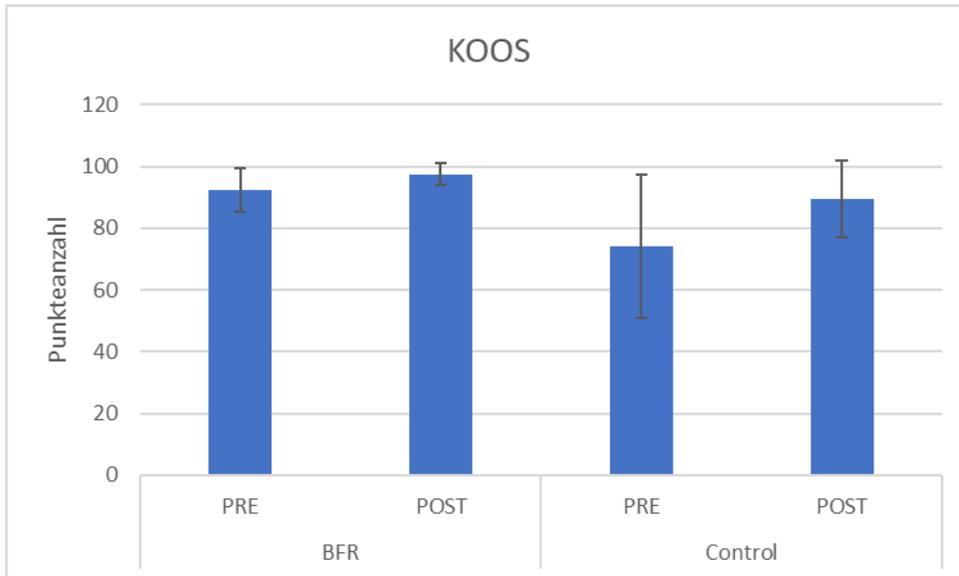


Abbildung 11: KOOS- Gegenüberstellung der ermittelten Durchschnittswerte der Subskalen Schmerz, Symptom, ADL, Sport und QOL im Pre- und Posttest

Diese Daten entsprechen einer insgesamten prozentuellen Verbesserung der kniebedingten Probleme von 5,41% beim BFR-Probanden und 20,49% beim Kontrollprobanden.

3.4 Visuelle Analogskala- Schmerz

Die Probanden wurden nach jeder Trainingseinheit nach dem Auftreten des ihnen bekannten anterioren Knieschmerzes befragt. Weder das BFR- Training noch das Training mit geringer Intensität ohne Restriktion des venösen Blutflusses konnte diesen speziellen Schmerz reproduzieren. Die Befragung nach der Durchführbarkeit ergab, dass das BFR-Training in Bezug auf „discomfort“ (Unbehagen) mit einem VAS-Wert von durchschnittlich 9 bewertet wurde. Die erste Einheit, in der eine Trainingsintensität von exakt 30% des EWM verwendet wurde, musste aufgrund der trainingsinduzierten ischämischen Schmerzen nach 21 Wiederholungen abgebrochen werden. Durch die Reduktion der Intensität und eine laufende individuelle Anpassung der Gewichtsbeladung an der Beinpresse konnte die Trainingsintervention über den Zeitraum von fünf Wochen durchgeführt werden.

3.5 Star Excursion Balance Test (SEBT)

Der Vergleich der Pre- und Post-Test-Ergebnisse beim BFR-Kandidaten ergab, dass auf dem linken Standbein die Bewegungsamplitude nach anterior konstant bei durchschnittlich 62 cm blieb. Nach antero-medial steigerte sich der Proband von durchschnittlich 65 cm auf 65,3 cm und nach antero-lateral verbesserte sich der Wert von anfänglichen 55 cm im Durchschnitt auf 59 cm bei der zweiten Messung. Bei der Durchführung mit rechtem Standbein kam es in die anteriore Richtung zu einer Verschlechterung von 63 cm auf 61

cm im Mittelwert. Die Richtung nach antero-medial verschlechterte sich ebenfalls von 69 cm auf 67,5 cm. Nach antero-lateral kam es zu einer durchschnittlichen Verbesserung von 57 cm auf 58,6 cm. Insgesamt bedeutet dies eine prozentuelle Verbesserung des linken Beines von +2,76% und eine Verschlechterung um 0,98% des rechten Beines. Der Kontrollproband verzeichnete bei der Testung auf dem linken Standbein eine Verschlechterung nach anterior von durchschnittlich 56 cm auf 53 cm und nach antero-medial von 65 cm auf 63 cm. Die Reichweite nach antero-lateral verbesserte sich von durchschnittlich 49 cm auf 53,6 cm. Der Vergleich der Werte der Testausführung mit rechtem Standbein ergab nur in die anteriore Richtung eine Verschlechterung von durchschnittlich 53 cm auf 52,8 cm. Die Richtungen nach antero-medial und antero-lateral blieben über den Interventionszeitraum unverändert bei durchschnittlich 61 cm bzw. 52 cm. Insgesamt bedeutet dies eine prozentuelle Verbesserung des linken Beines von +0,39% und einer Steigerung um 0,4% des rechten Beines. Abbildung 12 stellt die durchschnittliche Reichweite pro Bein im Vergleich von Pre- und Post-Test dar.

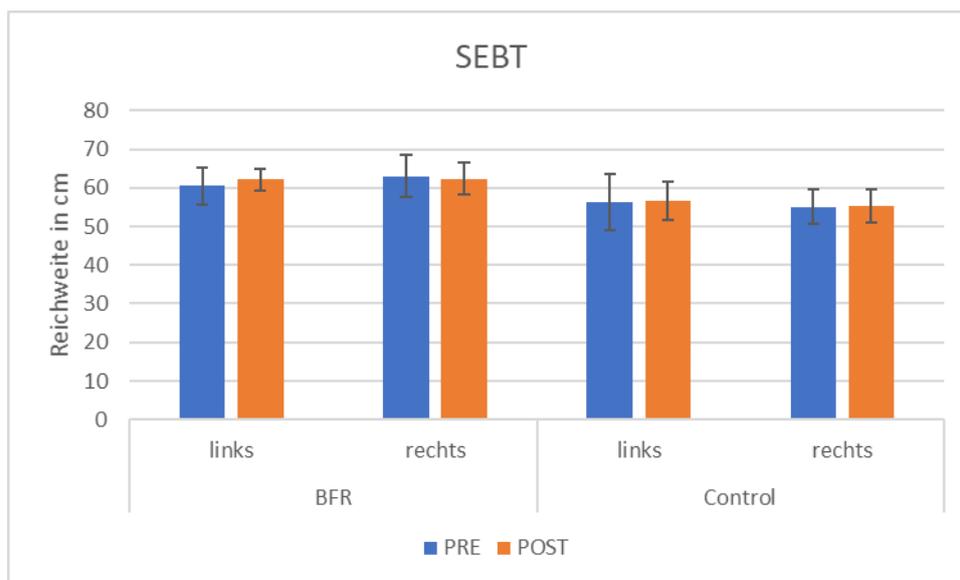


Abbildung 12: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Reichweite in cm beim SEBT im Pre- und Posttest der Richtungen anterior, antero-medial und antero-lateral

