



Low-load resistance training unter blood flow restriction

Untersuchung einer alternativen
Trainingsmethode bei Gonarthrose

Monteiro Manuel
14-593-750

Rathgeb Daniel
07-707-060

Departement: Gesundheit
Institut für Physiotherapie

Studienjahr: 2017
Eingereicht am: 25.04.2017
Begleitende Lehrperson: Wenker-Bosshart Eva

**Bachelorarbeit
Physiotherapie**

Inhaltsverzeichnis

Abstract	5
1 Einleitung.....	7
1.1 Hintergrund.....	7
1.2 Eingrenzung des Themas.....	8
1.3 Fragestellung.....	9
1.4 Ziel.....	9
1.5 Begründung der Themenwahl	9
2 Methode	10
2.1 Design und Erarbeitung der Fragestellung.....	10
2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	10
2.3 Literaturrecherche	11
2.4 Gliederung der Arbeit	13
3 Theoretische Grundlagen Teil 1; Arthrose.....	14
3.1 Definition	14
3.2 Gelenke	14
3.3 Ätiologie.....	14
3.4 Verlauf und Prognose.....	15
3.5 Diagnostik.....	16
3.6 Klassifikation	17
3.7 Epidemiologie/ Prävalenz	18
3.8 Ökonomische Aspekte.....	18
3.9 Therapieansätze.....	18
3.9.1 Medikamentöse Interventionen	19
3.9.2 Operative Interventionen.....	20
3.9.3 Physiotherapeutische Interventionen	22

3.10	Korrelation zwischen Kraft und Krankheitsverlauf der GA.....	23
4	Theoretische Grundlagen Teil 2; BFRT	24
4.1	Definition	24
4.2	Historischer Hintergrund.....	24
4.3	Wirkungsmechanismen	25
4.4	Anwendungsbereiche/ Effekte.....	25
4.4.1	LLRT unter BFR für Athletinnen und Athleten.....	25
4.4.2	LLRT unter BFR in der Rehabilitation von Athletinnen und Athleten.....	26
4.4.3	LLRT unter BFR in der Weltraumfahrt	27
4.4.4	LLRT unter BFR in der Geriatrie	27
4.4.5	Sicherheit.....	28
5	Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen.....	30
6	Resultate	31
7	Diskussion	39
7.1	Ein- und Ausschlusskriterien	40
7.2	Sample Size und Randomisierung	40
7.3	Validität der Messparameter und -instrumente.....	41
7.4	Dropouts und Fehlinterventionen	44
7.5	Reproduzierbarkeit	45
7.6	Datenbearbeitung.....	46
7.7	Limitationen	47
7.8	Bedeutung der kritischen Würdigung.....	48
8	Praxistransfer	49
9	Schlussfolgerung.....	51
	Literaturverzeichnis	52
	Abkürzungsverzeichnis.....	58

Tabellenverzeichnis	60
Abbildungsverzeichnis	61
Danksagung	62
Eigenständigkeitserklärung.....	62
Deklaration der Wortanzahl	62
Anhang	63
Detaillierte Literaturrecherche	63
Würdigung.....	66

Abstract

Hintergrund: Bei Personen mit Gonarthrose (GA) ist die Belastbarkeit aufgrund verschiedener Faktoren reduziert, was zu Muskelvolumen- und Muskelkraftverminderungen führt. Ein low-load resistance training (LLRT) unter blood-flow restriction (BFR) könnte eine Alternative zum stark belastenden high-load resistance training (HLRT) darstellen, da dabei mit Intensitäten $\leq 30\%$ des one-repetition maximum (1RM) trainiert wird.

Fragestellung/ Ziel: Das Ziel des vorliegenden, systematischen Reviews war es herauszufinden, welchen Effekt ein LLRT unter BFR auf die Muskelkraft des M. quadriceps femoris (MQF) und Schmerzen bei Personen mit GA hat und eine evidenzbasierte Empfehlung abzugeben, inwiefern ein solches Training bei dieser Population anwendbar ist.

Methode: Es wurde eine systematische Literaturrecherche auf den Datenbanken *webofscience*, *PEDro*, *cochrane library*, *medline*, *CINAHL* und *PubMED* durchgeführt, wobei es zu drei relevanten Treffern kam.

Ergebnisse: Ein LLRT unter BFR führt bei Frauen mit GA zu signifikanten Steigerungen der isokinetischen, isotonischen und isometrischen Kraft des MQF und zu einer signifikanten Verbesserung der Schmerzsituation.

Schlussfolgerungen: Es ist weitere Forschung nötig, um die Evidenz für die beobachteten Effekte auf Schmerz und Kraft zu stärken, um konkrete Durchführungskriterien des LLRT unter BFR auszuarbeiten und die Sicherheitsrisiken zu klären.

Keywords: blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, training, exercise, arthrosis/ -itis, osteoarthritis/ -itis, gonarthrosis/ -itis

Background: Patients suffering from gonarthrosis (GA) show low loading capacity due to different factors which leads to reduced muscle volume and strength. Low-load resistance training (LLRT) with blood-flow restriction (BFR) could represent an alternative to the stressing high-load resistance training (HLRT), since training intensities equal 30% or less of the one repetition maximum (1RM).

Purpose: The object of this systematical review was to evaluate the effect of a LLRT with BFR on strength of the m. quadriceps femoris (MQF) and pain in patients with GA. Furthermore, the aim of this review was to deliver an evidence-based recommendation whether such a training is indicated for this population or not.

Methods: Studies were sought from webofscience, PEDro, cochrane library, medline, CINAHL and PubMed. Three relevant studies were found and analysed.

Results: Women suffering from GA show significant improvements in isokinetic, isotonic and isometric strength of the MQF and significant reduction of pain.

Conclusion: Further research is required to strengthen the level of evidence, to work out specific criteria for the execution of a LLRT with BFR and to clarify safety issues.

Keywords: blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, training, exercise, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Laut dem Bundesamt für Statistik (2014) konsultieren in der Schweiz jährlich 11.8% der Bevölkerung eine Ärztin oder einen Arzt infolge einer arthrotischen Erkrankung. Bei diesen Patientinnen und Patienten ist Atrophie ein häufiges und bekanntes Problem (Taniguchi, Fukumoto, Kobayashi, Kawasaki, Maegawa, Ibuki und Ichihashi, 2015). Aufgrund von verschiedenen Faktoren wie Schmerz, Schwellung, Funktionsverlust, etc. während der akuten und dekompensierten Phase ist der Gebrauch von aktiven Strukturen des Bewegungsapparates limitiert. Durch die verminderte Belastung und den dadurch fehlenden Reiz auf die Muskulatur finden katabole Prozesse statt, die das Volumen der Muskulatur verringern. Damit einhergehend sind Veränderungen der Kraft, aber auch passive Strukturen wie Knochen, Bänder, Sehnen, Faszien sind betroffen und verlieren an Belastbarkeit (Van den Berg, 2011). Gemäss Arentson-Lantz, English, Paddon-Jones und Fry (2016) führt 14-tägige Bettruhe zu einer Senkung von Satellitenzellen in der Muskulatur, was mit einer signifikanten Verringerung des Muskelfaserquerschnitts korreliert. Es kommt zu einer prozentualen Verminderung der Typ 2a Fasern und durch eine reduzierte Kapillarendichte wird die aerobe Muskelleistungsfähigkeit beeinträchtigt.

Eine beliebte Technik der Atrophieprophylaxe basiert auf dem Konzept des klassischen Hypertrophietrainings (HT) bzw. High-Load Resistance Training (HLRT). Gemäss Brook, Wilkinson, Smith und Atherton (2016) ist Widerstandstraining immer noch das effizienteste Mittel, um die Muskelproteinsynthese anzuregen und Hypertrophie zu generieren. Esco (2013) empfiehlt für die Steigerung der Kraft einen Trainingswiderstand von 60-70% des konzentrischen one-repetition-maximum (1RM) und zum Erreichen von Hypertrophie 70-80% des 1RM. Bei beiden Trainingsmethoden werden jeweils eine bis drei Serien à acht bis zwölf Wiederholungen mit zwei bis drei Minuten Serienpausen durchgeführt.

Bei Patientinnen und Patienten in den obengenannten Krankheitsphasen ist diese Trainingsart jedoch meist kontraindiziert. So besteht eine erhöhte Gefahr der

Atrophie. Es stellt sich die Frage, ob eine alternative, weniger intensive Methode existiert, um Hypertrophie zu erreichen bzw. Atrophie oder Kraftverlust zu verhindern.

Widerstandstraining unter Abklemmung des venösen Blutstroms, sogenanntes blood flow restricted training (BFRT), könnte eine solche Alternative darstellen. Dieses Konzept wurde in den 1970er und 1980er in Japan entwickelt (Sato, 2005), wo es vor allem unter dem Namen kaatsu training bekannt ist. Unterdessen gibt es eine wachsende Anzahl an Studien, welche den Effekt von low-load resistance training (LLRT) unter blood flow restriction (BFR) untersuchen. In dieser Arbeit definiert sich das LLRT als ein Training mit einer Belastungsintensität von 30% des 1RM.

Bei einem BFRT wird der venöse Blutfluss unter Erhaltung der arteriellen Blutzufuhr bspw. mittels pneumatischen Manschetten abgeklemmt und mit erheblich geringerem Widerstand wie beim konventionellen HT Belastungsreize gesetzt. Die genauen Mechanismen sind noch Gegenstand aktueller Forschung. Es gibt jedoch vermehrt Hinweise darauf, dass es bei dieser Trainingsform sowohl zu einer Steigerung der Muskelkraft als auch zu einer Vergrößerung des Muskelquerschnitts kommt. Nach Slysz, Stultz und Burr (2016) geschehe dies sowohl bei Widerstandstraining, als auch bei aeroben Ausdauertraining.

1.2 Eingrenzung des Themas

Es gilt zu erörtern, ob der allfällige Effekt, welcher ein BFRT bei gesunden Personen hat, bei Patientinnen und Patienten mit Gonarthrose (GA) ebenfalls beobachtet werden kann. Deshalb ist es sinnvoll zu untersuchen, wie sich ein solches Training bei letzteren Personen auswirkt.

Zur Eingrenzung des Themas wird der Fokus auf Personen gelegt, welche aufgrund von GA-bedingten Symptomen Gefahr laufen, Atrophie zu erleiden. Es wird deshalb die Frage aufgeworfen, welchen Effekt ein solches Training bei Patientinnen und Patienten mit GA im physiotherapeutischen Setting hat.

1.3 Fragestellung

In dieser Arbeit werden zwei Fragen untersucht:

1. Welchen Effekt hat ein LLRT unter BFR auf die Muskelkraft des MQF bei Patientinnen und Patienten mit GA?
2. Welchen Effekt hat ein LLRT unter BFR auf die Schmerzen bei Patientinnen und Patienten mit GA?

1.4 Ziel

Das Ziel der Arbeit ist es, eine evidenzbasierte Empfehlung abzugeben, inwiefern ein solches Training bei Patientinnen und Patienten anwendbar ist, bei welchen sich das Muskelvolumen und die Muskelkraft aufgrund von GA-bedingten Bewegungseinschränkungen reduzieren könnte.

1.5 Begründung der Themenwahl

Den Autoren dieser Arbeit fällt bei der Behandlung von an Arthrose erkrankten Patientinnen und Patienten die fortlaufende, muskuläre Degeneration auf, was die Bewältigung von Alltagsaktivitäten immens erschwert oder gar verunmöglicht. Es liegt in der Kompetenz der physiotherapeutischen Profession, die Effizienz von Massnahmen zur Erhaltung der Lebensqualität zu optimieren und die Evidenz entsprechender Interventionen zu evaluieren. Das LLRT unter BFR könnte eine effiziente Massnahme zur Atrophieprophylaxe darstellen und die Lebensqualität der Betroffenen massgebend verbessern. Die physiotherapeutische Relevanz ist abhängig von der Evidenzlage des BFRT und möglichen gesundheitlichen Bedenken.

2 Methode

2.1 Design und Erarbeitung der Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich um ein systematisches Review, wobei versucht wird, eine Fragestellung mit Hilfe vorhandener Forschungsliteratur zu beantworten und praktisch relevante Erkenntnisse daraus abzuleiten.

Um einen Überblick über die Thematik und die Forschungslage zu erhalten und in einem späteren Schritt eine Fragestellung formulieren zu können, wurde zunächst in verschiedensten Datenbanken nach Studien über BFRT im Allgemeinen gesucht. Aus diesem Suchprozess resultierte eine erste Fragestellung, welche wie folgt lautete: *Welchen Effekt hat ein LLRT unter BFR auf das Muskelvolumen bei Patientinnen und Patienten mit Pathologien an den unteren Extremitäten?* Jedoch war die Fragestellung noch nicht gänzlich ausgereift, da die Population nicht klar definiert war. Nach weiterer Recherche wurde die Fragestellung präzisiert, indem die Population auf Personen mit symptomatischer GA oder mit erhöhtem Risiko einer solchen eingegrenzt wurde, sodass die Fragestellung schlussendlich lautete: *Welchen Effekt hat ein LLRT unter BFR auf die Muskelkraft und die Schmerzen bei Patientinnen und Patienten mit GA?*

Das methodische Vorgehen bei der Recherche nach geeigneter Literatur und der Selektionsprozess werden im Folgenden genauer erläutert.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Die wichtigsten Ein- und Ausschlusskriterien, die über die Selektion einer Studie entschieden, bezogen sich auf die Population, die Intervention und die gemessenen Parameter.

So wurden nur Studien ausgewählt, die mindestens die *Kraft* des M. quadriceps femoris (MQF) und Schmerz als Outcome Measure beinhalteten. Zudem sollte die untersuchte Population entweder ein erhöhtes *Risiko* einer symptomatischen GA oder aber symptomatische GA selbst aufweisen. Ein weiteres Ausschlusskriterium war das minimale Alter der Population, welches 40 Jahre nicht unterschreiten durfte. Die Studien sollten allesamt *randomized controlled trials* (RCTs) sein, die ein LLRT unter BFR mit einem Widerstandstraining ohne BFR verglichen.

2.3 Literaturrecherche

Zur Beantwortung der Fragestellung wurden Studien in den Datenbanken *webofscience*, *PEDro*, *cochrane library* und *medline* gesucht. Es wurden die folgenden englischen Suchbegriffe verwendet: *blood flow restriction*, *kaatsu*, *occlusion*, *ischemic*, *training*, *exercise*, *arthrosis/ -itis*, *osteoarthrosis/ -itis*, *gonarthrosis/ -itis*. Aufgrund der vorwiegend englischsprachigen Forschung wurde bewusst auf die Suche mit Hilfe deutscher Begriffe verzichtet. Zur Suchoptimierung wurden die Booleschen Operatoren „AND“ und „OR“, die Trunkierungen „*“ und „?“ und Phrasen genutzt. Teilweise wurden Filteroptionen der Datenbanken zur weiteren Eingrenzung der Literatur eingesetzt. Die detaillierte Literaturrecherche in den einzelnen Datenbanken ist den Tabellen vier bis neun im Anhang zu entnehmen.