3.6 Single Leg Squat (SLS)

Beim SLS konnte der BFR-Kandidat die Anzahl der möglichen Wiederholungen mit dem linken Bein um 25% steigern. Die Anzahl der möglichen Wiederholungen mit dem rechten Bein änderte sich über den fünfwöchigen Trainingszeitraum nicht. Der Kontrollproband konnte die Anzahl der Wiederholungen mit dem linken Bein ebenfalls um 25 % steigern. Mit dem betroffenen rechten Bein konnte vor und nach der Intervention keine volle Wiederholung absolviert werden (Abb. 13).

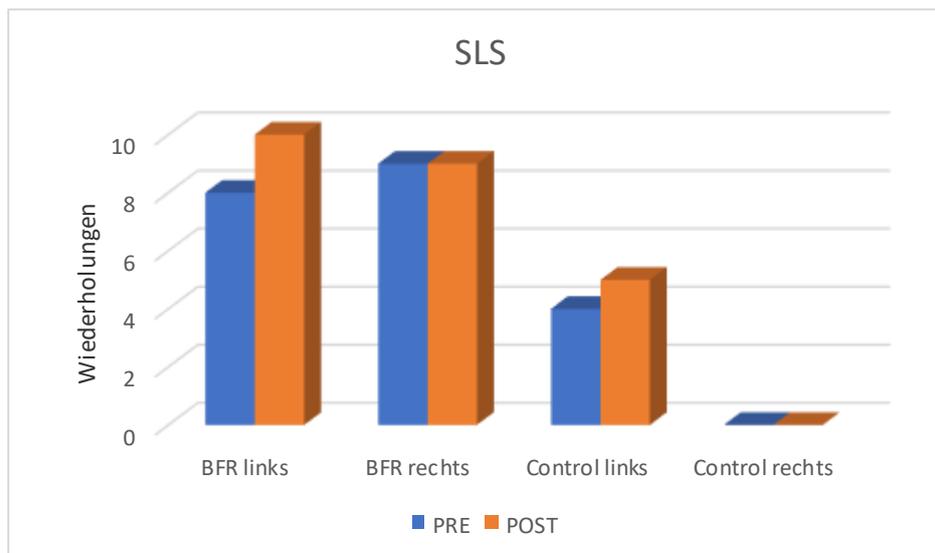


Abbildung 13: Vergleich der Anzahl der erfolgreich absolvierten SLS pro Bein im Pre- und Posttest

3.7 Verlauf des Restriktionsdruckes

Zu Beginn jeder BFR- Trainingseinheit wurde mittels *Delfi PTSii* der LOP und die 80% LOP Schwelle ermittelt. Dazu wurde die Restriktionsmanschette angelegt, während der Proband bereits in der Ausgangsposition für die Trainingsübung an der Beinpresse saß. Der durchschnittliche Druck, welcher für eine komplette Okklusion des Blutflusses (LOP) nötig war, lag bei $242,25 \pm 17,98$ mmHg. Der durchschnittlich verwendete Druck während des Trainings, welcher mit 80% des LOP festgelegt wurde, lag bei $193,25 \pm 14,25$ mmHg. In Abbildung 14 ist jener Druck ersichtlich, welcher pro Trainingseinheit verwendet wurde.

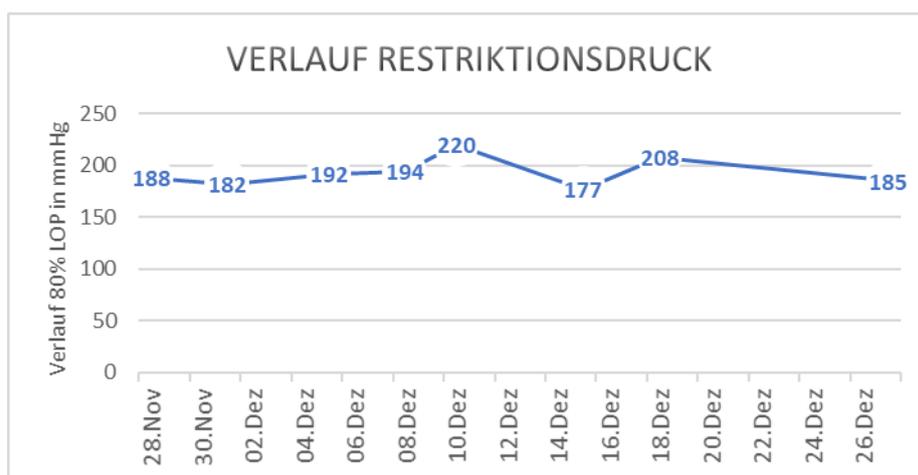


Abbildung 14: Verlauf der 80% LOP Schwelle über den gesamten Interventionszeitraum

4 Diskussion

Die Ergebnisse und die anschließende kritische Auseinandersetzung mit den Evaluierungsparametern dieser Case Study sollen dabei helfen, Hypothesen zu erstellen und Tendenzen zu erkennen, welche möglichen Folgestudien als Ausgangspunkt dienen können. Die klinische Relevanz ergibt sich durch den im Kapitel 1 erläuterten wissenschaftlichen Hintergrund. Folgende Forschungsfragen sollen im weiteren Verlauf dieses Kapitels beantwortet werden:

- *Stellt BFR-Training bei Kniearthrose-PatientInnen eine geeignete Trainingsform dar, um die Muskelkraft zu verbessern?*
- *Verbessert sich die Funktion durch BFR-Training deutlicher als durch Krafttraining mit niedriger Intensität?*
- *Kann durch BFR- Training bei PatientInnen mit Kniearthrose eine Reduktion der Schmerzen erzielt werden?*
- *Ermöglicht die Restriktion des venösen Blutflusses mittels LOP eine individuelle und zeitsparende Anpassung an die trainierende Person?*

Ziel dieser Studie war es, das Krafttrainingsprogramm an der Leg Press mit verschiedenen Trainingsmodalitäten auf die Punkte Kraft, Funktion und Schmerz hin zu evaluieren. Des Weiteren sollte die Art der Restriktion des Blutflusses mittels LOP mit anderen Methoden verglichen werden. Auf Basis der Daten lassen sich die Forschungsfragen mit einem generellen Ja beantworten. Auf den folgenden Seiten sollen die einzelnen Fragestellungen genau beleuchtet und diskutiert werden.

In Bezug auf die Muskelkraft ist die Haupteckenerkenntnis dieser Case Study, dass das BFR-Training im Vergleich mit einem Training mit geringer Intensität und hohem Volumen zu deutlicheren Verbesserungen der dynamischen Maximalkraft der unteren Extremität und der maximal willkürlich isometrischen Kontraktion des M. Quadriceps geführt hat. Kniegelenksarthrose umfasst oftmals eine Verringerung der Muskelkraft und -masse, welche von Symptomen wie Schmerz und einer reduzierten Lebensqualität begleitet wird (Ferraz u. a., 2017). Angesichts der Bedeutung von Muskelkraft und -masse des M. Quadriceps auf den Krankheitsverlauf, die Funktionalität und die Lebensqualität kommt das Review von Mora, Przkora, und Cruz-Almeida (2018) zu dem Ergebnis, dass Krafttraining eine wertvolle Therapiemöglichkeit darstellt und von der OARSI, dem ACR (American College of Rheumatology) und der AAOS (American Academy of Orthopedic Surgeons) als First-Line Therapie empfohlen wird. Um trainingsinduzierte Adaptionen zu maximieren emp-

fehlt das ACSM (American College of Medicine) moderate bis hohe Belastungen (60-70% EWM) (American College of Sports Medicine, 2009). Dies stellt einen klaren Nachteil in der Therapie von Kniegelenksarthrose dar, da Schmerzen oftmals verhindern, dass PatientInnen mit hohen Intensitäten trainieren können (Jan, Lin, Liao, Lin, & Lin, 2008). Aus diesem Grund stellt BFR- Training eine potentielle Alternative dar, da es bei viel niedrigeren Intensitäten ähnliche Muskelanpassungen auszulösen scheint (Lixandrão u. a., 2018). In dieser Studie zeigten die Messungen der dynamischen Maximalkraft der trainierten unteren Extremitäten ähnliche Ergebnisse, wie sie in vorhergehenden Arbeiten zu beobachten waren (Bryk u. a., 2016; Ferraz u. a., 2017). Einen plausiblen Erklärungsversuch für die Kraftzuwächse im BFR-Programm der untrainierten Extremität liefert der sogenannte Crossover- Effekt. Dieser beschreibt bilaterale Anpassungen bei unilateralen Interventionen. In der Studie von Cirer-Sastre, Beltrán-Garrido, und Corbi (2017) wurden bei Trainingsprogrammen, welche in mehrere Sätze aufgeteilt wurden (3-5 Sätze mit 8-15 Wiederholungen und Pausen von 1-2 Minuten) Steigerungen der Kraft in der gegenüberliegenden Gliedmaße von bis zu $39,2 \pm 7,8\%$ festgestellt. Da BFR- Training als Alternativmöglichkeit für Krafttraining in eben diesem Intensitäts- und Zielbereich (d.h. Hypertrophie) diskutiert wird, stellt dieser Ansatz eine mögliche Erklärung für die beobachteten bilateralen Anpassungen dar. In einer kürzlich erschienenen Arbeit mit gesunden jungen ProbandInnen wurden in einem sechswöchigen unilateralen BFR-Studienprotokoll mit vier verschiedenen Übungen ebenfalls kontralaterale Verbesserungen festgestellt. Die Autoren dokumentierten eine signifikante Steigerung der Kraft der Knieextensoren ($8 \pm 9\%$) im Vergleich mit einer Kontrollgruppe ($3 \pm 9\%$) (Bowman u. a., 2019). Obwohl die Verbesserungen geringer waren als jene der aktuellen Studie, unterstützt diese Erkenntnis die Evidenz eines systemischen oder Crossover- Effekts. Studienprotokolle mit einer größeren Population werden notwendig sein, um das Ausmaß dieses Effektes genauer beschreiben zu können. Ein weiterer Diskussionspunkt, welcher auch die kontralateralen Kraftzuwächse des Kontrollprobanden erklären könnte, ist motorisches Lernen. Obwohl die Ermittlung der Maximalkraft des M. Quadriceps in einem Abstand von fünf Wochen stattfand, ist es möglich, dass durch diesen Effekt die Steigerung in der Post-Messung zu erklären ist. Ebenso ist der Aspekt der Motivation nicht zu vernachlässigen. Da die Probanden aufgrund von fehlender Verblindung das Ergebnis der ersten Maximalkraftmessungen kannten, ist es möglich, dass beide Personen diesen Wert in der zweiten Messung überbieten wollten.

Im Vergleich mit der bisher einzigen Studie mit männlichen Probanden mit Risikofaktoren für Kniegelenksarthrose (Segal, Davis, u. a., 2015), welche keine deutlicheren Verbesse-

rungen durch BFR Training feststellte, konnten keine vergleichbaren Ergebnisse aufgezeigt werden. Somit deuten die Daten auch bei männlichen Probanden darauf hin, dass die Addition von BFR zu einem besseren Trainingsoutcome in Bezug auf Muskelkraft führt, als Krafttraining mit niedriger Intensität allein.