Da BFRT in der westlichen Forschungswelt noch nicht sehr lange Aufmerksamkeit erregt und die Menge an Studien dementsprechend noch eine überschaubare Zahl aufweist, ergaben sich aus der spezifischen Suche in den benützten Datenbanken nur wenige Treffer. Um andere Möglichkeiten auszuschöpfen, wurde in den Literaturverzeichnissen von relevanten Studien im Sinne des Schneeballsystems nach weiterer Literatur gesucht, jedoch ohne Erfolg. Ausserdem wurden noch die Datenbanken *CINAHL* und *PubMED* hinzugezogen. Schlussendlich wurden drei RCTs den Ein- und Ausschlusskriterien gerecht und als Hauptstudien des vorliegenden Reviews definiert. Zwei weitere Studien, welche geeignet schienen und bereits durchgeführt wurden, waren noch nicht öffentlich verfügbar. Für die Zusammenfassung und die kritische Würdigung der Studien wurden das Formular und die Guidelines nach Law, Stewart, Pollock, Letts, Bosch und Westmorland (1998) und das Arbeitsinstrument für ein Critical Appraisal (AICA) basierend auf LoBiondo-Wood und Haber (2005) verwendet. Die vollständige Würdigung ist im Anhang einzusehen. Die genannten Studien sind folgend in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1 Hauptstudien

Autoren	Titel	G	GA	Outcome-Parameter	Vergleich
Segal, Davis und Mikesky (2015)	Efficacy of Blood Flow-Restricted LLRT For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis	m	R & S	Kraft, Kniesymptome	BFR LLRT vs. LLRT
Segal, Williams, Davis, Wallace und Mikesky (2015)	Efficacy of Blood Flow Restricted, Low-Load Resistance Training Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis	w	R & S	Kraft, Volumen, Leistung, Kniesymptome	BFR LLRT vs. LLRT
Bryk, dos Reis, Fingerhut, Araujo, Schutzer, Cury, Duarte und Fukuda (2016)	Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial	w	S	Kraft, Schmerz, Funktion	BFR LLRT vs. HLRT

G = Geschlecht, m = männlich, w = weiblich, R = erhöhtes Risiko einer GA, S = symptomatische GA

Tabelle 2 nicht verfügbare Studien

Autoren	Titel
Buford, Fillingim, Manini, Sibille, Vincent und Wu (2015)	Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial
Roschel, Rodrigues, Ferraz, Guedes, Kurimori, Sa-Pinto, Lima und Gualano (2016)	Low-intensity Resistance Training With Blood Flow Restriction Increases Muscle Function And Mass In Rheumatoid Arthritis

2.4 Gliederung der Arbeit

In der Einleitung werden einführende Gedanken zum Thema Arthrose und BFRT geliefert, welche den Rahmen bilden für die Einbettung der Fragestellung. Das Ziel der Arbeit wird erklärt und die Themenwahl begründet. Die Methode beschreibt das genaue Vorgehen der Literaturrecherche, die Kriterien der Studienselektion und das Design der Arbeit. Darauffolgend werden die theoretischen Grundlagen der Arthrose und des BFRT und deren Verknüpfung erarbeitet. Im anschließenden Ergebnisteil werden die Studien inhaltlich zusammengefasst und deren Resultate vorgestellt. In der Diskussion werden die Ergebnisse, Argumente und Güte der Studien dann kritisch bewertet und verglichen. Am Ende werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der Fragestellung und der praktischen Relevanz gezogen, auf Limitationen der vorliegenden Arbeit hingewiesen und mögliche weitere Forschungsfragen formuliert.

3 Theoretische Grundlagen Teil 1; Arthrose

3.1 Definition

Unter Arthrose versteht man eine degenerative Veränderung des hyalinen Knorpels eines oder mehrerer Gelenkspartner und der Schädigung weiterer Strukturen wie Knochen, Bänder, Muskeln und Kapsel. Im Vordergrund stehen hierbei Schmerzen und Funktionseinschränkungen (Van den Berg, 2011).

3.2 Gelenke

Diarthrosen bilden einen Gelenkspalt zwischen Knochen und fungieren als mobile Verbindungsstellen im menschlichen Körper. Sie ermöglichen dem Körper somit Bewegung und dienen der Kraftübertragung und Dämpfung von Druck- und Stosskräften auf das menschliche Skelett. Die jeweiligen Gelenkspartner sind mit hyalinem Knorpel überzogen, welcher ein stossdämpfendes Polster darstellt und für eine optimale Kraftverteilung zuständig ist. Der Knorpel besteht zu 95% aus Knorpelmatrix und 5% aus Chondrozyten (Schünke, Schulte, Schumacher, Voll und Wesker, 2014). Diese sind für anabole Prozesse der Knorpelmatrix zuständig. Da der Knorpel nicht mit Blutgefässen durchsetzt ist, wird er von der Synovia, welche von der Gelenksinnenhaut abgegeben wird, mittels Diffusion ernährt. Hierfür benötigt der Knorpel regelmässige Be- und Entlastungsphasen, um den bestmöglichen Stoffaustausch zu gewährleisten. Die Synovia ermöglicht auch ein möglichst widerstands- und verschleissloses Gleiten der Gelenkspartner (Van den Berg, 2011).

3.3 Ätiologie

Wesentliche Verursacher der Arthrose sind nebst normaler Alterungsprozessen und Immobilisation, verminderte Be- und Entlastung und zunehmende Verknöcherung des Gelenkknorpels. Traumata oder verminderte Matrixsynthese des Gelenkknorpels aufgrund von Veränderungen der Knochen-, Nerven- oder Gefässsysteme können zu einer Schädigung des kollagenen Netzwerks führen (Van den Berg, 2011). Kann keine eindeutige Ursache ausfindig gemacht werden, spricht man von einer primären oder auch idiopathischen Arthrose. Für eine sekundäre Arthrose gibt es metabolische, endokrine, traumatische, operative, rheumatische oder aseptische Ursachen. Die Arthrose ist immer von einem Ungleichgewicht der anabolen und katabolen Prozesse der Knorpelmatrix geprägt. Die Chondrozyten reagieren mit

einer Überproduktion von qualitativ minderwertigem Knorpel auf die Zerstörung der Knorpeloberfläche, was anfänglich zu einer weitestgehend normalen Gelenksfunktion führt. Im Laufe der Zeit kommt es zu Abreibungen dieses minderwertigen Knorpels, wobei durch die Knorpelpartikel im Gelenk Entzündungsreaktionen hervorgerufen werden können. Kommt es stellenweise zu einem Komplettabrieb des Knorpels, reagiert das Knochengewebe mit einer subchondralen Sklerosierung, was eine Verminderung der stossdämpfenden Wirkung zur Folge hat. Durch die Erhöhung des Gelenkinnendruckes kann es zur Bildung von Geröllzysten kommen. Zudem kann häufig die Bildung von Osteophyten beobachtet werden, was eine pathologische Vergrößerung der Gelenksfläche zur Folge hat und eine Bewegungseinschränkung begünstigt (Hackenbroch, 2002). Als Risikofaktoren gelten gemäss Busija, Bridgett, Williams, Osborne, Buchbinder, March und Fransen (2010) bspw. Malalignments, Übergewicht, frühere Gelenksverletzungen etc.

3.4 Verlauf und Prognose

Die Arthrose kann in eine latente, aktivierte und dekompenzierte Phase unterteilt werden. Es handelt sich um eine sich kontinuierlich und langsam entwickelnde Erkrankung. Der Krankheitsbeginn verläuft meist schmerzfrei. Frühsymptome sind erste Ermüdungs- oder Steifigkeitserscheinungen, welche durch Schonung abklingen. Im Verlaufe der Krankheit kommt es zu endgradigen Beschwerden und ersten Anlaufschmerzen, welche nach vorübergehendem Abklingen als Belastungsschmerz wiederkehren können. In der akuten Phase kommt es oft zu einer Begleitsynovialitis und einem Gelenkserguss, was entzündliche Schmerzen zur Folge hat (Schünke et al., 2014). Es zeigen sich die bekannten Entzündungszeichen in Form von Überwärmung, Schwellung, Rötung, Funktionseinschränkung und Schmerz. Die latente und akute Phase wechseln laufend ab, bevor die Krankheit zur dekompenzierten Phase überschreitet. Diese manifestiert sich durch hochgradige Funktionseinschränkungen und dauerhaften Schmerz. In dieser Phase sind meist Osteophyten, Geröllzysten und subchondrale Sklerosierung beobachtbar. Zudem kommt es zur Ausbreitung der Entzündung auf angrenzende Strukturen. (Hackenbroch, 2002). Die Symptome können bis zu chronischem Schmerz und akuter Gelenkssteifheit beziehungsweise Gelenksinstabilität führen (Schünke et al., 2014).

3.5 Diagnostik

Die möglichst frühe Diagnose ist essentiell für eine optimale Behandlung. Busija et al. (2010) erwähnen, dass in der heutigen Forschung ein Goldstandard zur Diagnostik von Arthrose fehlt.

Zur Abgrenzung der Arthrose von anderen Pathologien benötigt man verschiedene Diagnosetools. Am häufigsten werden bildgebende Massnahmen verwendet, wobei primär die Röntgenaufnahme zum Zuge kommt. Auf den Röntgenbildern sind unter anderem die Verschmälerung des Gelenkspaltes und die Sklerosierung des subchondralen Knochengewebes aufgrund der veränderten Knochendichte erkennbar (s. Abbildung 1). Für die definitive Differenzierung ist jedoch auch eine klinische Untersuchung in Form von Umfangmessung, Funktions- und Bewegungstestung notwendig. Anamnestisch werden Daten der Patientinnen und Patienten erhoben. Hierbei werden sie nach Symptomen und beitragenden Faktoren wie Alter, Gewicht, Arbeit, Hobbys etc. befragt. Dies ermöglicht es der behandelnden Ärztin oder dem behandelnden Arzt Aussagen über den Krankheitsverlauf zu machen und mögliche Prognosen zu treffen. Blutuntersuchungen dienen lediglich dem ausschliessen anderweitiger Erkrankungen (Zacher und Gursche, 2001). Da viele Arthrosen klinisch stumm sind, bedarf erst der Nachweis von sowohl radiologischen als auch pathologischen Befunden einer therapeutischen Massnahme (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2008).



Abbildung 1 Röntgenbilder, links: gesundes Knie, rechts: Gonarthrose

3.6 Klassifikation

Die Beurteilung der Arthrose wird gemäss Schünke et al. (2014) in vier Grade unterteilt (s. Abbildung 2):

Grad 0 stellt keine pathologische Veränderung des Gelenkes dar.

Bei **Grad 1** bestehen oberflächliche Fibrillationen, welche sich in einer aufgerauten Oberfläche des Gelenks zeigen. Es kommt zur Freilegung kollagener Fibrillen durch verminderte Synthese von Proteoglykanen.

Bei **Grad 2** kommt es zum Verlust von Knorpelmatrix und es entstehen Fissuren, welche bis tief in den Knorpel reichen. Dabei teilen sich einzelne Chondrozyten und bilden einen Chondrozytencluster.

Grad 3 kennzeichnet sich durch die Verdichtung des subchondralen Knochens. Es entstehen erste Osteophyten und es kommt zu entzündlichen Reaktionen aufgrund des vermehrten Knorpelabriebes.

Bei **Grad 4** liegen freiliegende Knochenareale vor und es entstehen Einbrüche im subchondralen Knochen, welche zu Geröllzysten im angrenzenden Knochenmark führen. Zudem verstärkt sich die Osteophytenbildung zunehmend.

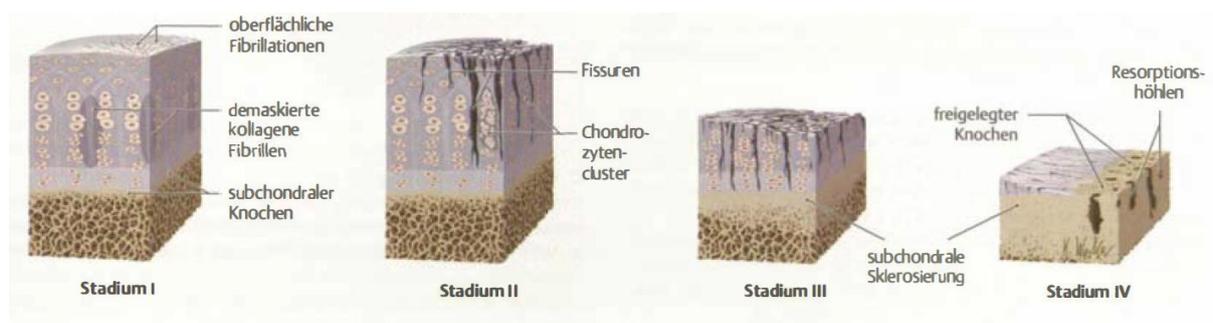


Abbildung 2 Stadien der Arthrose

Oftmals werden die ebenfalls vierstufigen Beurteilungsschemata nach Kellgren und Lawrence (1957) zur radiologischen Beurteilung oder nach Outerbridge (1961, zit. nach Bös und Ellermann, 2003, S. 181) zur arthroskopischen Untersuchung verwendet, welche ähnliche Parameter zur Beurteilung verwenden.

3.7 Epidemiologie/ Prävalenz

Das Bundesamt für Statistik schätzte im Jahre 2014 den Prozentsatz an Personen in der Schweiz, welche sich aufgrund einer arthrotischen Erkrankung in Behandlung begeben haben, auf 11.8%. Auffallend ist, dass der Prozentsatz auf die einzelnen Altersgruppen aufgeteilt stetig steigt. Zusätzlich ist die Lebenszeitprävalenzrate bei den Frauen mit 14,5% auf alle Altersgruppen höher als der Prozentsatz der Männer, welcher sich auf 9.1% beläuft. Laut Van den Berg (2011) sind Frauen im postmenopausalen Alter anfälliger auf Arthrose. Dies ist auf die verminderte subchondrale Knochenqualität aufgrund der verminderten Knochendichte zurückzuführen. Schünke et al. (2014) weist darauf hin, dass die erhöhte Inzidenzrate in den letzten Jahren eine Folge der demographischen Veränderung der Bevölkerung darstellt. Deshalb ist mit einer weiterhin ansteigenden Prävalenz von arthrotischen Erkrankungen zu rechnen.

3.8 Ökonomische Aspekte

Laut Schünke et al. (2014) verursachen degenerative Gelenkserkrankungen weltweit die größten Kosten im Vergleich mit anderen Invaliditätsursachen. In Deutschland beliefen sich die jährlichen Behandlungskosten im Jahre 2004 auf sieben Milliarden Franken und es ist die Rede von 50 Millionen Arbeitsausfalltagen. Loza et al. (2009, zit. nach Wieser, Tomonaga, Riguzzi, Fischer, Telser, Pletscher, Eichler, Trost und Schwenkglens, 2014, S. 83) beziffert die jährlichen direkten medizinischen Kosten in der Schweiz auf 2782 Franken pro Patientin bzw. Patient. Diese Kosten beinhalten Kosten für „professionelle Zeit“, Diagnose, Medikamente und Hospitalisierung. Hierbei sind die indirekten Kosten, welche durch Arbeitsunfähigkeit oder Invalidität entstehen, nicht miteinberechnet.

3.9 Therapieansätze

Zur Behandlung von Arthrosen gibt es verschiedenste sowohl konservative als auch operative Therapieansätze. In dieser Arbeit wird der Fokus auf jene Therapien gelegt, welche auf das Kniegelenk anwendbar sind.

Da die Knorpelzellen nach Beendigung des Wachstums ihre Fähigkeit sich zu teilen verlieren (Van den Berg, 2011), ist die kurative Behandlung im Erwachsenenalter nach heutigem Wissenstand unmöglich. Die Therapien beschränken sich auf die

Schmerzreduktion und den Erhalt der Funktionsfähigkeit. Initial wird immer konservativ behandelt. Erst wenn dies erfolglos bleibt, werden operative Massnahmen ergriffen (Hackenborch, 2002).

3.9.1 Medikamentöse Interventionen

Chondrotinsulfat-, Glykosaminsulfat- und Hyaluronsäure-Präparaten werden laut Van den Berg (2011) in vielen Studien eine positive Wirkung auf den Krankheitsverlauf zugeschrieben. Die Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft (2008) stellt die klinische Evidenz für die Anwendung dieser Präparate jedoch in Frage. Die Wirkung dieser Substanzen wird in der Fachwelt weiterhin kontrovers diskutiert.

Die Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft (2008) verweist bei der medikamentösen Schmerztherapie auf das Stufenschema der WHO. Die Therapie beginnt möglichst tief dosiert. Erstes Medikament nach Wahl ist meist Paracetamol. Bei mangelnder Wirkung folgt der Wechsel auf nichtselektive, nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR). Zu beachten ist das Risiko auf gastrointestinale Beschwerden und die negativen Auswirkungen auf das renale System. Mit Cyclooxygenase-2 (COX-2) -Hemmern kann zwar das gastrointestinale, nicht aber das renale Risiko vermindert werden. Zudem sind diese Coxibe bei verschiedenen kardiovaskulären Erkrankungen kontraindiziert. Die höchsten Stufen stellen die Behandlungen mit schwachen und starken Opiodanalgetika dar.

Van den Berg (2011) beschreibt einen negativen Effekt von NSAR auf den Krankheitsverlauf der Arthrose und warnt vor deren Anwendung in der Schmerztherapie.

Glukokortikoid-Injektionen sind sehr effektiv zur Bekämpfung von intraartikulären Entzündungen. Hierbei werden Glukokortikoide mit möglichst langer Halbwertszeit in Kombination mit einem Lokalanästhetikum ins Gelenk injiziert und gleichzeitig der artikulare Erguss abpunktiert. Aufgrund der verminderten Proteoglykan- und Kollagenproduktion unter der Einwirkung von Glukokortikoiden sollte ein Mindestabstand von zwei Wochen eingehalten werden und vier Injektionen pro Jahr nicht überschritten werden (Hackenborch, 2002).