In Hinsicht auf die Outcomes der Funktionstests, gemessen mit dem SEBT und SLS, sind keine so klaren Trends erkennbar. Zwar konnte beim SLS, welcher neben der posturalen Kontrolle ein hohes Maß an dynamischer Maximalkraft erfordert, eine Verbesserung des betroffenen Beines beim BFR-Probanden nachgewiesen werden. Jedoch präsentierten sich bei beiden Probanden die Ergebnisse der SEBT-Messung über den Interventionszeitraum als sehr konstant. Einzig die Steigerung der Reichweite des BFR Kandidaten nach antero-lateral kann als Trend in Richtung Verbesserung interpretiert werden. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen kamen Al-Khlaifat u.a. (2016) in ihrer Arbeit zu signifikanten Verbesserungen beim SEBT bei Patienten mit Kniegelenksarthrose. Dabei wurden sechs Trainingseinheiten durchgeführt und die Patienten absolvierten zusätzlich ein Heimübungsprogramm. Diese Kombination aus Kraft- und sensomotorischem Training beinhaltete eine Vielzahl an ein- und beidbeinigen Übungen für die unteren Extremitäten, welche in jeweils fünf verschiedenen Schwierigkeitsstufen absolviert werden konnten. Hierfür wurde die Stabilität kontinuierlich reduziert, sodass die Übungen mit der höchsten Schwierigkeitsstufe auf einem Wackelbrett mit Widerstand durchgeführt wurden. Dies lässt darauf schließen, dass die Kräftigungsübung der aktuellen Studie an der geführten Beinpresse keine hohen Anforderungen in Bezug auf die Ausführungsqualität und die dynamische Balance an die Probanden stellte und es somit auch zu keiner Verbesserung in der Balancefähigkeit, trotz verbesserter Muskelkraft, führte. Des Weiteren ist trotz einem Mangel an Literatur anzunehmen, dass der M. gluteus medius, welcher für die Ausführung des SLS wie auch des SEBT essentiell ist (Boudreau u. a., 2009; Norris & Trudelle-Jackson, 2011), während der geführten Leg Press keinen ausreichenden Trainingsstimulus erfährt, um einen Kraftzuwachs verzeichnen zu können, welcher für die Ausführung der funktionellen Tests von Bedeutung sein könnte. Aus diesem Grund hat sich in der klinischen physiotherapeutischen Behandlung von Kniegelenksarthrose mit BFR-Training durchgesetzt, dass innerhalb einer Einheit mehrere Übungen für die Bein- und Hüftmuskulatur in verschiedenen Ausgangsstellungen durchgeführt werden und somit die Anforderungen an die Hüftmuskulatur und die sensomotorischen Fähigkeiten der PatientInnen erhöht werden. In der bisher einzigen Studie, welche die Effekte eines solchen Programmes evaluierte, konnte bei jungen gesunden ProbandInnen zwar signifikante proximale, distale und kontralaterale Verbesserungen der Kraftleistung verzeichnet werden, jedoch

wurden in dieser Arbeit keine funktionellen Tests durchgeführt (Bowman u. a., 2019). Weitere Studien sind deshalb notwendig, um die Effekte eines solchen BFR-Trainings auf die dynamische Balance und Muskelkraft von KniearthrosepatientInnen zu evaluieren.

Bei der Beurteilung der kniebedingten Beeinträchtigung der Probanden mittels KOOS fällt auf, dass der BFR Kandidat bereits zu Beginn weniger Knieprobleme angab als der Kontrollproband. Somit ist der Vergleich der insgesamt prozentuellen Verbesserung beider Probanden kritisch zu betrachten. Besonders auffällig sind hierbei in der Baseline Erhebung die Subkategorien Sport und Lebensqualität. Über den fünfwöchigen Interventionszeitraum kam es bei beiden Probanden zu einer durchschnittlichen Verbesserung in allen Bereichen. Durch die intensive Betreuung der Probanden während der Trainingseinheiten von mindestens einer, jedoch meist zweier Betreuungspersonen kam es zur Aufklärung und Patientenedukation bezüglich der Kniegelenksarthrose. Diese Maßnahme wird zum Beispiel auch von der OARSI Guideline (McAlindon u. a., 2014) als geeignete Maßnahme in der Therapie empfohlen. Somit ist es möglich, dass dieser Kontextfaktor ebenso zur subjektiven Verbesserung der Beschwerden beigetragen hat. Im Gegensatz zu bereits erwähnter Studie von Ferraz u.a. (2017) zu BFR Training bei Kniegelenksarthrose konnte in dieser Studie die Subskala Schmerz durch das Kontrollprogramm verbessert werden. Da der BFR Proband jedoch bereits zu Beginn der Intervention keine Probleme in diesem Bereich angab, ist wie bereits erwähnt ein Vergleich dieser Parameter kaum möglich. Beide Trainingsinterventionen resultierten in keinen trainingsbezogenen Gelenksschmerzen, keinen Schmerzen nach dem Training und es gab keine Studienabbrüche wie sie zum Beispiel in der Studie von Ferraz u.a. (2017) in der Trainingsgruppe mit hoher Intensität zu beobachten waren. Im Gegenteil zu bisher durchgeführten Studien wurde neben dem anterioren Knieschmerz auch die Durchführbarkeit mittels VAS ermittelt. Während der Kontrollproband den trainingsbedingten „discomfort“ immer mit Null bewertete, kam der BFR Proband auf durchschnittlich neun Punkte. Somit stellt sich die Frage, ob andere PatientInnen diese Intensität ebenfalls tolerieren würden.

Wie bereits erwähnt ermöglicht ein an die Person individuell angepasstes Druckniveau mittels einer chirurgischen Druckmanschette einen sicheren und gleichbleibenden BFR-Stimulus. Dagegen zeigen gebräuchliche, nicht-personalisierte Methoden der BFR-Druck-Ermittlung signifikante Wirksamkeits- und Sicherheitsprobleme (McEwen u. a., 2018). Vergleicht man die verwendeten Methoden zur Bestimmung des BFR- Druckes der vier genannten Studien zur Behandlung von Kniegelenksarthrose mittels BFR Training, so wird deutlich, dass drei verschiedene Geräte und Methoden verwendet wurden. Während einerseits ein fixer Druck von 200 mmHg verwendet wurde (Bryk u. a., 2016), arbeiteten

zwei Studien (Segal, Davis, u. a., 2015; Segal, Williams, u. a., 2015) mit dem *Kaatsu Master BFR Device*, welches mit einem fix definierten Stufenmodell von Drücken von 100 bis 200 mmHg innerhalb einer Trainingseinheit arbeitete. Zusätzlich wurde der Druck immer wieder für zehn Sekunden reduziert. Ferraz u.a. (2017) verwendeten eine vaskuläre Dopplersonde zur Bestimmung der kompletten Okklusion. 70% dieses Druckes wurden für das Training verwendet wobei in der Studie ein durchschnittlicher Druck von $97,4 \pm 7,6$ mmHg zur Anwendung kam. Diese teils enormen Unterschiede machen den Vergleich der einzelnen Interventionen sehr schwer. Zieht man den 80% LOP Verlauf des Probanden dieser Studie hinzu, ist deutlich zu erkennen, dass bei einzelnen Individuen Schwankungen von mehr als 40 mmHg möglich sind. Diese Tatsache spricht eindeutig für die Anwendung von BFR Geräten, welche eine individualisierte Bestimmung des Restriktionsdruckes ermöglichen.

Weiters ist die Tatsache zu diskutieren, dass alle vorliegenden Studien das BFR- Trainingsprotokoll mit einer Intensität von 30% des EWM durchführten, es in dieser Studie aber nicht möglich war, das Protokoll mit einer ähnlich hohen Intensität zu absolvieren. Dies kann an den gerade zuvor diskutierten unterschiedlichen Manschettendrücken und einer eventuell unzureichenden Restriktion des venösen Blutflusses liegen. Aber auch die Art der Ermittlung der Maximalkraft kann einen Unterschied ausmachen. Während in dieser Arbeit das tatsächliche EWM an der Beinpresse ermittelt wurde, und auch keine Schmerzen die Messung limitierten, kann davon ausgegangen werden, dass zum Beispiel die Ermittlung mittels der EWM-Schätzmethode nach Lombardi (Segal, Williams, u. a., 2015) nur einen ungefähren Richtwert liefert und nicht das tatsächliche EWM wiedergibt.

Im Einklang zu der aktuellen Literatur kam es auch im Rahmen dieser Studie durch das BFR Training zu keinen Komplikationen. Somit wird das Argument gestärkt, dass BFR Training für diese Zielgruppe sicher ist. Tatsächlich hat sich die Trainingsmodalität für eine Vielzahl an Populationen als ungefährlich herausgestellt, jedoch ist eine professionelle Unterstützung und eine richtige Kontrolle der Trainingsvariablen erforderlich. Die Sicherheit von BFR Training bei PatientInnen mit erhöhtem Risiko für kardiovaskuläre Ereignisse wurde allerdings bisher noch nicht systematisch untersucht (Kacin, Rosenblatt, Žargi, & Biswas, 2015)

4.1 Einsatz in der orthopädischen Rehabilitation

Das durchgeführte Trainingsprotokoll, welches den Empfehlungen der internationalen Leitlinien zur konservativen Behandlung von Kniegelenksarthrose nachkommt, zeigt durch die vorliegenden Ergebnisse Indikationen zur Annahme, dass der Einsatz von BFR Training eine interessante Methode des Belastungsmanagements darstellt, um die Muskelkraft und somit auch Belastungsfähigkeit von ArthrosepatientInnen zu steigern. Diese Adaptationen könnten in weiterer Folge genutzt werden, um hohe Intensitäten wie zum Beispiel jene von klassischem Krafttraining zu tolerieren und so zu einer langfristigen Reduktion der Beschwerden bei Gonarthrose beizutragen. Dies könnte betroffene Personen zu einem aktiveren Lebensstil animieren, einen schmerzfreien Alltag und die Ausübung von Freizeitaktivitäten ermöglichen.

Um eine endgültige Aussage über die Etablierung des BFR Trainings in die orthopädische Rehabilitation, besonders aber in der Behandlung von Kniegelenksarthrose, treffen zu können müssen weitere Studien durchgeführt werden, die die Wirksamkeit bestätigen. Dazu wird es notwendig sein, eine einheitlichere Meinung über die wesentlichsten Parameter des Trainings zu gewinnen. So muss ein Konsens zu Trainingsintensität, Manschetendruck, Trainingsprotokoll und eine Auswahl an geeigneten Übungen erarbeitet werden, welche an einer größeren Studienpopulation erforscht werden muss. Ebenfalls wird es interessant sein, die Durchführbarkeit von BFR Training in größeren Populationen zu erforschen. Fraglich bleibt, ob alle ProbandInnen mit einem so hohen „discomfort“, welcher durch diese Arbeit aufgezeigt wurde, während der Einheiten zurechtkommen.

Wie bereits zuvor erwähnt unterscheidet sich die derzeitige klinische Arbeit noch von den meisten Studiendesigns. So werden meist mehrere BFR- Übungen, wie zum Beispiel Leg Press, Straight Leg Raise, Leg Curls, Calf Raises und Beinheben in Seitlage durchgeführt. Obwohl die Abduktoren proximal der Manschette liegen, wurden in Studien Hypertrophie-Effekte und Kraftzuwächse über eine systemische Wirkung des BFR- Trainings bei Muskeln festgestellt, welche unter keiner Einschränkung des Blutflusses standen (Bowman u. a., 2019; Hwang & Willoughby, 2017). Diese Adaptationen könnten sich als vorteilhaft erweisen, um die Funktion der PatientInnen zu verbessern. Außerdem könnte der Einsatz laut Bowman u. a. (2019) in der postoperativen Behandlung nach einer Hüftarthroskopie oder einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes Vorteile mit sich bringen.

4.2 Limitationen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die Ergebnisse der durchgeführten Trainingsintervention ausführlich diskutiert. Die vorliegende Case Study hat wichtige Erkenntnisse geliefert, welche für den Einsatz in der physiotherapeutischen Behandlung von Kniegelenksarthrose bedeutsam sind. Durch die kritische Auseinandersetzung wurden Limitationen und Fehlerquellen entdeckt, welche im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, ein BFR- Trainingsprogramm mit einem herkömmlichen Trainingsprogramm mit geringer Intensität und hohen Wiederholungszahlen zu vergleichen und aufgrund der Outcomeparameter auf die Effektivität hin zu evaluieren. Dies soll in weiterer Folge zu einer allgemein gültigen Hypothesenbildung führen, welche als Basis für weitere Studien dienen kann. Das gewählte Studiendesign als Case Study mit zwei Studienteilnehmern stellt sich dabei als limitierend heraus. Die beiden Studienteilnehmer erfüllten zwar alle Ein- und Ausschlusskriterien und wiesen ähnliche demografische Daten auf, jedoch ist zu beachten, dass betroffene Personen mit Gonarthrose unterschiedlichste Beschwerdebilder und Erwartungen an die Therapie aufweisen können. Somit stellt sich die Frage, ob die gewonnenen Erkenntnisse auch auf weibliche Patientinnen, ältere Personen oder PatientInnen mit einer schwereren Symptomatik umgelegt werden können. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Fitnesszustand der Probanden, welcher sich bereits vor dem Trainingsprogramm als überdurchschnittlich herausstellte. Beide Probanden waren ihr gesamtes Leben sehr aktiv und hatten in der Vergangenheit jahrelange Erfahrungen mit Krafttraining gesammelt. Dies trifft nicht auf jede an Kniegelenksarthrose erkrankte Person zu. Aus diesen Gründen gibt es Bedarf an einer systematischen Erforschung der möglichen Rolle von BFR Training in der Behandlung von Kniegelenksarthrose durch gut kontrollierte klinische Studien an größeren Populationen.