3.9.2 Operative Interventionen

Operative Eingriffe kommen nach Ausschöpfung der konservativen Massnahmen zum Zuge. Sie werden grob in Gelenkserhaltende, -ersetzende, -resezierende und -versteifende Operationen unterteilt. Welche Art dabei angewendet wird, hängt vom Schweregrad der Erkrankung ab.

Viele Eingriffe können arthroskopisch durchgeführt werden, wodurch das Infektionsrisiko auf 0.1% reduziert werden kann. Beim Debridement werden freiliegende Gelenkskörper und Knorpelauffaserungen entfernt. Mit Hilfe des Shavings können störende Gelenksteile abgetragen werden und durch eine Lavage samt Entzündungsmediatoren aus dem Gelenk gespült werden. Diese Massnahmen haben häufig nur eine vorübergehend positive Wirkung auf die Schmerzsymptomatik (Hackenborch, 2002).

Knochenmarkstimulierende Operationstechniken können ebenfalls arthroskopisch durchgeführt werden. Bei diesen Techniken werden durch Penetration der subchondralen Grenzlamelle pluripotente Stammzellen an die Gelenksoberfläche gebracht. Diese entwickeln sich dann zu faserknorpeligem Ersatzgewebe. Die 1959 entwickelte Priedi-Bohrung ist die älteste dieser Techniken. Steadman veröffentlichte 1999 die Methode des Microfracturing (MF), welche auf demselben Mechanismus beruht (Hackenborch, 2002). Richter, Schenck, Wascher und Treme (2016) beschreiben die autologe, matrix-induzierte Chondrogenese (AMIC), bei welcher nach der Durchführung eines MF eine Kollagenmembran appliziert wird, was zu einer verbesserten Heilung des behandelten Gebietes führt.

Bei traumatisch erworbenen Knorpelschäden oder nur partiell vorliegenden, kleinflächigen Defekten kann eine Gelenksflächenwiederherstellung im Sinn einer autologen Knorpelgewebetransplantation vorgenommen werden. Hackenborch (2002) beschreibt die autologe, osteochondrale Transplantation (OCT), bei welcher aus gesunden Arealen zylinderförmige Knochen-Knorpelstücke ausgestanzt und im geschädigten Gebiet reimplantiert werden.

Vermehrt nehmen auch autologe Chondrozytentransplantationen (ACT) eine wichtige Rolle im klinischen Alltag ein. Nach einem arthroskopischen Eingriff werden Knorpelzellen aus dem entnommenen Knorpelpräparat isoliert und im Labor künstlich

vermehrt. In einem zweiten Eingriff werden diese reimplantiert und mittels eines Periostlappens wasserdicht verschlossen. Dies ermöglicht eine Neubildung von qualitativ hochwertigem Knorpelgewebe (Hackenborch, 2002).

Gemäss Richter et al. (2016) sind bei Knorpeldefekten, die kleiner als 2 cm² sind, MF und OCT die besten Lösungen, wobei die OCT die bessere Langzeitprognose aufweist. Ab Defekten von mehr als 2 cm² ist eine Behandlung mit ACT indiziert. Ausschlaggebend für die Wahl der Operationstechnik sind jedoch nebst Grösse des Defekts auch das Alter und der Wunsch der Patientin bzw. des Patienten, sowie die Effizienz der Behandlung und die Wirtschaftlichkeit des Eingriffes. Richter et al. (2016) erwarten weitere Forschung in diesem Operationsgebiet, da es bis heute noch keine Technik gibt, um hyalinen Knorpel zu regenerieren.

Bei arthrotischen Veränderungen aufgrund von Gelenksfehlstellungen kann eine Umstellungsosteotomie durchgeführt werden. Dies geschieht oft bei Personen mit einem Genu varum, wobei durch die valgisierende Osteotomie die mediale Belastung auf die lateralen Gelenkareale verlagert wird (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2008).

Waren die konservativen Massnahmen erfolglos und besteht aufgrund klinischer und radiologischer Befunde keine Möglichkeit mehr eine gelenkserhaltende Operation durchzuführen, ist ein Gelenkersatz in Form einer Endoprothese indiziert (Hackenborch, 2002). Am meisten werden Knie und Hüftgelenke ersetzt. Dabei gibt es zementierte und unzementierte Varianten, wobei die zementierte sofort belastbar ist. Häufigste Komplikationen sind Prothesenlockerung und ein möglicher Infekt (Schünke et al., 2014). Da die Funktionsdauer der Prothesen beschränkt ist, kommt sie eher bei älteren Patientinnen und Patienten zur Anwendung. Der letztmögliche Eingriff stellt die Arthrodesse dar. Dieser Eingriff wird jedoch in Anbetracht der sehr guten Möglichkeiten dank der Endoprothetik im Kniegelenk kaum mehr angewendet. Er findet lediglich bei der Versteifung des Sprung- und Grosszehengrundgelenks Anwendung (Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft, 2008)

3.9.3 Physiotherapeutische Interventionen

Van den Berg (2011) rät zu regelmässiger Be- und Entlastung in Form von Aktivierungsübungen. Wichtig hierbei ist der langsame Belastungsaufbau im schmerzfreen Bereich. Dies beinhaltet entlastete Aktivitäten wie z.B. Aquajogging, Fahrradfahren oder unterstütztes Gehen. Auch frühe Mobilisation des betroffenen Gelenkes, sowohl passiv-physiologisch als auch passiv-akzessorisch, wird erwähnt.

Gemäss der Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft (2008) muss die Physiotherapie einen Platz im Behandlungsmanagement finden. Welche therapeutischen Massnahmen hierbei zur Anwendung kommen, hängt primär von der Krankheitsphase ab. Empfohlen werden Wasser- und Bewegungstherapie, Muskeltraining, Gangschule, physikalische Anwendungen und manuelle Techniken zur Mobilisation. Einen übergeordneten Stellenwert hat die Patientenedukation, da therapeutische Beratung hinsichtlich körperlicher Aktivität und Umstellung der Lebensgewohnheiten einen messbar positiven Effekt auf die Lebensqualität hat.

Beim physiotherapeutischen Krafttraining sollten isometrische, isodynamische oder isokinetische Trainingsansätze verfolgt werden. In der Literatur werden muskuläre Defizite wie Schwäche der Hüftabduktoren oder verminderte Quadrizepskraft nicht nur als Folge der Arthrose, sondern auch als Ursache oder perpetuierender Faktor aufgrund der vermehrten Gelenksinstabilität beschrieben (Hackenborch, 2002).

Nelson, Allen, Golightly, Goode und Jordan (2013) empfehlen die Durchführung eines extensiven, aeroben Trainings an Land oder in Form von Wassertherapie. Auch Hackenborch (2002) schlägt ein schmerzfrees Walkingtraining in der akuten Phase vor, um die Gelenke langsam wieder an die Belastung des täglichen Gehens zu gewöhnen.

Mobilisation dient primär der Verhinderung von Kontrakturen und wird bei der Behandlung versteifter Gelenke angewendet. Es könne sowohl passive als auch aktive Techniken angewendet werden. Ausschlaggebend ist eine möglichst schmerzfrees Therapie, um das Aktivieren der Arthrose zu verhindern (Hackenborch, 2002).

Im Bereich der physikalischen Anwendungen schlägt Hackenborch (2002) als analgetisierende Massnahmen den Gebrauch von Kälteanwendungen und

Elektrotherapie vor. Auch die Applikation von Wärme als detonisierende Massnahme kann angewendet werden. Sowohl im Bereich der Elektrotherapie als auch beim Ultraschall macht er auf die sogenannte Ionto- beziehungsweise Phonophorese aufmerksam. Dies sind kombinierte Anwendungen mit gelförmigen Antiphlogistika. In einer von Sharma (2015) durchgeführten Metaanalyse wurde bei der Anwendung von transkutaner, elektrischer Nervenstimulation (TENS) kein signifikanter Effekt auf die Symptome von Patientinnen und Patienten mit Arthrose beschrieben. Ebenso fehlt die wissenschaftliche Rechtfertigung für eine Anwendung von Akupunktur. Jedoch scheint die Verwendung von intermittierendem Ultraschall im Vergleich zur Kontrollgruppe eine Besserung der Symptome zu bewirken.

3.10 Korrelation zwischen Kraft und Krankheitsverlauf der GA

Wie bereits im Abschnitt 3.9 erwähnt, wirkt sich laut Hackenborch (2002) eine verminderte Quadrizepskraft und Gelenksinstabilität negativ auf den Krankheitsverlauf der GA aus.

Gemäss Ruhdorfer, Wirth, Hitzl, Nevitt und Eckstein (2014) besteht keine Korrelation zwischen Muskelkraft und Manifestation der GA auf Röntgenaufnahmen, jedoch ein relevanter Zusammenhang zwischen Gelenkschmerz und isometrischer Kraft der Kniegelenksexpressoren und -flexoren bei Patientinnen und Patienten mit GA. Dies lässt darauf schliessen, dass die Schmerzsymptomatik durch Krafttraining reduziert werden kann. Sharma (2015) bestätigt, dass eine Kräftigung des MQF einen positiven Effekt auf die Gelenksfunktion und Schmerzsituation hat. Erhöhte Quadrizepskraft verhindert aber nicht die radiologische Progression der Arthrose.

In einer Metaanalyse von Li, Su, Chen, Zhang, Zhang, Liu, Lu, Liu, Li, He, Wang, Sheng, Wang, Zhan, Wang und Zheng (2016) wird nebst dem schmerzlindernden Effekt von Krafttraining, auch die Linderung von Steifigkeit und die Verbesserung der Gelenksfunktion erwähnt.

4 Theoretische Grundlagen Teil 2; BFRT

4.1 Definition

Unter BFRT versteht man ein Widerstandstraining bei gleichzeitiger Restriktion des venösen Blutes mit dem Ziel der Hypertrophie und/ oder Kraftzunahme. Zur Abklemmung des Blutes wird proximal der zu trainierenden Extremität eine leichte und flexible Manschette oder Bandage mit angepasstem Druck angelegt (Slysz, Stultz und Burr, 2016). Die Stärke des Druckes wird dabei so gewählt, dass der arterielle Blutfluss erhalten bleibt. In dieser Arbeit wird primär der Effekt eines LLRT bei gleichzeitiger Okklusion des MQF untersucht. Das bedeutet, dass während einem Widerstandstraining mit 30% des 1RM eine pneumatische Druckmanschette am proximalen Oberschenkel zur Restriktion des venösen Blutflusses angelegt wird.

4.2 Historischer Hintergrund

Die Idee des BFRT wurde in Tokio, Japan geboren. Im Jahr 1966 fiel Yoshiaki Sato die Ähnlichkeit einer Parästhesie in der Wade aufgrund längeren Sitzens einerseits und aufgrund intensiven Trainings der Wadenmuskulatur andererseits auf. Er schlussfolgerte, dass diese Ähnlichkeit möglicherweise auf einen reduzierten Blutfluss in der entsprechenden Muskulatur zurückzuführen ist. Im Rahmen von Selbstexperimenten entwickelte er die Grundlagen des BFRT, welches er in den 1970er unter dem Namen KAATSU-Training zunächst in der Fitnessbranche populär machte. In den 1980er entwickelte Sato eine Blutdruckmanschette mit Drucksensoren (s. Abbildung 3) und startete Kollaborationen mit Forschungsinstituten und Universitäten.



Abbildung 3 Kaatsu Druckmanschette

In den 1990er liess er die KAATSU-Trainingsmethode patentieren und bot lizenzierte Ausbildungskurse im Bereich KAATSU Trainingsinstruktion an. In den folgenden Jahren gewann die KAATSU-Trainingsmethode an Popularität und Aufmerksamkeit, was zu weiterer Forschung führte, die bis heute andauert (Sato, 2005).

4.3 Wirkungsmechanismen

Bezüglich der Mechanismen des BFRT herrschen noch viele Unklarheiten. Gemäss Loenneke, Wilson und Wilson (2010) konnten durch die bisherige Forschung verschiedene Mechanismen für die Effekte des BFRT verantwortlich gemacht werden. Die genannten Autoren nennen im Artikel die folgenden Faktoren:

- die Akkumulation von Metaboliten mit konsekutiver Konzentrationserhöhung von anabolen Wachstumsfaktoren wie z.B. growth hormone (GH),
- die Rekrutierung von fast-twitch Fasern und
- die Stimulation der Proteinsynthese.

Es wurden noch weitere Metaboliten im Zusammenhang mit den anabolen Effekten des BFRT ausfindig gemacht. Diese genauer zu erläutern würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb an dieser Stelle darauf verzichtet wird.

Grundsätzlich ist noch weitere Forschung nötig, um die physiologischen Mechanismen des BFRT aufzudecken oder zu präzisieren (Loenneke et al., 2010).

4.4 Anwendungsbereiche/ Effekte

In den folgenden Abschnitten wird die Anwendung eines LLRT unter BFR im Bereich des Hochleistungssportes, der Rehabilitation, der Geriatrie und der Weltraumfahrt angeschaut. Dazu werden verschiedene Studien hinzugezogen, wobei die Forschungslage noch sehr überschaubar ist.

4.4.1 LLRT unter BFR für Athletinnen und Athleten

Scott, Loenneke, Slattery und Dascombe (2016) stellten in einem Review die Evidenz hinsichtlich der Effizienz von verschiedenen Strategien der vaskulären Okklusion für gut-trainierte Athleten zusammen. Sie weisen darauf hin, dass LLRT unter BFR positive Effekte auf die muskuläre Entwicklung (Hypertrophie und/oder Kraft) haben kann. Da gemäss der Studie bei LLRT unter BFR keine messbaren Muskelschäden verursacht werden, könne dieses Training sinnvoll sein für

Athletinnen und Athleten, deren Regenerationskapazität während Phasen von HLRT signifikant reduziert ist. Ausserdem könnte LLRT unter BFR eine gute Alternative für Athletinnen und Athleten darstellen, die aus physiologischen oder psychologischen Gründen nicht für ein HLRT fähig sind. Jedoch ist zurzeit noch nicht bekannt, ob LLRT unter BFR auch positive Adaptionen der passiven Strukturen, insbesondere der Sehne, bewirkt. Im Gegenteil, es wird vermutet, dass die passiven Strukturen aufgrund der geringeren mechanischen Belastung verletzungsanfälliger werden. Zudem sei wahrscheinlich, dass LLRT unter BFR weniger Anpassungen auf der neuromuskulären Ebene bewirkt (Rekrutierung von motorischen Einheiten), weshalb ein alleiniges LLRT unter BFR für Explosivkraft-Sportarten nicht sinnvoll erscheine. Aufgrund der genannten Resultate kommen Scott et al. zum Schluss, dass LLRT unter BFR unter spezifischen Bedingungen für gut-trainierte Athletinnen und Athleten von Vorteil sein kann. Sie empfehlen LLRT unter BFR mit periodischem HLRT zu kombinieren. Die Belastung sollte dabei angemessen dosiert, aber progressiv erhöht werden, um die passiven Strukturen an die Anforderungen anzupassen.

4.4.2 LLRT unter BFR in der Rehabilitation von Athletinnen und Athleten

Takarada, Takazawa und Ishii (2000) konnten eine signifikante Verminderung einer immobilisationsbedingten Atrophie nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKBR) durch intermittierende BFR feststellen. Der Effekt jedoch könne möglicherweise spezifisch auf die Knieextensoren beschränkt sein.

Scott et al. (2016) weisen zudem darauf hin, dass sich die muskulären Adaptationen durch ein LLRT unter BFR als vorteilhaft für Athletinnen und Athleten nach einer VKBR erweisen, da dadurch die rehabilitative Phase verkürzt werden könnte. Sie schlagen ein Modell vor, nach dem die Rehabilitation in vier progressiven Phasen durchgeführt wird, angefangen mit reiner BFR während der akuten, postoperativen Phase der Immobilisation bis hin zur progressiven Durchführung von LLRT unter BFR in Kombination mit HLRT.

Jedoch müssen die Resultate relativiert werden, da der Effekt der Atrophieprophylaxe durch LLRT unter BFR bisher nicht konsequent reproduzierbar war (Iversen, Rostad und Larmo, 2016).

4.4.3 LLRT unter BFR in der Weltraumfahrt

Eine weitere, ausserordentliche Anwendungsmöglichkeit von LLRT unter BFR könnte im Bereich der Weltraumfahrt liegen, wo das Fehlen der Gravitation sowohl Muskelatrophie, als auch kardiovaskuläre Dekonditionierung in Astronautinnen und Astronauten verursacht. Nakajima, Lida, Kurano, Takano, Morita, Meguro, Sato, Yamazaki, Kawashima, Ohshima, Tachibana, Ishii und Abe (2008) untersuchten in einer Studie die hämodynamischen Veränderungen aufgrund BFR während simulierter Gewichtslosigkeit. Sie kommen zum Schluss, dass BFR eine angemessene Intervention darstellen könnte, um einer Muskelatrophie und kardiovaskulärer Dekonditionierung aufgrund von fehlender Gravitation entgegenzuwirken.

4.4.4 LLRT unter BFR in der Geriatrie

Verschiedenste Studien weisen auf die positiven Effekte eines LLRT unter BFR auf die altersbedingte Muskelatrophie, die Muskelkraft und das kardiovaskuläre System hin. Beispielsweise untersuchten Shimizu, Hotta, Yamamoto, Matsumoto, Kamiya, Kato, Hamazaki, Kamekawa, Akiyama, Kamada, Tanaka und Masuda (2016) in einer RCT den Effekt eines vierwöchigen LLRT unter BFR auf die vaskuläre Endothel-Funktion und die periphere Blutzirkulation von älteren Personen. Trotz Limitationen der Studie und konkreten Vorschlägen für weiterführende Forschung kommen die Autoren aufgrund signifikanter Ergebnisse zum Schluss, dass ein LLRT unter BFR die vaskuläre Endothel-Funktion und periphere Blutzirkulation verbessert.

Vechin, Libardi, Conceic, Damas, Lixandra, Berton, Tricoli, Roschel, Cavaglieri, Chacon-Mikahil und Ugrinowitsch (2015) verglichen in einer Studie die Effekte eines 12-wöchigen LLRT unter BFR und eines 12-wöchigen HLRT auf die Muskelmasse und –kraft des MQF von älteren Personen. Sie kommen zum Schluss, dass ein LLRT unter BFR genauso effektiv den Muskelquerschnitt vergrössert wie ein HLRT. Hinsichtlich der Kraft haben sich beide Gruppen zwar verbessert, jedoch scheine das HLRT effektiver zu sein. Diese Ergebnisse decken sich u.a. mit den Resultaten von Karabulut, Abe, Sato und Bemben (2010), die einen signifikanten Unterschied einer HLRT-Gruppe und einer Gruppe, welche ein LLRT unter BFR absolvierte (BFR-Gruppe), zur Kontrollgruppe, die kein Training absolvierte, feststellten. Auch sie

beobachteten einen signifikant höheren Kraftzuwachs der HLRT-Gruppe im Vergleich zur BFR-Gruppe.

Abschliessend muss gesagt werden, dass in all den genannten Anwendungsbereichen weitere Forschung nötig ist, um Unklarheiten zu beseitigen, die exakten Mechanismen und allfällige Nebeneffekte auf das Kreislaufsystem zu klären oder die Evidenz zu untersuchen bzw. zu stärken.

4.4.5 Sicherheit

Zwar brachte bereits der Begründer der Methode seine persönliche Gesundheit in Gefahr, als er die Methode selbst ausprobierte und wegen einer Embolie im Krankenhaus behandelt werden musste (Sato, 2005). Doch erst in den letzten paar Jahren fand in der Forschung ein Wechsel von Untersuchungen bzgl. der Effizienz zu möglichen Sicherheitsaspekten des BFRT statt.

In einem im American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology erschienen Artikel sprechen Spranger, Krishnan, Levy, O'Leary und Smith (2015) potentielle Risiken des BFRT und Forschungslücken an, die im Folgenden kurz erläutert werden. Sie weisen primär darauf hin, dass in der Forschung im Zusammenhang mit den Risiken des BFRT der sogenannte *exercise pressor reflex* (EPR) konsistent vernachlässigt werde. Dieser Reflex besteht aus metabo- und mechanosensitiven Rezeptoren, deren Stimulierung wichtige, kardiovaskuläre Reaktionen hervorrufen. Diese Reaktionen umfassen koronare Vasokonstriktion aufgrund erhöhter Sympathikusaktivität, Erhöhung des mittleren, arteriellen Blutdruckes und Steigerung der Herzfrequenz und werden durch submaximale Belastung der Muskulatur ausgelöst. Mechanische Kräfte im Muskel aktivieren dabei den Mechanoreflex, die Akkumulation von gewissen Metaboliten im Muskel aktiviert den Metaboreflex, sensibilisiert aber auch die Mechanorezeptoren.

Spranger et al. (2015) erklären, dass durch BFRT der EPR mit grosser Wahrscheinlichkeit stärker ausgelöst wird, was das Risiko für ungünstige, kardiovaskuläre Ereignisse möglicherweise erhöht. Insbesondere sei bei Personen mit bestehenden kardiovaskulären Pathologien wie bspw. arterielle Hypertension, Herzinsuffizienz oder periphere, arterielle Verschlusskrankheit (PAVK), bei welchen die Perfusion der Muskulatur und die Funktion des EPR bereits beeinträchtigt sind,

Vorsicht geboten. Im Folgenden werden einige, konkrete Kritikpunkte kurz zusammengefasst, welche Spranger et al. (2015) in ihrem Artikel vorbringen.

Arterielle Hypertension

Gemäss Spranger et al. (2015) wurden zwar in einer Studie positive Effekte auf den systolischen Blutdruck *nach* BFRT bei Frauen mit Hypertension beobachtet, jedoch signifikant höhere Blutdruckwerte und Herzfrequenzen *während* dem BFRT im Vergleich zum Widerstandstraining mit moderater Intensität.

Zudem sei nicht nur die Erhöhung des mittleren Blutdruckes, sondern v.a. die Instabilität und Variabilität des Blutdruckes ein wichtiger Faktor für kardiovaskuläre Ereignisse. Auch hier fehlt gemäss dem Artikel Forschung, welche Korrelationen von BFR-induzierten Blutdruckschwankungen und möglichen kardiovaskulären Problemen untersucht.

Kardiale Rehabilitation

In der kardialen Rehabilitation von Patientinnen und Patienten mit stabilen ischämischen Herzkrankheiten seien gemäss Spranger et al. (2015) nach LLRT unter BFR zwar keine Konzentrationsänderungen von hämostatischen und inflammatorischen Substanzen im Blut beobachtet worden, jedoch wurden erhöhte Konzentrationen von Plasma-Noradrenalin und gesteigerte Herzfrequenzen festgestellt, was auf eine EPR-induzierte Überaktivität des sympathischen Nervensystems hinweist.

PAVK

Bei Personen mit PAVK, bei denen die Perfusion der Muskulatur beeinträchtigt ist, treten gemäss Spranger et al. (2015) bereits bei LLRT ohne BFR metaboreflex-induzierte sympathische und kardiovaskuläre Reaktionen auf. Es sei deshalb anzunehmen, dass LLRT unter BFR durch die Akkumulation von Metaboliten den EPR noch stärker aktiviert und ungünstige kardiovaskuläre Ereignisse begünstigt.

Venöse Insuffizienz

Gemäss Spranger et al. (2015) könnte unvorsichtige Anwendung des BFRT zu venöser Insuffizienz führen, da durch exzessive, venöse Kompression und somit erhöhtem, venösem Druck die venösen Valven zerstört werden könnten.

Druckmanschetten

Auch was die sichere Anwendung der Kompression bzw. Restriktion betrifft, bestehe gemäss Spranger et al. (2015) Klärungsbedarf. Es herrsche keine Einigkeit über die Höhe des angewandten Druckes, die Breite der Manschette, oder die Dauer der Kompression, was jedoch von grosser Bedeutung sei. Denn nicht nur Personen mit bestehenden, kardiovaskulären Krankheiten, sondern auch bei Gesunden könne durch inadäquate Kompression bzw. Restriktion der EPR überstimuliert werden, was das Risiko für ungünstige, kardiovaskuläre Ereignisse aufgrund von Sympathikus-Hyperaktivität erhöhe.

5 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen

Arthrose ist eine progressive, degenerative Erkrankung des hyalinen Gelenkknorpels und weiterer, passiver wie auch aktiver Strukturen. Die Krankheit weist eine hohe Prävalenz in der schweizerischen Bevölkerung mit steigender Tendenz auf und ist mit hohen Kosten verbunden. Arthrose wird in drei Phasen eingeteilt, welche unterschiedliche, klinische Zeichen aufweisen. Die klinische Manifestation wird nach Kellgren und Lawrence (1957) in fünf Graden klassifiziert. In der Physiotherapie existieren verschiedene aktive sowie passive Behandlungsansätze, welche alle eine Schmerzreduktion und Funktionserhaltung zum Ziel haben. Zu den konservativen Therapiemöglichkeiten zählt auch die Medikation, welche zum Teil negative Effekte auf passive Strukturen zur Folge hat. Bei Ausbleiben des Erfolges der konservativen Therapie können je nach Stadium und Ausprägung verschiedene operative Methoden in Betracht gezogen werden.

BFRT stellt ein Widerstandstraining bei gleichzeitiger Restriktion des venösen Blutflusses mit Hilfe einer pneumatischen Druckmanschette dar. Es verfolgt das Ziel der Hypertrophie und der Kraftsteigerung durch die Akkumulation von anabolen Metaboliten, der Rekrutierung von fast-twitch Fasern und der Stimulation der Proteinsynthese. Der Effekt dieses Trainings wurde bereits in verschiedenen Anwendungsbereichen untersucht, wobei die Forschungslage noch spärlich ist. Im Bereich der Sicherheit sind der EPR und sein Zusammenhang mit kardiovaskulären Reaktionen von Bedeutung. Generell ist die Indikation eines BFRT bei Personen mit Risiken für oder manifesten kardiovaskulären Erkrankungen nicht geklärt.

6 Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte der drei Studien zusammengefasst und am Ende dieses Kapitels in Form einer Ergebnistabelle dargestellt (s. Tabelle 3 Ergebnisse).

Segal et al. (2015), efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis

Das Ziel der Studie von Segal et al. (2015) war es, herauszufinden ob ein vier wöchiges LLRT unter BFR der trainierenden Extremität, eine effektive und tolerierbare Methode darstellt, um die Beinkraft, die MQF Kraft und das MQF Volumen bei Frauen mit einem Risiko für GA zu steigern. Das sekundäre Ziel der Studie war es zu erörtern, ob ein solches Training einen positiven Effekt auf die Kniesymptomatik, die ADL oder die Lebensqualität hat. Die Autoren begründeten die Forschungsfrage mit der hohen Prävalenz der GA in der weiblichen, amerikanischen Bevölkerung. Es wurde erläutert, dass eine grössere MQF Kraft das Risiko eine GA zu entwickeln verkleinert und bei bereits vorhandenen GA die fortlaufende Gelenkspaltverschmälerung unterbindet. Sie beschrieben, dass gemäss renommierten Fachstellen (American College of Sports Medicine) relativ hohe Gewichte für das Krafttraining empfohlen werden und dass dies im Zusammenhang mit symptomatischer GA nur bedingt durchführbar ist. Aus Studien an Patienten und Patientinnen ohne GA ging hervor, dass BFR einen positiven Effekt auf die Kraft und Hypertrophie beim Krafttraining mit leichten Gewichten haben kann.

Es handelte es sich um eine randomisierte, doppelt geblendete, kontrollierte Studie. 45 Frauen im Alter zwischen 45 und 65 Jahren nahmen daran teil, wobei es gesamthaft zu 5 Dropouts kam. Alle wiesen mindestens einen der folgenden Risikofaktoren auf:

- BMI über 25 kg/M²
- Ehemalige Knieverletzungen
- Kniebeschwerden (Schmerz, Steifheit) an den meisten der letzten 30 Tagen
- Bereits diagnostizierte GA gemäss bildgebenden Massnahmen

Die Studie enthielt eine grosse Anzahl an Ausschlusskriterien um jegliche Komplikationen während dem BFR Training auszuschliessen. Die Teilnehmerinnen wurden durch E-Mails, Briefe und Anzeigen in Kliniken, Zeitungen und Geschäften auf die Studie aufmerksam gemacht.

Sowohl die Teilnehmerinnen der Interventions- als auch der Kontrollgruppe absolvierten zwölf Trainings in vier Wochen. Es wurden in jeder Trainingseinheit vier Sätze auf der Beinpresse bei einem Widerstand von 30% des 1RM absolviert. Hierbei kam das folgende Trainingsprotokoll zum Einsatz:

Erster Satz: 30 Wiederholungen in zwei Minuten

Zweiter bis vierter Satz: 15 Wiederholungen in je einer Minute, dazwischen je 30 sec. Pause.

Der Druck der BFR-Manschette bei der Interventionsgruppe wurde vor jeder Trainingseinheit von initial 30 bzw. 40 mmHg standardisiert und stufenweise auf 160, 180 oder 200 mmHg eingestellt.

Gesamthaft wurden zwei Messungen durchgeführt. T0 vor der Intervention und T1 maximal 3 Tage nach der letzten Trainingseinheit. Dabei wurden Folgende Messparameter und -Instrumente verwendet:

- O1 isotonische, bilaterale Kraft mittels pneumatischer Beinpresse (kg/ kg Körpergewicht)
- O2 bilaterales Leistungsvermögen des MQF mittels pneumatischer Beinpresse (W/ kg Körpergewicht)
- O3 Volumen des MQF mittels MRT (cm³), wobei für diesen Outcome nur 12 Teilnehmerinnen untersucht wurden
- O4 isokinetische Kraft des MQF mittels Dynamometer (Nm/ kg)
- O5 funktionelles Leistungsvermögen der unteren Extremität mittels Treppenstufen/Zeiteinheit (W)
- O6 Kniesymptome mittels KOOS-Fragebogen (Punkte)

Bezüglich O1 und O4 zeigten sich signifikanten Gruppenunterschiede zu Gunsten der Interventionsgruppe (O1: p=0.0385, O4: p=0.0048). O2, O3, O5 und O6 wiesen keine signifikanten Gruppenunterschiede auf.

Die Autoren kamen zum Schluss, dass GA Patientinnen durch ein LLRT unter BFR Kraftsteigerung des MQF erfahren können ohne eine Schmerzexazerbation auszulösen. Dies deckte sich mit den Resultaten in den Vorgängerstudien. Betreffend den Effekt auf das O4 war die statistisch knapp berechnete Stichprobe wegen einem Dropout womöglich zu klein. Es wurde ein Unterschied zugunsten des BFR Training entdeckt, jedoch war dieser nicht signifikant. Vorausgehende Studien wiesen in diesem Bereich ebenfalls signifikante Vorteile auf. Zu bemängeln seien die kurze Interventionsdauer und das Fehlen der Anpassung des Widerstandes. Limitiert sei auch die Aussagekraft für Patientinnen mit bestehender GA, da lediglich 13 der 25 Teilnehmerinnen radiologisch bestätigte GA aufwiesen.

Segal et al. (2015), efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training for quadriceps strengthening in men at risk of symptomatic knee osteoarthritis

Das Ziel der Studie von Segal et al. (2015) war es herauszufinden, ob ein vierwöchiges LLRT unter BFR eine effektive und tolerierbare Trainingsmethode darstellt, um die Kraft des MQF bei Männern mit erhöhtem Risiko einer Gonarthrose oder symptomatischer Gonarthrose zu erhöhen. Die Begründung der Forschungsfrage deckt sich mit der Studie von Segal et al. (2015) mit Frauen. Zudem verwiesen die Autoren auf Forschungsergebnisse der Vorgängerstudie.

Bei der Studie handelte es sich um eine randomisierte, doppelt geblendete, kontrollierte Studie. Es nahmen 42 Männer im Alter zwischen 45 und 90 Jahren an der Studie teil, wobei es zu einem Dropout kam. Verglichen mit der Vorgängerstudie an Frauen wurden die gleichen Ein- und Ausschlusskriterien definiert. Die Rekrutierung der Teilnehmer und die Durchführung der Interventionen erfolgten nach einem identischen Protokoll. Unterschiede gab es in den Outcome-Parameter, wobei sich die Autoren auf die folgenden Parameter und Messinstrumente beschränkten

- O1 isotonische, bilaterale Kraft mittels pneumatischer Beinpresse (kg)
- O2 isokinetische Kraft des MQF mittels Dynamometer (Nm)
- O3 Kniesymptome mittels KOOS-Fragebogen (Punkte)

Es bestand ein einziger signifikanter Zwischengruppen-Unterschied und zwar bzgl. der Baseline isotonischen Kraft an der Beinpresse, welche bei der Interventionsgruppe grösser war. Bezüglich O1 waren die Resultate signifikant

innerhalb beider Gruppen. O2 veränderte sich lediglich in der Kontrollgruppe signifikant. Bei O3 wird im Text eine signifikante Verbesserung in der Kontrollgruppe festgestellt, in der Tabelle ist diese Signifikanz nicht ersichtlich.