Während das durchgeführte Trainingsprogramm hauptsächlich auf eine Steigerung der Muskelkraft und eine Reduktion der Schmerzen abzielt, evaluieren die physiotherapeutischen Assessments in zwei Fällen auch funktionelle Outcomes. Diese Tests für die untere Extremität erfordern aufgrund der einbeinigen Durchführung neben der dynamischen Muskelfunktion in der Sagittalebene eine gute muskuläre Stabilisierung in der Frontalebene. Zusätzlich wird eine gute dynamische Balance, ein gewisses Maß an Beweglichkeit in Hüfte, Knie und Sprunggelenk sowie eine gute sensomotorische Fähigkeit in Bezug auf die Beibehaltung einer physiologischen Beinachse benötigt. Aus diesem Grund wäre es ratsam, Interventionen mit sensomotorischen Übungen mit einem BFR-Krafttrainingsprogramm an geführten Maschinen auf deren Outcomes bei funktionellen

Tests hin zu vergleichen. Eine weitere Limitation stellt die Tatsache dar, dass in bisher keiner Studie, welche sich mit der Behandlung von Kniegelenksarthrose mittels BFR Training beschäftigt hat, der SEBT und SLS erhoben wurde. Weiters entspricht die in der Arbeit verwendete modifizierte Version des SEBT keinen offiziellen Richtlinien. Dies führt dazu, dass die Tests keine reliablen und validen Werte liefern, die mit anderen Studienergebnissen verglichen werden können.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bekannt ist, dass BFR Training im Vergleich mit Krafttraining mit niedriger Intensität effektiver, tolerierbar und deswegen eine potentielle klinische Rehabilitationsmethode darstellt (Hughes u. a., 2017). Des Weiteren gibt es in Bezug auf die Behandlung von Kniegelenksarthrose bereits vielversprechende Ergebnisse (Bryk u. a., 2016; Ferraz u. a., 2017; Segal, Williams, u. a., 2015). Durch weitere Forschung in diesem Bereich und mögliche Review-Arbeiten könnten sich in Zukunft allgemein gültige Hypothesen formulieren lassen.

Anhand dieser Erkenntnisse wurde in vorliegender Bachelorarbeit überprüft, ob ein Krafttrainingsprogramm an der Leg Press durch die Addition einer Restriktion des venösen Blutflusses einem klassischen Training mit geringer Intensität überlegen ist. Anhand der gewonnenen Daten lässt sich behaupten, dass BFR Training einen Benefit in Bezug auf die Outcomeparameter bietet. Somit könnten mögliche Hypothesen wie folgt lauten:

„Ein BFR Trainingsprogramm mit geringer Intensität löst bei Kniearthrose-PatientInnen größere Kraftzuwächse aus als ein identes Trainingsprogramm ohne die Addition einer Restriktion des venösen Blutflusses“

„Sowohl BFR-Training als auch Krafttraining mit niedriger Intensität sind in der Lage arthrosebedingte Knieschmerzen zu reduzieren und zu einer Verbesserung des KOOS-Scores beizutragen“

„Die individuelle Ermittlung des Restriktionsdruckes mit Hilfe eines Gerätes mit einer automatischen LOP-Messfähigkeit ist entscheidend um optimale Protokolle für eine sichere und effektive Anwendung zu liefern und so optimale Therapieerfolge in der Rehabilitation zu erreichen“

6 Literaturverzeichnis

- Alghadir, A. H., Anwer, S., Iqbal, A., & Iqbal, Z. A. (2018). Test–retest reliability, validity, and minimum detectable change of visual analog, numerical rating, and verbal rating scales for measurement of osteoarthritic knee pain. *Journal of Pain Research*, *11*, 851–856. <https://doi.org/10.2147/JPR.S158847>
- Al-Khlaifat, L., Herrington, L. C., Tyson, S. F., Hammond, A., & Jones, R. K. (2016). The effectiveness of an exercise programme on dynamic balance in patients with medial knee osteoarthritis: A pilot study. *The Knee*, *23*(5), 849–856. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.05.006>
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Boudreau, S. N., Dwyer, M. K., Mattacola, C. G., Lattermann, C., Uhl, T. L., & McKeon, J. M. (2009). Hip-muscle activation during the lunge, single-leg squat, and step-up-and-over exercises. *Journal of Sport Rehabilitation*, *18*(1), 91–103.
- Bowman, E. N., Elshaar, R., Milligan, H., Jue, G., Mohr, K., Brown, P., ... Limpisvasti, O. (2019). Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health*, 1941738118821929. <https://doi.org/10.1177/1941738118821929>
- Brosseau, L., Taki, J., Desjardins, B., Thevenot, O., Fransen, M., Wells, G. A., ... McLean, L. (2017). The Ottawa panel clinical practice guidelines for the management of knee osteoarthritis. Part two: strengthening exercise programs. *Clinical Rehabilitation*, *31*(5), 596–611. <https://doi.org/10.1177/0269215517691084>
- Bryk, F. F., Dos Reis, A. C., Fingerhut, D., Araujo, T., Schutzer, M., Cury, R. de P. L., ... Fukuda, T. Y. (2016). Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, *24*(5), 1580–1586. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4064-7>
- Cirer-Sastre, R., Beltrán-Garrido, J. V., & Corbi, F. (2017). Contralateral Effects After Unilateral Strength Training: A Meta-Analysis Comparing Training Loads. *Journal of Sports Science & Medicine*, *16*(2), 180–186.
- Collins, N. J., Prinsen, C. a. C., Christensen, R., Bartels, E. M., Terwee, C. B., & Roos, E. M. (2016). Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): systematic review and meta-analysis of measurement properties. *Osteoarthritis and Cartilage*, *24*(8), 1317–1329. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.03.010>
- Cook, S. B., Clark, B. C., & Ploutz-Snyder, L. L. (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(10), 1708–1713. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31812383d6>
- Culvenor, A. G., Collins, N. J., Guermazi, A., Cook, J. L., Vicenzino, B., Whitehead, T. S., ... Crossley, K. M. (2016). Early Patellofemoral Osteoarthritis Features One Year After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Symptoms and Quality of Life at Three Years: Impact of OA Features Post-ACL Reconstruction on KOOS. *Arthritis Care & Research*, *68*(6), 784–792. <https://doi.org/10.1002/acr.22761>
- DGOOC. (2018). Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie e.V.: Leitlinien der Orthopädie: Gonarthrose. Abgerufen 7. Mai 2018, von <https://dgou.de/news/news/detailansicht/artikel/neue-leitlinie-zur-behandlung-von-gonarthrose/>
- Earl, J. E., & Hertel, J. (2001). Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, *10*(2), 93–104. <https://doi.org/10.1123/jsr.10.2.93>
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Tiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*, *1*(1), 14–22. https://doi.org/10.17338/trainology.1.1_14
- Ferraz, R. B., Gualano, B., Rodrigues, R., Kurimori, C. O., Fuller, R., Lima, F. R., ... Roschel, H. (2017). Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>