Die Autoren kamen zum Schluss, dass ein vierwöchiges BFRT bei einer Intensität von 30% des 1RM bei Männern mit Risikofaktoren für symptomatische GA zu keiner signifikanten Kraftsteigerung des MQF führt. Sie folgerten, dass weitere Forschung nötig sei, um zu evaluieren, ob eine andere Trainingsdosierung und -dauer des BFRT zu signifikanten Krafterhöhungen führen würde.

Die Schwächen sahen die Autoren im Mangel an finanziellen Mitteln für ein bildgebendes Verfahren zur Messung der CSA, in der fehlenden, individuellen Anpassung des angewandten Druckes der Druckmanschette, in der fehlenden Messung des Blutflusses während den Übungen, dem Nicht-Anpassen des Trainingswiderstandes, dem fehlenden Assessment des Fitnesslevels und in der Heterogenität der Teilnehmer aufgrund der Einschlusskriterien.

Bryk et al. (2016), exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial

Das Ziel der Studie von Bryk et al. (2016) war es, herauszufinden, ob Frauen mit GA, welche ein LLRT unter BFR durchführen, dieselben Resultate hinsichtlich Kraft des MQF, Knieschmerzen und funktionellen Parametern aufweisen, verglichen mit Frauen mit GA, welche ein HLRT durchführen.

Die Autoren begründeten den Sinn und Zweck der Studie mit der Intoleranz von HLRT bei Personen mit degenerativen Knieerkrankungen oder mit operations- oder altersbedingt reduzierter Belastbarkeit. Zudem herrsche ein Mangel an klinischen Studien, welche verschiedene Trainingsmethoden zur Kräftigung des MQF bei Personen mit degenerativen Knieerkrankungen vergleichen. Die Autoren wollten deshalb das LLRT unter BFR als alternative, moderatere Krafttrainingsmethode für Patienten mit GA validieren.

Die Studie wurde als randomisierte, kontrollierte Studie durchgeführt und bezieht sich auf Frauen mit klinisch und radiologisch manifester GA gemäss den Kriterien, welche vom American College of Rheumatology etabliert wurden. Es mussten in einem Knie zwei bis drei von fünf Punkten auf der Kellgren und Lawrence-Skala erreicht werden.

34 Frauen nahmen an der Studie teil, welche freiwillig im Rahmen der Physiotherapie durchgeführt wurde. Die Teilnehmerinnen wurden aus einem Rehabilitationsservice von einem Physiotherapeuten rekrutiert. Ausgeschlossen wurden Frauen mit vergangenen invasiven oder konservativen Interventionen am betroffenen Knie, mit sonstigen Pathologien, welche die Funktion beeinträchtigen oder mit kürzlich erfolgter Medikationsänderung.

Die Kontroll- und Interventionsgruppe führten grundsätzlich dasselbe Trainingsprogramm durch, welches aus verschiedenen Übungen für die unteren Extremitäten und den Rumpf bestand und drei Mal pro Woche über sechs Wochen hinweg stattfand. Lediglich das Protokoll für das Training der Kniegelenks-Extensoren (mit Gewichten ums Fussgelenk oder, falls toleriert, an der Knie-Extensions-Maschine) unterschied sich zwischen den Gruppen. Die Kontrollgruppe absolvierte drei Serien à zehn Wiederholungen mit einer Intensität von 70% des 1RM. Die Interventionsgruppe führte drei Serien à 30 Wiederholungen bei 30% des 1RM und einer BFR mit einem Druck von 200 mmHg aus. Das 1RM wurde wöchentlich neu evaluiert und gegebenenfalls angepasst.

Es wurden folgende Outcome-Parameter und Messinstrumente gewählt:

- O1 isometrische MQF-Kraft mittels hand-held dynamometer (HHD) (kg)
- O2 Knieschmerz mittels 11-Punkte-NPRS (Punkte)
- O3 Funktion mittels Lequesne-Fragebogen (Punkte)
- O4 Funktion mittels TUG (s)
- O5 anteriore Knieschmerzen während Übung mittels 11-Punkte-NPRS (Punkte)

Die entsprechenden Daten wurden je einmal vor Beginn des sechs wöchigen Programms und einmal am Ende der Studie erhoben. Die Knieschmerzen wurden zusätzlich während den MQF-Übungen evaluiert.

Es kam zu signifikanten Zeiteffekten innerhalb der Gruppen hinsichtlich aller Parameter (MQF-Kraft $p=0.001$, Lequesne $p=0.001$, TUG $p=0.006$, NPRS $p=0.001$) ohne signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Der einzige signifikante Zwischengruppenunterschied erwies sich beim Schmerz während den MQF-Übungen, wobei die Patientinnen der Okklusionsgruppe signifikant weniger

anteriore Knieschmerzen aufwiesen im Vergleich zur konventionellen Gruppe (NPRS $p= 0.001$).

Die Autoren schlussfolgern, dass das LLRT unter BFR ähnliche Verbesserungen der Kraft, des Schmerzes und der Funktion liefert wie ein HLRT. Zudem schliessen sie aus den Ergebnissen, dass die Schmerzen während eines LLRT unter BFR geringer sind verglichen mit den Schmerzen während einem HLRT.

Limitationen der eigenen Studie sehen Bryk et al. (2016) in dem Fehlen von langfristiger Follow-Up, in der kleinen Stichprobengrösse, dem Fehlen anderer Variablen wie bspw. unterschiedliche BFR-Drucke und in der limitierten Generalisierbarkeit, da lediglich Frauen untersucht wurden.

Tabelle 3 Ergebnisse

	Segal et al. (2015) – Women (w)	Segal et al. (2015) – Men (m)	Bryk et al. (2016) - Women
Studiendesign	RCT	RCT	RCT
Probanden (n), Interventionsgruppe Kontrollgruppe (I/C)	n = 45, I = 19, C = 21 Dropout-Rate: X = 5 Alter: I: 56.1 ± 5.9, C: 54.6 ± 6.9 Geschlecht: w	n = 44, I = 19, C = 22 Dropout-Rate: X = 1 Alter: I: 58.4 ± 8.7, C: 56.1 ± 7.7 Geschlecht: m	n = 34, I = 17, C = 17 Dropout-Rate: X = 0 Alter: I: 62.3 ± 7.0, C: 60.4 ± 6.7 Geschlecht: w
Diagnose	BMI über 25 kg/M2 Ehemalige Knieverletzungen Kniebeschwerden (Schmerz, Steifheit) an den meisten der letzten 30 Tagen Bereits diagnostizierte GA gemäss bildgebenden Massnahmen	BMI über 25 kg/M2 Ehemalige Knieverletzungen Kniebeschwerden (Schmerz, Steifheit) an den meisten der letzten 30 Tagen Bereits diagnostizierte GA gemäss bildgebenden Massnahmen	Klinisch und radiologisch manifeste Gonarthrose (2-3 Punkte auf Kellgren und Lawrence-Skala)
Intervention	Bilaterale Beinpresse I: 4 Sätze à 30 bzw. 15 Rep., 3 Mal pro Woche, 4 Wochen, 30% 1RM, mit BFR C: 4 Sätze à 30 bzw. 15 Rep., 3 Mal pro Woche, 4 Wochen, 30% 1RM ohne BFR	Bilaterale Beinpresse I: 4 Sätze à 30 bzw. 15 Rep., 3 Mal pro Woche, 4 Wochen, 30% 1RM, mit BFR C: 4 Sätze à 30 bzw. 15 Rep., 3 Mal pro Woche, 4 Wochen, 30% 1RM ohne BFR	Knieextension (mit Gewichten über OSG/ an Maschine) I: 3 Sätze à 30 Rep., 3 Mal pro Woche, 6 Wochen, 30% 1RM mit BFR 200 mmHg C: 3 Sätze à 10 Rep., 3 Mal pro Woche, 6 Wochen, 70% 1RM ohne BFR

<p>Outcome (O), Messzeitpunkt (T)</p>	<p>O1 isotonische bilaterale Kraft an der Beinpresse (kg/ kg Körpergewicht) O2 bilaterales Leistungsvermögen des MQF auf der Beinpresse (W/ kg Körpergewicht) O3 Volumen des MQF (cm³) O4 isokinetische Kraft des MQF (Nm/ kg Körpergewicht) O5 funktionelle Leistung (W) O6 Kniesymptome (KOOS)</p> <p>T₀ = Beginn der Studie T₁ = nach 4 Wochen</p>	<p>O1 isotonische bilaterale Kraft an der Beinpresse (kg) O2 isokinetische Kraft des MQF (Nm) O3 Kniesymptome (KOOS)</p> <p>T₀ = Beginn der Studie T₁ = nach 4 Wochen</p>	<p>O1 isometrische MQF-Kraft mit HHD (kg) O2 Knieschmerz via NPRS (Punkte) O3 Funktion via Lequesne (Punkte) O4 Funktion via TUG (s) O5 Knieschmerzen während Übung via NPRS (Punkte)</p> <p>T₀ = Beginn der Studie T₁ = nach 6 Wochen T_x = zusätzliche Messungen von O5 in jedem Training</p>
<p>Signifikante Resultate p (zugunsten von)</p>	<p>Intergroup O1 p=0.0385 (I) O4 p=0.0048 (I)</p> <p>Intragroup O1 C; p=0.0046, I; p<0.0001 O2 I; p=0.0288 O4 I; p=0.0243 O5 C; p<0.0001, I; p=0.0163</p>	<p>Intragroup O1 I; p=0.003, C; p<0.002 O2 C; p=0.006 O3 widersprüchliche Angaben C; p=0.042 vs. p=0.062</p>	<p>Intergroup O5 p=0.01 (I)</p> <p>Intragroup unvollständige Angaben, wahrscheinlich gerundete Werte O1 I und C; p=0.001 O2 I und C; p=0.001 O3 I und C; p=0.001 O4 I und C; p=0.006</p>

7 Diskussion

Bisherige Studien zeigen, dass verbesserte Kraft des MQF die Schmerzsymptomatik bei GA positiv beeinflusst (Ruhdorfer et al., 2014, Sharma, 2014). Aus der klinischen Erfahrung der Autoren dieser Arbeit ist die Toleranz von Trainingsmethoden mit hohen Widerständen bei Patientinnen und Patienten mit GA vermindert. Die Erarbeitung einer alternativen Trainingstherapie ist somit angebracht. Es gibt zunehmend Hinweise darauf, dass Trainings unter BFR positive Effekte auf die Muskelkraft und Hypertrophie haben (Scott et al., 2016, Vechin et al., 2015, Karabulut et al., 2010). Die Entwicklung eines entsprechenden Trainingsprotokolls könnte zur Verbesserung der Behandlungsqualität bei Patientinnen und Patienten mit GA führen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine evidenzbasierte Empfehlung bzgl. eines solchen Trainings abzugeben. Dafür galt es zu beantworten, ob ein LLRT unter BFR einen positiven Effekt auf die Kraft des MQF und die Schmerzen bei Patientinnen und Patienten mit GA hat.

Alle drei Studien konnten signifikante Kraftsteigerungen des MQF innerhalb der Interventionsgruppen feststellen. Segal et al. (2015) verglichen die Veränderungen der isokinetischen und isotonischen Kraft nach einem LLRT mit und ohne BFR, wohingegen Bryk et al. (2016) die Veränderungen der isometrischen Kraft nach einem LLRT unter BFR und einem HLRT beschrieben. Die Frauen in der Studie von Segal et al. (2015) zeigten in beiden Gruppen signifikante Verbesserungen der isotonischen Kraft. Die isokinetische Kraft steigerte sich nur bei der Interventionsgruppe signifikant. Bei beiden Messwerten kam es zu einem Zwischengruppenunterschied zugunsten der Interventionsgruppe. Bei den Männern in der Studie von Segal et al. (2015) wurden lediglich bei der isotonischen Kraft signifikante Verbesserungen innerhalb beider Gruppen festgestellt. Bei der isokinetischen Kraft kam es nur in der Kontrollgruppe zu einer signifikanten Verbesserung. Es bestanden keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede. Bei Bryk et al. (2016) kam es innerhalb beider Gruppen zu signifikanten Verbesserungen der isometrischen Muskelkraft, jedoch zu keinem signifikanten Zwischengruppenunterschied.

Bezüglich der Kniesymptome verwendeten Segal et al. (2015) den sogenannten KOOS, bei welchem 42 Fragen betreffend Schmerz, Symptomen, Funktionen in

ADL, Sport und Freizeit, und kniebezogene Lebensqualität beantwortet werden. Bryk et al. (2016) erfragten mittels NPRS spezifisch die anterioren Knieschmerzen. Segal et al. (2015) konnten bei den Frauen keine signifikanten Resultate hinsichtlich der Kniesymptome feststellen, bei den Männern liefern sie widersprüchliche Angaben. Die Frauen in der Interventionsgruppe bei Bryk et al. (2016) gaben im Zwischengruppenvergleich signifikant weniger Schmerzen während den Übungen an. Bezüglich der Schmerzsituation nach der Studie kam es bei beiden Gruppen zu einer signifikanten Linderung.

Die Aussagekraft dieser Ergebnisse hängt von der Güte der jeweiligen Studie ab, welche in den folgenden Abschnitten diskutiert wird. Dabei werden der Einfluss verschiedener Faktoren wie bspw. die Stichprobengrösse, die Randomisierung, oder Ko-Interventionen betrachtet.

7.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die genauen Einschlusskriterien in allen drei Studien stärkten die interne Validität, verunmöglichen jedoch eine Generalisierung der Untersuchungsergebnisse auf Populationen mit anderen Charakteristika. In den Studien von Segal et al. (2015) litten nicht alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen an GA, da dies nicht absolute Voraussetzung für eine Teilnahme an der Studie war. Dies erschwert die Übertragbarkeit auf die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Population. Lediglich Bryk et al. (2016) beschränkten sich komplett auf GA Patienten und Patientinnen nach der Definition von Kellgren & Lawrence. Die Tatsache, dass eine Studie mit Männern und zwei mit Frauen durchgeführt wurden, könnte die Vergleichbarkeit limitieren.

7.2 Sample Size und Randomisierung

Die Stichprobengrösse wurde in allen Studien nach statistischen Verfahren berechnet. Hierfür wurden bei der Studie an Frauen von Segal et al. (2015) zwei sample size calculations durchgeführt, eine betreffend der isokinetischen MQF Kraft und die andere betreffend der CSA des MQF. Es ist davon auszugehen, dass für die anderen Outcomes keine grössere Stichprobe von Nöten gewesen wäre, dies wird jedoch in der Studie nicht genauer erwähnt. Die sample size calculations in der Studie mit Männer bezog sich auf die isokinetische Muskelkraft, was nicht begründet

wird. Als sehr positiv zu werten ist die Einberechnung einer antizipierten Dropout-Rate in beiden Studien von 20% respektive 10%, um den Einfluss von allfälligen Dropouts zu minimieren. Im Gegensatz zu Segal et al. (2015) berechneten Bryk et al. (2016) die Stichprobengrösse bezüglich des Schmerz Outcomes, wobei auch hier eine Begründung fehlt.

Segal et al. (2015) haben in beiden Studien die beiden Gruppen mit Hilfe eines Computerprogrammes randomisiert zusammengestellt. Bei den Frauen gab es keine Unterschiede bei den Basiswerten, ausser, dass die Interventionsgruppe im Durchschnitt einen geringeren BMI aufwies. Dies wurde bei den Auswertungen der Outcomes berücksichtigt und mit statistischen Analyseverfahren ausgeglichen. Bei den Männern kam es unglücklicherweise trotzdem zu einem signifikanten Unterschied in der Baseline isokinetischen Kraft des MQF.

Die Gruppeneinteilung in der Studie an Bryk et al. (2016) wurde nicht optimal randomisiert, da die Stichprobe in zwei gleich grosse Gruppen aufgeteilt wurde und die Zuteilung der einzelnen Teilnehmer nicht mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit erfolgte. Der Einfluss dieses Umstandes im Sinne eines Selektionsbias dürfte aber gering gewesen sein. Die Gruppen waren in den Baseline-Daten ähnlich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der Studien kaum durch die Randomisierung und die Festlegung der Stichprobengrössen verfälscht wurden. Der Dropout in der Studie von Segal et al. (2015) an Männern wird später diskutiert.