- Fransen, M., McConnell, S., Harmer, A. R., Van der Esch, M., Simic, M., & Bennell, K. L. (2015). Exercise for osteoarthritis of the knee. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD004376. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004376.pub3>
- Halilaj, E., Le, Y., Hicks, J. L., Hastie, T. J., & Delp, S. L. (2018). Modeling and predicting osteoarthritis progression: data from the osteoarthritis initiative. *Osteoarthritis and Cartilage*, 26(12), 1643–1650. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.08.003>
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1003–1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
- Hwang, P., & Willoughby, D. S. (2017). Mechanisms Behind Blood Flow Restricted Training and its Effect Towards Muscle Growth. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002384>
- Jan, M.-H., Lin, J.-J., Liao, J.-J., Lin, Y.-F., & Lin, D.-H. (2008). Investigation of clinical effects of high- and low-resistance training for patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Physical Therapy*, 88(4), 427–436. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060300>
- Kacin, A., Rosenblatt, B., Žargi, T. G., & Biswas, A. (2015). SAFETY CONSIDERATIONS WITH BLOOD FLOW RESTRICTED RESISTANCE TRAINING. *Annales Kinesiologiae*, 6(1), 3–26.
- Kohn, M. D., Sassoon, A. A., & Fernando, N. D. (2016). Classifications in Brief: Kellgren-Lawrence Classification of Osteoarthritis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 474(8), 1886–1893. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4732-4>
- Lasevicius, T., Ugrinowitsch, C., Schoenfeld, B. J., Roschel, H., Tavares, L. D., De Souza, E. O., ... Tricoli, V. (2018). Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *European Journal of Sport Science*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1450898>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., ... Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine*, 31(1), 1–4. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1239499>
- McAlindon, T. E., Bannuru, R. R., Sullivan, M. C., Arden, N. K., Berenbaum, F., Bierma-Zeinstra, S. M., ... Underwood, M. (2014). OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 22(3), 363–388. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.01.003>
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2018). Why is it Crucial to Use Personalized Occlusion Pressures in Blood Flow Restriction (BFR) Rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0397-7>
- Mentiplay, B. F., Perraton, L. G., Bower, K. J., Adair, B., Pua, Y.-H., Williams, G. P., ... Clark, R. A. (2015). Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study. *PloS One*, 10(10), e0140822. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140822>
- Michael, J. W.-P., Schlüter-Brust, K. U., & Eysel, P. (2010). The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Deutsches Arzteblatt International*, 107(9), 152–162. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0152>
- Mora, J. C., Przkora, R., & Cruz-Almeida, Y. (2018). Knee osteoarthritis: pathophysiology and current treatment modalities. *Journal of Pain Research*, 11, 2189–2196. <https://doi.org/10.2147/JPR.S154002>
- Norris, B., & Trudelle-Jackson, E. (2011). Hip- and Thigh-Muscle Activation during the Star Excursion Balance Test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(4), 428–441. <https://doi.org/10.1123/jsr.20.4.428>
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(2), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>

- Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B., & Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 4(2), 92–99.
- Roos, E. M., & Lohmander, L. S. (2003). The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 1, 64. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-64>
- Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU Training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.3806/ijkr.1.1>
- Schomacher, J. (2008). Gütekriterien der visuellen Analogskala zur Schmerzbewertung. *physioscience*, 4(03), 125–133. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1027685>
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
- Segal, N. A., Davis, M. D., & Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of Blood Flow-Restricted Low-Load Resistance Training For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*, 6(3), 160–167. <https://doi.org/10.1177/2151458515583088>
- Segal, N. A., Williams, G. N., Davis, M. D., Wallace, R. B., & Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 7(4), 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.09.014>
- Spiestersbach, A., Röhrig, B., du Prel, J.-B., Gerhold-Ay, A., & Blettner, M. (2009). Descriptive statistics: the specification of statistical measures and their presentation in tables and graphs. Part 7 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt International*, 106(36), 578–583. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2009.0578>
- Vanwyke, W. R., Weatherholt, A. M., & Mikesky, A. E. (2017). Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice. *International Journal of Exercise Science*, 10(5), 649–654.
- Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceição, M. S., Damas, F. R., Lixandrão, M. E., Berton, R. P. B., ... Ugrinowitsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1071–1076. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000703>
- Vincent, K. R., & Vincent, H. K. (2012). Resistance exercise for knee osteoarthritis. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 4(5 Suppl), S45-52. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2012.01.019>
- Wolf, A. D., & Pfleger, B. (2003). Burden of major musculoskeletal conditions. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(9), 646–656.

A Anhang: KOOS

Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Austria/German version LK1.0

"KOOS" KNIFFRAGEBOGEN

Datum: ____ / ____ / ____ Geburtsdatum: ____ / ____ / ____

Name: _____

ANLEITUNG: In diesem Fragebogen geht es um Ihren Eindruck von Ihrem Knie. Ihre Angaben werden uns helfen, nachzuvollziehen, wie es Ihrem Knie Ihrer Meinung nach geht und wie gut Sie in der Lage sind, Ihren üblichen Tätigkeiten nachzugehen.