7.3 Validität der Messparameter und -instrumente

Segal et al. (2015) verwendeten in beiden Studien für die Kraft einen Test für das bilaterale isotonische 1RM an einer pneumatischen Beinpresse mit digitalem Output und für das isokinetische 1RM einen Biodex System Dynamometer. Bryk et al. (2016) wählten für die isometrische Kraft einen Test mit einem HHD. Dies lässt lediglich eine Aussage für die Kraft in dem spezifischen Gelenkwinkel und nicht über das gesamte Bewegungsausmass zu und so kann die Kraft des MQF in seiner Funktion nur bedingt beurteilt werden. In einer Studie von Martin, Yule, Syddall, Dennison, Cooper und Sayer (2006) wird der HHD für die Messung der

isometrischen Muskelkraft des MQF mit einem isokinetischen Biodex System verglichen. Die Autoren kommen zum Schluss, dass der HHD verglichen mit dem Biodex System die MQF Kraft bei starken Personen unterschätzt, jedoch gleichwohl ein valides Instrument für die Kraftbestimmung darstellt. Lienhard, Lauermann, Schneider, Item-Glatthorn, Casartelli und Maffioletti (2013) kamen bei einer Untersuchung jeder dieser drei Kraftmodalitäten zum Schluss, dass mit allen eine valide Aussage für die MQF Kraft getätigt werden kann. Somit sind die Outcome-Parameter für die Kraft sinnvoll und passend gewählt. Fraglich bleibt trotzdem die Vergleichbarkeit der drei Messparameter, da zum Teil selbst in den Studien nicht in allen Messparametern das gleiche Resultat erzielt wurde.

Bei Bryk et al. (2016) entspricht die Bestimmung des 1RM nicht der gängigen Methode, da Schmerzfreiheit als Kriterium eingeschlossen wurde. Somit war auch das HLRT kein konventionelles HLRT, da das 1RM wahrscheinlich zu tief eingeschätzt wurde. Es muss stattdessen von einem angepassten HLRT gesprochen werden. Man kann aus diesen Ergebnissen also weder schliessen, dass ein konventionelles HLRT zu einer Verbesserung der Schmerzsituation führt, noch, dass ein LLRT unter BFR zu denselben isometrischen Kraftzuwächsen führt, wie ein konventionelles HLRT.

Für die Erfassung der Kniesymptome verwendeten Segal et al. (2015) den KOOS. Dieser Fragebogen eignet sich nach Roos und Lohmander (2003) für die Feststellung von Veränderungen bezüglich der Kniesymptome bei GA Patienten und Patientinnen. Bryk et al. (2016) verwendeten den 11-stufigen NPRS, dieser ist nach Salaffi, Stancati, Silvestri, Ciapetti und Grassi (2004) geeignet für die Feststellung von Veränderungen der Schmerzintensität bei chronischen, muskuloskelettalen Problematiken. Positiv ist die Tatsache, dass die Autoren für die Schmerzevaluation am Ende der Studie zwischen Schmerzen im Allgemeinen und anterioren Knieschmerzen im Speziellen differenzierten. Für die Erfassung der Schmerzen während der Intervention hätten jedoch sowohl die anterioren Knieschmerzen als auch die BFR-Schmerzen erfragt werden sollen. Denn Beschwerden aufgrund der BFR könnten möglicherweise mit der Wahrnehmung der anterioren Knieschmerzen interagieren und diese herabsetzen. Zudem ist hier wichtig zu erwähnen, dass der KOOS und NPRS nicht direkt miteinander vergleichbar sind, da der KOOS nicht

ausschliesslich Knieschmerzen erfasst. Der bei Bryk et al. (2016) verwendete Lequesne wäre besser mit dem KOOS vergleichbar, untersucht den Schmerz jedoch ebenfalls nicht isoliert.

Ebenfalls erschwerend für einen allfälligen Vergleich ist die Tatsache, dass nicht in allen Studien dieselben Masseinheiten verwendet werden. Lediglich Segal et al. (2015) geben die Daten für die isokinetische Kraft in der für Arbeit stehenden SI-Einheit Newtonmeter (Nm) an. Für die isotonische Kraft verwenden sie, wie auch Bryk et al. (2016) für die isometrische, die Einheit kg, welche keine SI-Einheit für Kraft darstellt.

Segal et al. (2015) verwenden bei den Frauen unter anderem das Muskelvolumen als Outcome-Parameter, was im Kontext der Studien von Toigo (2015) und Muraki (2015) nicht zwingend notwendig gewesen wäre. Gemäss diesen Autoren korrelieren Muskelkraft und Muskelvolumen der unteren Extremität nur zu einem geringen Teil miteinander. Auch die Aussagekraft der Leistungsfähigkeit (w) in der Studie von Segal et al. (2015) mit Frauen ist bezüglich der Forschungsfrage und der theoretischen Grundlage fragwürdig. Die Autoren nutzten eine hohe Anzahl an Outcomes, gemessen an ihrer Forschungsfrage, was tendenziell zu einem Nachteil für die Interventionsgruppe führt. Im Diskussionsteil wurden jedoch nur die 4 Hauptoutcomes diskutiert. Fraglich ist ob dies auf die fehlenden Signifikanzen oder geringe Validität der leistungsbezogenen Outcomes, in Bezug auf die Forschungsfrage zurück zu führen ist. Dies wurde bei der später angelegten Studie an Männern angepasst, wo sie sich auf die kraft- und schmerzspezifischen Outcomes beschränkten.

In der vorliegenden Arbeit wird lediglich auf die Kraftmodalitäten und den Schmerz Bezug genommen.

Besonders hervorzuheben, ist der Umstand, dass bei Bryk et al. (2016) statt von einem konventionellem HLRT von einem angepassten HLRT gesprochen werden muss. Wichtig ist auch die Tatsache, dass der KOOS nicht ausschliesslich Schmerzen untersucht.

7.4 Dropouts und Fehlinterventionen

In der Studie von Segal et al. (2015) an Frauen, gab es bei den Teilnehmerinnen bei welchen zusätzlich noch ein MRI gemacht wurde, ein Dropout, wobei keine Dropouts einkalkuliert wurden. Dies könnte zu einer verminderten Aussagekraft in der Interventionsgruppe geführt haben, was jedoch aufgrund der schwachen Korrelation mit der Muskelkraft wenig Relevanz für die vorliegende Arbeit hat. Ursache für die fehlende Einberechnung von Dropouts bei diesem Outcome waren womöglich finanzielle Überlegungen. In der gesamten Studie kam es zu fünf Dropouts. Zwei in der Interventionsgruppe und drei in der Kontrollgruppe. Die Autoren haben für diesen Fall eine Dropout Quote von 20% einberechnet. Zudem erhielt eine Person, die in der Interventionsgruppe eingeteilt war bei jedem Training die Kontrollintervention. Die Autoren gehen in der Studie nicht auf die Handhabung in diesem Fall ein. Laut statistischer Berechnung war eine Mindestteilnehmerzahl von 19 Personen pro Gruppe von Nöten. In der Interventionsgruppe befanden sich 19 Teilnehmerinnen, in der Kontrollgruppe waren es 21. Fraglich ist die Handhabung des Spezialfalles in der Interventionsgruppe, da die Gruppe ohne diese Teilnehmerin zu klein ausgefallen wäre. Aus der Flowchart lässt sich interpretieren, dass die intention-to-treat Methode zur Anwendung kam. Es ist unklar weshalb die Autoren diesen Fall nicht diskutieren, denn dies hat möglicherweise zu einer Abschwächung des Effekts der Intervention geführt. Bei der Studie an Männern gab es einen Dropout in der Interventionsgruppe, welcher angegeben und begründet wurde. Ko-Interventionen wurden zwar vermieden, jedoch könnten die unterschiedlichen Freizeitaktivitäten der Teilnehmer die Ergebnisse beeinflusst haben. Bei Bryk et al. (2016) kam es zu keinen Dropouts. Die Kräftigung des MQF war eingebettet in ein physiotherapeutisches Krafttraining für Personen mit GA. Somit sind insbesondere die Veränderungen der Schmerzsymptomatik nicht ausschliesslich auf die Kräftigung des MQF zurückzuführen. Denn gemäss Hackenborch (2002) und Rudorfer (2014) haben auch erhöhte Kraft der Hüftgelenksabduktoren und Kniegelenksflexoren einen schmerzreduzierenden Effekt. Beides wurde im Rahmen der Studie von Bryk et al. (2016) in beiden Gruppen trainiert und muss so als Ko-Intervention angesehen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei Segal et al. (2015) die Ergebnisse ohne die Fehlintervention und die unterschiedlichen Fitnesslevels stärker zugunsten der Interventionsgruppe ausgefallen wären. Bei Bryk et al. (2016) muss die Signifikanz der Ergebnisse bzgl. der Schmerzen aufgrund der Ko-Interventionen relativiert werden.

7.5 Reproduzierbarkeit

Segal et al. (2015) führten in beiden Studien alle Messungen möglichst reliabel durch. Es wurden geblendete, ausgebildete Therapeuten und Therapeutinnen für die Messungen eingesetzt, welche für die Messungen einem standardisierten Motivationsprotokoll folgten, um das bestmögliche Outcome zu generieren. Somit ist bei den Krafttests und bei dem KOOS eine gute Re-Test und Interbeurteiler-Reliabilität zu erwarten. Es ist jedoch nicht klar ersichtlich, wie viele Therapeuten und Therapeutinnen für die Durchführung der Interventionen zuständig waren. Eine Blendung der Therapeuten und Therapeutinnen bei der Intervention war bei diesem Studiendesign nicht möglich, was auch bei Bryk et al. (2016) gilt. Fraglich ist bei allen drei Studien, inwiefern die Teilnehmerinnen und Teilnehmer tatsächlich geblendet waren, da zumindest die Personen in der Kontrollgruppe durch das Fehlen der Druckmanschette bei ihrer Intervention ableiten konnten, dass sie in der Kontrollgruppe sind. Es ist jedoch festzuhalten, dass Segal et al. (2015) in beiden Studien alles unternahmen, um eine Interaktion der Studien Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu verhindern, und einen möglichen Selektionsbias zu kontrollieren.

Bei Bryk et al. (2016) ist davon auszugehen, dass die nicht-geblendeten Therapeutinnen und Therapeuten die Evaluation der anterioren Knieschmerzen während den Übungen übernahmen. Hier bestand die Gefahr des Observerbias, was die Reproduzierbarkeit und die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse vermindert und somit als gewichtigere Kritik angesehen werden muss. Hinsichtlich der Schmerzen wird die differenzierte Schmerzevaluation begründet und kurz den Schmerz aufgrund der Druckmanschette als möglichen Störfaktor diskutiert. Ein möglicher Einfluss wird diesem Umstand jedoch aberkannt. Diese Schlussfolgerung kann angezweifelt werden. Denn durch die BFR verursachte Beschwerden können einen dämpfenden Effekt auf die anterioren Knieschmerzen gehabt und so das Ergebnis massgebend beeinflusst haben. Bei der Beschreibung der Kraftmessungen fehlen Angaben zur

Objektivität, da nicht beschrieben wird, nach welchen Kriterien sich die Messverantwortlichen während den Messungen verhalten haben. Die Konsequenzen werden jedoch durch die Unvoreingenommenheit der Messenden minimiert. Ebenfalls ist nicht klar wer und wie viele Therapeuten die Interventionen leiteten und nach welchen Verhaltensregeln sie vorgegangen sind. Somit ist nicht vollständig nachvollziehbar, inwieweit ein Performancebias hier vermieden wurden. Ausserdem fehlen beim Interventionsprotokoll Angaben zur Pausendauer und dem Bewegungsrhythmus.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass die Studie von Segal et al. (2015) gut reproduzierbar wäre. Bei Bryk et al. (2016) müssen die Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzen während den Übungen aufgrund der fehlenden Blendung der Messenden und aufgrund der BFR als Störfaktor relativiert werden. Ebenfalls schwerwiegend ist das Fehlen der genauen Angabe der Trainingsmethodik, was sowohl die Reproduzierbarkeit, als auch den Praxis-Transfer erschwert.

7.6 Datenbearbeitung

Die Analyse-Verfahren für die Berechnung der einzelnen Outcomes wurden in allen Studien durchgehend erwähnt und entsprachen jeweils dem vorliegenden Skalenniveau. Einzig die Analyse der KOOS-Werte bei Segal et al. (2015), und bei Bryk et al. (2016) die NPRS-Werte, ist zu kritisieren. Sie werden jeweils als intervallskalierte Daten behandelt. So werden sie in Mittelwerten und Standardabweichung angegeben, als normalverteilt betrachtet und dementsprechend werden t-Tests angewendet. Die Daten des KOOS und der NPRS sind jedoch ordinalskaliert und somit sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Insbesondere bei Bryk et al. (2016) limitiert dieser Umstand die Aussagekraft bzgl. des Vorteils des BFRT gegenüber dem HLRT. Vorhandene Tendenzen wären bei Anwendung eines non-parametrischen Verfahrens wahrscheinlich erhalten geblieben, wenn auch zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussagen über deren Ausprägung gemacht werden kann.

Die Höhe der Signifikanzniveaus wurde in keiner der drei Studien begründet, entspricht aber der gängigen Praxis in diesem Forschungsfeld. Bei der Studie an Männern wird im Text zudem von einer signifikanten Verbesserung der

Kniesymptome in der Kontrollgruppe berichtet, was den Angaben in der Tabelle widerspricht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass hinsichtlich der Schmerzsituation nach Ende der Intervention bei Bryk et al. (2016) eine Tendenz zugunsten der Interventionsgruppe ersichtlich ist. Bei Segal et al. (2015) besteht bei den Männern hingegen, wenn überhaupt eine Aussage getroffen werden kann, eine Tendenz zugunsten der Kontrollgruppe. Bei den Frauen in Segal et al. (2015) sind keine Tendenzen erkennbar. Die signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzen während den Übungen bei Bryk et al. (2016) müssen aufgrund des falschen statistischen Verfahrens relativiert werden.

7.7 Limitationen

Die primären Limitationen in den Studien von Segal et al. (2015) sind die kurze Interventionsdauer und das Fehlen der Anpassung des Widerstandes. Es wurden keine Zwischenmessungen durchgeführt wodurch keine Progression des Trainingsgewichtes vorgenommen werden konnte. Die Autoren begründeten dies mit der kurzen Dauer der gesamten Intervention und dem Umstand, dass sie den Effekt der progressiven Anwendung des BFR untersuchen wollten. Die Autoren der Studie mit Männer diskutierten dies als mögliche Ursache für ein Ausbleiben der grösstmöglichen Kraftentwicklung. Die Wahl von optimaler Druckmanschettenbreite, Höhe des angewendeten Druckes, der Anwendungsdauer und des optimalen Trainingsablaufes bedingt weitere Forschung auf dem Gebiet. Die Aussagekraft für Patientinnen und Patienten mit bestehender GA ist wie bereits erwähnt ebenfalls beschränkt. Bei der Studie mit Männern hätten die Autoren weitere Daten erheben können, bspw. das Fitnesslevel der Teilnehmer, um Unterschiede in den Basiswerten zu erörtern. Es ist schwieriger muskuläre Anpassungen festzustellen bei Personen, welche ein hohes Fitnesslevel aufweisen. Zudem könnte das Aktivitätslevel in der Freizeit während der Studie zunehmen. Die Ergebnisse hinsichtlich der Kraft wurden mit der ähnlichen Studie mit Frauen (Segal et al., 2015) verglichen. Die Frauen schienen weniger fit zu sein als die Männer, wodurch sich der Kraftgewinn möglicherweise schneller bemerkbar machte. Zudem sei der BFR-Druck aufgrund des Beinumfangs, der Muskelmasse und des Fettgehaltes individuell anzupassen, um die gewünschte Restriktion zu erhalten. Bei den Männern wurde, so die Autoren,

möglicherweise ein zu geringer Druck angewendet. Auch Bryk et al. (2016) sahen in der fehlenden Anpassung des BFR-druckes und der eingeschränkten Generalisierbarkeit Limitationen ihrer Studie. Zudem erwähnten auch sie die kurze Interventionsdauer und bemängelten die kleine Stichprobengrösse, worin Segal et al. (2015) keine Limitationen sahen.

Inwiefern diese limitierenden Faktoren die eine oder andere Gruppe benachteiligten, ist schwierig abzuschätzen. Es muss weitere Forschung stattfinden, um endgültigere Aussagen treffen zu können.

7.8 Bedeutung der kritischen Würdigung

Die Aussagen, welche basierend auf den oben diskutierten Aspekten getätigt werden können, werden im folgenden Abschnitt aufgelistet.

Diese Aussagen können getroffen werden:

- Bei Frauen mit einem Risiko für GA können mit LLRT unter BFR signifikant grössere Steigerungen bei der isokinetischen und isotonischen Kraft des MQF gegenüber einem normalen LLRT erreicht werden.
- Verglichen mit einem angepassten HLRT können mit einem LLRT unter BFR bei Patientinnen mit GA gleichwertige Ergebnisse betreffend der isometrischen Kraft erzielt werden.
- Bei Frauen mit einem Risiko für GA kommt es durch ein LLRT unter BFR weder zu Verbesserung noch Verschlechterung der Kniesymptomatik.
- Bei Frauen mit GA gibt es keinen Mehrwert des LLRT unter BFR betreffend Schmerzen nach den Interventionen gegenüber einem angepassten HLRT.

Für diese Aussagen bestehen Hinweise:

- LLRT unter BFR führt bei Frauen mit GA zu weniger Schmerzen während der Intervention als ein angepasstes HLRT.

Diese Aussagen können nicht getroffen werden:

- Verglichen mit einem konventionellen HLRT können mit einem LLRT unter BFR bei GA Patientinnen gleichwertige Ergebnisse betreffend der isometrischen Kraft erzielt werden.

Aufgrund der bereits erwähnten Limitationen gibt es bei den Männern keine relevanten Erkenntnisse betreffend den Effekt des LLRT unter BFR auf die Schmerzen, die isotonische und isokinetische Kraft.

8 Praxistransfer

Die Ergebnisse suggerieren, dass ein LLRT unter BFR bei Frauen mit einem Risiko für GA oder bestehender GA für eine Steigerung der Kraft des MQF indiziert sein könnte. Die praktische Umsetzung eines LLRT unter BFR wird jedoch durch Überlegungen zu gesundheitlichen, methodischen und ökonomischen Aspekten erschwert.

Zur sicheren Durchführung eines solchen Trainings müsste vorgängig eine Angiographie unternommen werden, um allfällige, vaskuläre Problematiken ausschliessen zu können. Aufgrund der jetzigen Evidenzlage ist es fraglich, ob der dafür nötige Mehraufwand tatsächlich betrieben würde. Unter den Studien, welche die gesundheitlichen Risiken beurteilen, werden in der Studie von Spranger et al. (2015) Bedenken geäußert bzgl. der Anwendung des LLRT unter BFR bei Personen mit kardiovaskulären Erkrankungen, aber auch bei gesunden Personen. Es ist weitere Forschung nötig, um die Rahmenbedingungen zu klären, unter welchen ein LLRT unter BFR sicher angewendet werden kann (Loenneke, Wilson, Wilson, Pujol & Bemben, 2011). Bis anhin wurden die Sicherheitsaspekte nicht bei Personen mit GA untersucht, was die Frage aufwirft, wie praktikabel ein solches Training in der akuten oder dekompensierten Phase der GA ist, wo Entzündungszeichen resp. chronische Schmerzen und hochgradige Funktionseinschränkungen manifest sind. Schon der Effekt des Trainings auf die Kraft und die Schmerzen bei den Personen in den letztgenannten Phasen war bis jetzt noch nicht Gegenstand der Forschung.

Bei der konkreten Durchführung des LLRT unter BFR bestehen Unklarheiten bzgl. des Bewegungsrhythmus, der Satz- und Wiederholungsanzahl, sowie der Pausendauer. Aus den Studien von Segal et al. (2015) und Spranger et al. (2015) geht hervor, dass der Manschettendruck und die Manschettenbreite individuell angepasst werden müssen, wobei zum jetzigen Zeitpunkt diesbezüglich noch keine Anwendungsprotokolle existieren. Bei der physiotherapeutischen Behandlung von Personen mit GA ist auch zu beachten, dass diese häufig, wie in Kap. 9.2. erwähnt,

eine medikamentöse Behandlung mit Glukokortikoiden erhalten, welche die Belastbarkeit der passiven Strukturen herabsetzen. Ein LLRT unter BFR kann diesen Prozess noch zusätzlich unterhalten, gleichzeitig aber auch das Risiko von belastungsbedingten Traumata verringern, da es eine geringere Belastung für die passiven Strukturen darstellt (Kubo, Komuro, Tanaka, Tsunoda, Sato, Ishii, Kanehisa und Fukunaga, 2006). Deshalb ist es notwendig ein allfälliges LLRT unter BFR in eine umfangreiche Physiotherapie mit unterschiedlichen Interventionen, wie im Kapitel 3.9 bereits erwähnt, einzubetten. Im Zusammenhang mit der Idee der schmerzfreien, aeroben Belastung (Van den Berg, 2011, Nelson et al., 2013, Hackenborch, 2002) wäre die Erforschung eines Gangtrainings unter BFR interessant.

Ein weiterer Umstand, der die Notwendigkeit des LLRT unter BFR relativiert, sind Erkenntnisse aus Studien, welche Widerstandstrainings mit moderaten Intensitäten (50% des 1RM) mit HLRT vergleichen. Bspw. konnten Schoenfeld, Wilson, Lowery und Krieger (2014) in einer Meta-Analyse feststellen, dass moderates Widerstandstraining bis zur muskulären Erschöpfung zu signifikanten Kraftsteigerungen und Hypertrophie führt, wenn auch der Vergleich mit dem HLRT zugunsten des HLRT ausfällt. Schoenfeld (2013) erwähnt die Theorie, dass ein moderates Widerstandstraining bis zur Erschöpfung eine mildere Form von BFRT darstellt, durch Erhöhung des metabolischen Stresses in maximaler Muskelfaserrekrutierung resultiert und so zu Hypertrophie führt. Es stellt sich also die Frage, welchen Effekt ein Widerstandstraining mit moderaten Gewichten ohne BFR auf die Schmerzen und Kraft bei Personen mit GA hat.

Es existieren zurzeit keine Studien, welche den Effekt eines LLRT unter BFR bei postoperativen GA-Patientinnen und -Patienten untersuchen. Jedoch kommen bspw. Tennent, Hylden, Johnson, Burns, Wilken und Owens (2016) zum Schluss, dass ein Widerstandstraining unter BFR bei Personen nach arthroskopischen Knieoperationen unter anderem zu signifikanten Verbesserungen der Kraft und Hypertrophie führt. Wie bereits in Kap. 4.4. erwähnt, stellen auch Scott et al. (2016) positive Effekte eines LLRT unter BFR auf muskuläre Adaptationen bei Athletinnen und Athleten nach VKBR fest. Ob solche Effekte auch bei postoperativen GA-Patientinnen und -Patienten, wie in Kap. 3.9. erwähnt, auftreten, muss noch untersucht werden.

9 Schlussfolgerung

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit kann insofern beantwortet werden, dass ein LLRT unter BFR bei Frauen mit GA zu einer signifikanten Verbesserung der Schmerzsituation führt, wobei ein angepasstes HLRT denselben Effekt hat. Diese Beobachtungen passen zur im Kapitel 3.10 erwähnten Korrelation zwischen Kraftzuwachs und Schmerzsenkung. Es gibt Hinweise, dass ein LLRT unter BFR gegenüber einem angepassten HLRT geringere Schmerzauslösung während der Übung verursacht. Betreffend den Effekt auf die Schmerzen bei Männern mit GA kann die Frage nicht beantwortet werden.

Ein LLRT unter BFR führt bei Frauen mit GA zu signifikant grösseren Steigerungen der isokinetischen und isotonischen Kraft des MQF verglichen mit einem normalen LLRT und zu ähnlich signifikanten Kraftsteigerungen der isometrischen Kraft verglichen mit einem angepassten HLRT. Bei Männern mit GA kann betreffend Kraft keine Aussage getroffen werden.

Es ist weitere Forschung nötig, um die Evidenz für die beobachteten Effekte auf Schmerz und Kraft bei Patientinnen und Patienten mit GA zu stärken und so können die Autoren dieser Arbeit momentan noch keine evidenzbasierte Empfehlung für die Praxis abgeben. Unter anderem auch deshalb, weil noch Unklarheiten bezüglich der konkreten und optimalen Durchführung des LLRT unter BFR bestehen und die Sicherheitsrisiken noch nicht abschliessend geklärt sind.

Literaturverzeichnis

- Arentson-Lantz, EJ., English, KL., Paddon-Jones, D. & Fry, CS. (2016). Fourteen days of bed rest induces a decline in satellite cell content and robust atrophy of skeletal muscle fibers in middle-aged adults. *Journal of applied physiology*, 120, 965-975. doi:10.1152/jappphysiol.00799.2015
- Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft (2008) Arzneiverordnung in der Praxis. Empfehlungen zur Therapie von degenerativen Gelenkerkrankungen. Heruntergeladen von: <http://www.akdae.de/Arzneimitteltherapie/TE/A-Z/PDF/Gelenkerkrankungen.pdf> am 24.10.2016
- Bös, L. & Ellermann, A. (2003) Arthroskopische Diagnostik und Klassifikation von Knorpelschäden, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 6, 181-183, Heruntergeladen von: http://www.physiohelfrich.at/Tipp_November_Arthroskopische_Diagnostik_und_Klassifikation_von_Knorpelschaeden.pdf am 24.10.2016
- Brook, MS., Wilkinson, DJ., Smith, K. & Atherton, PJ. (2016). The metabolic and temporal basis of muscle hypertrophy in response to resistance exercise. *European Journal of Sport Science*, 16, 633-644. doi:10.1080/17461391.2015.1073362
- Bryk, FF., dos Reis, AC., Fingerhut, D., Araujo, T., Schutzer, M., Cury, RDL., Duarte, A., & Fukuda, TY. (2016). Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee surgery sports traumatology arthroscopy*, 24, 1580-1586. doi:10.1007/s00167-016-4064-7
- Buford, TW., Fillingim, RB., Manini, TM., Sibille, KT., Vincent, KR. und Wu, SS. (2015). Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial. *Contemporary Clinical Trials*, 43, 217-222. doi:10.1016/j.cct.2015.06.016
- Bundesamt für Statistik (2014) Ärztliche Behandlung: Arthrose, (rheumatische) Arthritis nach Alter, Geschlecht, Sprachgebiet, Bildungsniveau. Heruntergeladen von: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/krankheiten.assetdetail.250226.html> am 24.10.2016

- Busija, L., Bridgett, L., Williams, SRM., Osborne, RH., Buchbinder, R., March, L. & Fransen, M. (2010), Osteoarthritis, *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 24, 757-768. doi:10.1016/j.berh.2011.11.008
- Esco, M. (2013). Resistance Training for Health and Fitness. *American College of Sports Medicine*. Heruntergeladen von: <https://www.acsm.org/docs/brochures/resistance-training.pdf> am 24.10.2016
- Hackenbroch, MH. (2002). *Arthrosen. Basiswissen, Diagnostik und Therapie*. (S. 10-170). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Iversen, E., Rostad, V. & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*, 5, 115-118. doi:10.1016/j.jshs.2014.12.005
- Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y. & Bembem, MG. (2010). The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 147-155. doi:10.1007/s00421-009-1204-5
- Kellgren, JH. & Lawrence, JS. (1957). Radiological assessment of osteoarthritis, *Annals of the rheumatic diseases*, 16, 494–502.
- Kubo, K., Komuro, T., Tanaka, N., Tsunoda, N., Sato, Y., Ishii, N., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2006). Effects of Low-Load Resistance Training With Vascular Occlusion on the Mechanical Properties of Muscle and Tendon. *Journal of applied biomechanics*, 22, 112-119. doi:10.1123/jab.22.2.112
- Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M. (1998). Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien. Heruntergeladen von: <http://srs-mcmaster.ca/wp-content/uploads/2015/04/Critical-Review-Form-Quantitative-Studies-German.pdf> am 18.02.2017
- Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M. (1998). Anleitungen zum Formular für eine kritische Besprechung quantitativer Studien. Heruntergeladen von: <http://srs-mcmaster.ca/wp-content/uploads/2015/04/Guidelines-for-Critical-Review-Form-Quantitative-Studies-German.pdf> am 18.02.2017

- Li, Y., Su, Y., Chen, S., Zhang, Y., Zhang, Z., Liu, C., Lu, M., Liu, F., Li, S., He, Z., Wang, Y., Sheng, L., Wang, W., Zhan, Z., Wang, X. & Zheng, N. (2016) The effects of resistance exercise in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *clinical rehabilitation*, 30, 947-959. doi:10.1177/0269215515515610039
- Lienhard, K., Lauermann, SP., Schneider, D., Item-Glatthorn, JF., Casartelli, NC., & Maffiuletti, NA. (2013). Validity and reliability of isometric, isokinetic and isoinertial modalities for the assessment of quadriceps muscle strength in patients with total knee arthroplasty: *journal of electromyography and kinesiology*, 23, 1283-1288. doi:10.1016/j.jelekin.2013.09.004
- LoBiondo-Wood, G., & Haber, J. (2005). *Pflegeforschung, Methoden, Bewertung, Anwendung*. München: Urban & Fischer.
- Loenneke, JP., Wilson, GJ. & Wilson, JM. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 1-4. doi:10.1055/s-0029-1239499
- Loenneke, JP., Wilson, JM., Wilson, GJ., Pujol, TJ. & Bemben, MG. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 510–518. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x
- Martin, HJ., Yule, V., Syddall, HE., Dennison, EM., Cooper, C. & Aihie Sayer, A. (2006). Is Hand-Held Dynamometry Useful for the Measurement of Quadriceps Strength in Older People? A Comparison with the Gold Standard Widerx Dynamometry. *Gerontology*, 52, 154-159. doi:10.1159/000091824
- Nakajima, T., Lida, H., Kurano, M., Takano, H., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y., Yamazaki, Y., Kawashima, S., Ohshima, H., Tachibana, S., Ishii, N. & Abe, T. (2008). Hemodynamic responses to simulated weightlessness of 24-h head-down bed rest and KAATSU blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 727-737. doi:10.1007/s00421-008-0834-3

- Nelson, AE., Allen, KD., Golightly, YM., Goode, AP. & Jordan, JM. (2013) A systematic review of recommendations and guidelines for the management of osteoarthritis: The Chronic Osteoarthritis Management Initiative of the U.S. Bone and Joint Initiative. *Seminars in Arthritis & Rheumatism*, 43, 701–712. doi:10.1016/j.semarthrit.2013.11.012
- Richter, DL., Schenck, RC Jr., Wascher, DC. & Treme, G. (2016). Knee Articular Cartilage Repair and Restoration Techniques: A Review of the Literature. *Sports health*, 8, 153-160. doi:10.1177/1941738115611350
- Roos, E., & Lohmander, S. (2003). The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 1, 64. doi:10.1186/1477-7525-1-64
- Ruhdorfer, A., Wirth, W., Hitzl, W., Nevitt, M. & Eckstein, F. (2014). Association of thigh muscle strength with knee symptoms and radiographic disease stage of osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Care Research*, 66, 1344–1353. doi:10.1002/acr.22317
- Salaffi, F., Stancati, A., Silvestri, CA., Ciapetti, A, & Grassi, W. (2004). Minimal clinically important changes in chronic musculoskeletal pain intensity measured on a numerical rating scale. *European journal of pain*, 8, 283-291. doi:10.1016/j.ejppain.2003.09.004
- Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU Training. Heruntergeladen von https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijktr/1/1/1_1_1/_pdf am 06.08.2016
- Schoenfeld, BJ. (2013). Is there a minimum intensity threshold for resistance training-induced hypertrophic adaptations?. *Sports Medicine*, 43, 1279-1288. doi:10.1007/s40279-013-0088-z
- Schoenfeld, BJ., Wilson, JM., Lowery, R. und Krieger, J. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 16, 1-10. doi:10.1080/17461391.2014.989922
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. & Wesker, K. (2014). *Prometheus LernAtlas der Anatomie*. (S. 46-457). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Scott, BR., Loenneke, JP., Slattery, KM. & Dascombe, BJ. (2016). Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19, 360-367. doi:10.1016/j.jsams.2015.04.014
- Segal, NA., Davis, MC. & Mikesky, AE. (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, 160-167. doi:0.1177/2151458515583088
- Segal, NA., Williams, GN., Davis, MC., Wallace, RB. & Mikesky, AE. (2015). Efficacy of Blood Flow-Restricted, Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis. *PM & R*, 7, 376-384. doi:10.1016/j.pmrj.2014.09.014
- Sharma, L. (2015). Osteoarthritis year in review 2015: clinical. *Osteoarthritis and Cartilage*, 24, 36-48. doi:10.1016/j.joca.2015.07.026
- Shimizu, R., Hotta, K., Yamamoto, S., Matsumoto, T., Kamiya, K., Kato, M., Hamazaki, N., Kamekawa, D., Akiyama, A., Kamada, Y., Tanaka, S. & Masuda, T. (2016). Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 749-757. doi:10.1007/s00421-016-3328-8
- Slysz, J., Stultz, J. & Burr, JF. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19, 669-675. doi:10.1016/j.jsams.2015.09.005
- Spranger, MD., Krishnan, AC., Levy, PD., O'Leary, DS. & Smith, SA. (2015). Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 309, 1440-1452. doi:10.1152/ajpheart.00208.2015
- Takarada, Y., Takazawa, H. & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 2035-2039. doi:10.1097/00005768-200012000-00011