Beantworten Sie bitte jede Frage durch Ankreuzen des entsprechenden Kästchens. Bitte kreuzen Sie nur ein Kästchen pro Frage an. Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Beschwerden

Diese Fragen beziehen sich auf Beschwerden in Ihrem Knie in der **letzten Woche**.

S1. War Ihr Knie geschwollen?

niemals selten manchmal oft immer

S2. Haben Sie ein Knirschen verspürt, ein Klicken oder irgendein anderes Geräusch gehört, wenn Sie Ihr Knie bewegten?

niemals selten manchmal oft immer

S3. Ist Ihr Knie hängen geblieben, oder hat es blockiert, wenn Sie es bewegten?

niemals selten manchmal oft immer

S4. Konnten Sie Ihr Knie ganz strecken?

immer oft manchmal selten niemals

S5. Konnten Sie Ihr Knie ganz beugen?

immer oft manchmal selten niemals

Steifigkeit

In den nachfolgenden Fragen geht es um die Steifigkeit Ihres Kniegelenkes während der **letzten Woche**. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit Ihr Kniegelenk zu bewegen.

S6. Wie stark war Ihre KniestEIFigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

S7. Wie stark war Ihre KniestEIFigkeit später am Tag, nachdem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten?

keine schwach mäßig stark sehr stark

KOOS - Austria/German - Final version - 02 Mar 07 - Mapl Research Institute.
F:\mstb\koulte\dep\project\4061\study\4061\final_vers\kni\koosautq.doc-02/03/2007

Schmerzen

P1. Wie oft tut Ihnen Ihr Knie weh?

- | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| niemals | mindestens einmal
im Monat | mindestens einmal
in der Woche | mindestens einmal
am Tag | immer |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Wie stark waren die Schmerzen in Ihrem Knie in der letzten Woche bei den folgenden Tätigkeiten?

P2. Drehbewegung des Beins mit dem Knie

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P3. Ihr Knie ganz strecken

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P4. Ihr Knie ganz beugen

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P5. Auf ebenem Boden gehen

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P6. Treppen hinauf- oder hinuntergehen

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P7. Nachts im Bett

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P8. Sitzen oder Liegen?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

P9. Aufrecht stehen?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | schwach | mäßig | stark | sehr stark |
| <input type="checkbox"/> |

Körperliche Funktionsfähigkeit, Aktivitäten des täglichen Lebens

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Funktionsfähigkeit. Hierunter verstehen wir Ihre Fähigkeit, sich selbständig zu bewegen und sich selbst zu versorgen. Geben Sie bitte bei jeder der nachfolgenden Tätigkeiten das Ausmaß der Schwierigkeiten an, die Sie in der letzten Woche wegen Ihres Kniegelenks damit hatten.

A1. Treppen hinuntersteigen

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | wenig | einige | große | sehr große |
| <input type="checkbox"/> |

A2. Treppen hinaufsteigen

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| keine | wenig | einige | große | sehr große |
| <input type="checkbox"/> |

Geben Sie bitte bei jeder der nachfolgenden Tätigkeiten das Ausmaß der Schwierigkeiten an, die Sie in der letzten Woche wegen Ihres Kniegelenks damit hatten.

- A3. Vom Sitzen aufstehen
keine wenig einige große sehr große
- A4. Aufrecht stehen
keine wenig einige große sehr große
- A5. Sich zu Boden bücken, etwas vom Boden aufheben
keine wenig einige große sehr große
- A6. Auf ebenem Boden gehen
keine wenig einige große sehr große
- A7. Ins Auto einsteigen oder aus dem Auto aussteigen
keine wenig einige große sehr große
- A8. Einkaufen gehen
keine wenig einige große sehr große
- A9. Socken/Strümpfe anziehen
keine wenig einige große sehr große
- A10. Vom Bett aufstehen
keine wenig einige große sehr große
- A11. Socken/Strümpfe ausziehen
keine wenig einige große sehr große
- A12. Im Bett liegen (beim Umdrehen, oder wenn das Kniegelenk längere Zeit unverändert in einer Stellung ist)
keine wenig einige große sehr große
- A13. In die Badewanne oder aus der Badewanne steigen
keine wenig einige große sehr große
- A14. Sitzen
keine wenig einige große sehr große
- A15. Sich auf die Toilette setzen oder aufstehen
keine wenig einige große sehr große

Geben Sie bitte bei jeder der nachfolgenden Tätigkeiten das Ausmaß der Schwierigkeiten an, die Sie in der **letzten Woche** wegen Ihres Kniegelenks damit hatten.

A16. Schwere Hausarbeit verrichten (schwere Kisten bewegen, schwere Einkäufe tragen usw.)

keine wenig einige große sehr große

A17. Leichte Hausarbeit verrichten (kochen, Staub wischen usw.)

keine wenig einige große sehr große

Körperliche Funktionsfähigkeit, Sport und Freizeitaktivitäten

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit bei stärkerer körperlicher Betätigung. Geben Sie bitte bei jeder der nachfolgenden Tätigkeiten das Ausmaß der Schwierigkeiten an, die Sie in der **letzten Woche** wegen Ihres Kniegelenks damit hatten.

SP1. Hocken

keine wenig einige große sehr große

SP2. Laufen

keine wenig einige große sehr große

SP3. Springen

keine wenig einige große sehr große

SP4. Drehbewegung des Beins mit dem kranken Knie

keine wenig einige große sehr große

SP5. Knien

keine wenig einige große sehr große

Lebensqualität

Q1. Wie oft denken Sie an Ihr Knieproblem?

niemals mindestens einmal im Monat mindestens einmal in der Woche mindestens einmal am Tag immer

Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert um Tätigkeiten zu vermeiden, die Ihrem Knie schaden könnten?

gar nicht wenig etwas stark vollständig

Q3. Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, dass Sie sich auf Ihr Knie nicht verlassen können?

gar nicht wenig mäßig ziemlich sehr

Q4. Wie viele Schwierigkeiten haben Sie durch das Knie insgesamt?

keine wenig einige große sehr große

Vielen Dank für die Beantwortung aller Fragen dieses Fragebogens