- Taniguchi, M., Fukumoto, Y., Kobayashi, M., Kawasaki, T., Maegawa, S., Ibuki, S. & Ichihashi, N. (2015). Quantity and Quality of the Lower Extremity Muscles in Women with Knee Osteoarthritis. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 41, 2567–2574. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2015.05.014
- Tennent, DJ., Hylden, CM., Johnson, AE., Burns, TC., Wilken, JM. & Owens, JG. (2016). Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 0, 1-8. doi:10.1097/JSM.0000000000000377
- Van den Berg, F. (2011). *Angewandte Physiologie 1 Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*. (S. 46-138). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Vechin, FC., Libardi, CA., Conceic, MS., Damas, FR., Lixandra, ME., Berton, RPB., Tricoli, VAA., Roschel, HA., Cavaglieri, CR., Chacon-Mikahil, MPT. & 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, 1071-1076. doi:10.1519/JSC.0000000000000703
- Wieser, S., Tomonaga, Y., Riguzzi, M., Fischer, B., Telser, H., Pletscher, M., Eichler, K., Trost, M. & Schwenkglenks, M. (2014) Die Kosten der nichtübertragbaren Krankheiten in der Schweiz. Heruntergeladen von:
http://www.bag.admin.ch/themen/medizin/00683/index.html?lang=de&download=NHzLZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCMdHx4fWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- am 24.10.16
- Zacher, J. & Gursche, A. (2001) Diagnostik der Arthrose. *Der Orthopäde*, 30, 841-847. doi:10.1007/s001320170020

Abkürzungsverzeichnis

1RM	one-repetition-maximum
ACT	autologe Chondrozytentransplantation
AMIC	autologe, matrix-induzierte Chondrogenese
BFR	blood flow restriction
BFRT	blood flow restricted training
bzw.	beziehungsweise
CINAHL	cumulative index to nursing and allied health literature
COX	Cyclooxygenase
EPR	exercise pressor reflex
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und die übrigen)
G	Geschlecht
GA	Gonarthrose
GH	growth hormon
HHD	Hend Held Dynamometer
HLRT	high-load resistance training
HT	Hypertrophietraining
Kg	Kilogramm
LLRT	low-load resistance training
m	männlich
MEDLINE	medical literature analysis retrieval system online
MF	Microfracturing
mmHG	Millimeter Quecksilbersäule

MQF	M. quadriceps femoris
N	Newton
Nm	Newtonmeter
NSAR	nichtsteroidales Antireumathikum
OCT	osteocondrale Transplantation
PAVK	periphere, arterielle Verschlusskrankheit
PEDro	Physiotherapie Evidenz Datenbank
R	erhöhtes Risiko einer symptomatischen Gonarthrose
RCT	randomized clinical trial
s	siehe
S	symptomatische Gonarthrose
TENS	transkutane, elektrische Nervenstimulation
TUG	timed up and go
VKBR	Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Hauptstudien, eigene Darstellung
- Tabelle 2: nicht verfügbare Studien, eigene Darstellung
- Tabelle 3: Ergebnisse, eigene Darstellung
- Tabelle 4: Datenbank webofscience, eigene Darstellung
- Tabelle 5: Datenbank PEDro, eigene Darstellung
- Tabelle 6: Datenbank COCHRANE, eigene Darstellung
- Tabelle 7: Datenbank MEDLINE, eigene Darstellung
- Tabelle 8: Datenbank PubMed, eigene Darstellung
- Tabelle 9: Datenbank CINAHL, eigene Darstellung

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Röntgenbilder, links: gesundes Knie, rechts: Gonarthrose
Heruntergeladen von http://www.vinzenz-duesseldorf.de/unsere_kliniken/orthopaedie/leistungsspektrum_knie/knie_tep/ am 20.12.2016
- Abbildung 2 Stadien der Arthrose
Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. & Wesker, K. (2014). Prometheus LernAtlas der Anatomie. (S. 49). Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Abbildung 3 Kaatsu Druckmanschette
Heruntergeladen von <https://www.kaatsu-deutschland.de/equipment/> am 20.12.2016

Danksagung

Die Autoren dieser Arbeit bedanken sich herzlich bei Frau E. Wenker für die Unterstützung und engagierte Betreuung beim Erstellen dieser Bachelorarbeit. Des Weiteren möchten sie ihren Familien, Bekannten und Freunden für das zeitintensive Korrekturlesen und die konstruktive Kritik danken.

Eigenständigkeitserklärung

«Wir erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst haben.»



24.04.2017

Datum und handschriftliche Unterschrift Studierende

Deklaration der Wortanzahl

Abstract deutsch: 197 Wörter

Abstract englisch: 194 Wörter

Gesamthft: 11'048 Wörter (ohne Abstract, Tabellen, Grafiken, etc. und deren Beschriftung; ohne Inhalts- und Literaturverzeichnis sowie Eigenständigkeitserklärung, Danksagung, weitere Verzeichnisse und Anhänge)

Anhang

Detallierte Literaturrecherche

Tabelle 4 Datenbank webofscience

Keywords	Suche	Webofscience	
		Resultate	Relevante Studien
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, training, exercise, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	(("blood flow restrict*" OR kaatsu OR occlusion OR ischemic) AND (training OR exercis*) AND (arthr* OR osteoarthr* OR gonarthr*))	184	
	TITLE: (("blood flow restrict*" OR kaatsu OR occlusion OR "vascular occlusion" OR ischemic) AND (training OR exercis*) AND (arthr* OR osteoarthr* OR gonarthr*))	7	3

Tabelle 5 Datenbank PEDro

Keywords	Suche	PEDro	
		Resultate	Relevante Studien
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	„blood flow restrict**“ osteoarthr*/ arthr*/ gonarthr*	2/0/0	2
	occlusion osteoarthr*/ arthr*/ gonarthr*	1/0/0	1
	kaatsu osteoarthr*/ arthr*/ gonarthr*	0/0/0	0
	ischemic osteoarthr*/ arthr*/ gonarthr*	2/2/0	0

Tabelle 6 Datenbank COCHRANE

		<i>COCHRANE</i>	
<i>Keywords</i>	Suche	Resultate	Relevante Studien
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	(("blood flow restrict*" OR kaatsu OR occlusion OR ischemic) AND (training OR exercis*) AND (arthr?is OR osteoarthr* OR gonarthr*)) in Title, Abstract, Keywords	6	2

Tabelle 7 Datenbank MEDLINE

		<i>MEDLINE</i>	
<i>Keywords</i>	Suche	Resultate	Relevante Studien
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	(("blood flow restrict*" or kaatsu or occlusion or ischemic) and (training or exercis*) and (arthr?is or osteoarthr* or gonarthr*)).af. (("blood flow restrict*" or kaatsu or occlusion or ischemic) and (training or exercis*) and (arthr?is or osteoarthr* or gonarthr*)).ti.	19 6	 3

Tabelle 8 Datenbank PubMed

			<i>PubMed</i>	
<i>Keywords</i>	Suche	Resultate	Relevante Studien	
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	((((((blood flow restrict*) OR ischemic) OR occlusion) OR kaatsu) AND (training or exercis*)) AND (arthrosis or arthrosis or osteoarthr* or gonarthr*))	278		
	(((((blood flow restrict*[Title] OR kaatsu[Title] OR ischemic[Title] OR occlusion[Title])) AND (training[Title] OR exercis*[Title])) AND (arthrosis[Title] OR arthrosis[Title] OR osteoarthr*[Title] OR gonarthr*[Title]))	5	3	

Tabelle 9 Datenbank CINAHL

			<i>CINAHL</i>	
<i>Keywords</i>	Suche	Resultate	Relevante Studien	
blood flow restriction, kaatsu, occlusion, ischemic, arthrosis/ -itis, osteoarthrosis/ -itis, gonarthrosis/ -itis	(" <i>blood flow restrict*</i> " or kaatsu or occlusion or ischemic) and (training or exercis*) and (arthr?is or osteoarthr* or gonarthr*)	8	2	

Würdigung

Segal et al. (2015), efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis

Die Relevanz der Erarbeitung einer alternativen Trainingsmethode mit leichteren Gewichten, für Patientinnen mit einem Risiko für GA, wurde in der Studie an Frauen von Segal et al. (2015) plausibel gerechtfertigt. Sie beantwortet somit eine wichtige Frage der heutigen Berufspraxis. An Hand von Fachliteratur wurde der jetzige Forschungsstand erörtert und darauf basierende Hypothesen betreffend der Forschungsfrage definiert.

Das gewählte Studien Design macht auf Grund der Forschungsfrage Sinn, da zwei verschiedene Interventionen, mit Hilfe einer Interventions- und eine Kontrollgruppe, mit einander verglichen werden.

Der Umstand, dass sich alle Teilnehmerinnen freiwillig für die Studie gemeldet haben und die Studie einmalig im September 2011 durchgeführt wurde, könnte zu systematischen Fehlern bei der Stichprobenauswahl geführt haben. Die sonstigen gängigen Bias wurden von den Autoren umgangen.

Die Stichprobengrösse wurde nach statistischen Verfahren berechnet. Hierfür wurden zwei sample size calculations durchgeführt. Eine betreffend der isokinetischen MQF Kraft und die andere betreffend der CSA des MQF. Es ist davon auszugehen, dass für die anderen Outcomes keine grössere Stichprobe von Nöten gewesen wäre, dies wird jedoch in der Studie nicht genauer erwähnt. Die beiden Gruppen wurden mit Hilfe eines Computerprogrammes randomisiert zusammengestellt. Es gab keine Unterschiede bei den Basiswerten, ausser dass die Interventionsgruppe im Durchschnitt einen geringeren BMI aufwies. Dies wurde bei den Auswertungen der Outcomes berücksichtigt und mit statistischen Analyseverfahren ausgeglichen. Die genauen Einschlusskriterien stärkten die interne Validität verunmöglichen jedoch eine Generalisierung der Untersuchungsergebnisse auf Populationen mit anderen Charakteristiken.

Bei den Teilnehmerinnen bei welchen zusätzlich noch ein MRI (CSA) gemacht wurde, gab es einen Dropout, was nicht einkalkuliert wurden. Dies könnte zu einer verminderten Aussagekraft in der Interventionsgruppe geführt haben. Ursache für die

fehlende Dropout Einberechnung bei diesem Outcome waren womöglich finanzielle Überlegungen. In der gesamten Studie kam es zu fünf Dropouts. Zwei in der Interventionsgruppe und drei in der Kontrollgruppe. Die Autoren haben für diesen Fall eine Dropout Quote von 20% einberechnet. Drei gaben Zeitmangel als Grund an, jemand weigerte sich den baseline Leg press Test durchzuführen und eine Person war plötzlich nicht mehr erreichbar. Zudem erhielt eine Person die in der Interventionsgruppe eingeteilt war bei jedem Training die Kontrollintervention. Die Autoren gehen in der Studie nicht auf die Handhabung in diesem Fall ein. Laut statistischer Berechnung war eine mindest Teilnehmerzahl von 19 Personen pro Gruppe von Nöten. Dies war in beiden Gruppen der Fall I (19) K (21). Fraglich ist die Handhabung des Spezialfalles in der Interventionsgruppe. Da die Gruppe ohne diese Teilnehmerin zu klein ausgefallen wäre. Aus der Flowchart lässt sich interpretieren, dass die Intention to treat Methode gewählt haben.

Die Autoren führten alle Messungen möglichst reliabel durch. Es wurden geblendete, Ausgebildete Therapeuten für die Messungen eingesetzt, welche für die Messungen einem standardisierten Motivationsprotokoll folgten, um das bestmögliche Outcome zu generieren. Somit ist bei den Krafttests und bei dem KOOS eine gute Re-Test und interbeurteiler Reliabilität zu erwarten. Die Messinstrumente wurden standardisiert und wiesen eine hohe Reproduzierbarkeit auf. Es wird zwar ein standardisiertes Trainings-und Motivationsprotokoll für die Durchführung der Interventionen verwendet, es ist jedoch nicht klar ersichtlich, wie viele Therapeuten für die Durchführung der Interventionen zuständig waren. Eine Blending der Therapeuten war bei diesem Studiendesign nicht möglich. Fraglich ist auch, inwiefern die Teilnehmerinnen tatsächlich geblendet waren, da zumindest die Teilnehmerinnen in der Kontrollgruppe durch das Fehlen der Druckmanschette bei ihrer Intervention ableiten konnten, dass sie in der Kontrollgruppe sind. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Autoren der Studie alles in ihrer Macht Stehende unternahmen, um eine Interaktion der Studien Teilnehmerinnen zu verhindern.

Betreffend Validität verwendeten die Autoren grundsätzlich die in der Forschung gängigen Messparameter für die Aussagen welche sie treffen wollten. Lediglich die Aussagekraft der Outcomes welche die Leistungsfähigkeit (w) untersuchten, ist bezüglich der Forschungsfrage und der theoretischen Grundlage fragwürdig. Sie

nutzten eine hohe Anzahl an Outcomes, gemessen an ihrer Forschungsfrage, was tendenziell zu einem Nachteil für die Interventionsgruppe führt. Dies wurde bei der später angelegten Studie an Männer angepasst, wo sie sich auf die kraft- und schmerzspezifischen Outcomes beschränkten. Die Datenerhebungsverfahren wurden klar beschrieben. Die Analyse Verfahren für die Berechnung der einzelnen Outcomes wurden durchgehend erwähnt und entsprachen jeweils dem vorliegenden Skalenniveau. Einzig die Analyse der KOOS-Werte ist zu kritisieren. Diese Daten sind ordinalskaliert und somit sind Beschreibung in Mittelwerten und Standardabweichung und deren Vergleich nicht zulässig. Die Höhe des Signifikanzniveaus wurde nicht genauer begründet, entspricht aber der gängigen Praxis in diesem Forschungsfeld.

Alle Teilnehmerinnen wurden über das Studienverfahren aufgeklärt, und es wurde schriftliches Einverständnis eingeholt. Zudem wurden alle Teilnehmerinnen nach potentielle vaskuläre Risiken befragt. Die klinische angiologische Untersuchung durch einen Experten fehlte jedoch. Die ethischen Prinzipien wurden eingehalten, da die Teilnehmer der Kontrollgruppe, die bis anhin standardisierte Intervention erhielten. Ein detailliertes Ethikverfahren wird nicht genauer spezifiziert, es wird lediglich erwähnt, dass die Studie von der Ethikkommission bewilligt wurde.

Die Ergebnisse der Datenerhebung und den entsprechenden Analysen wurden übersichtlich dargestellt und allfällige Signifikanzen erläutert. Tabellen und Grafiken wurden klar Beschriftet.

Wie bereits erwähnt wurden relativ viele Outcomes in die Studie inkludiert. Im Diskussionsteil wurden jedoch nur die 4 Hauptoutcomes diskutiert. Fraglich ist, ob dies auf die fehlenden Signifikanzen oder geringe Validität der leistungsbezogenen Outcomes in Bezug auf die Forschungsfrage zurück zu führen ist. Die Ergebnisse wurden sinngemäss Interpretiert und für fehlende Signifikanzen wurden entsprechende Begründungen erarbeitet, woraus sich die Limitationen der Studie ableiten lassen.

Diese sind primär die kurze Interventionsdauer und das Fehlen der Anpassung des Widerstandes. Es wurden keine Zwischenmessungen durchgeführt wodurch keine Progression des Trainingsgewichtes vorgenommen werden konnte. Die Autoren begründen dies mit der kurzen Dauer der gesamten Intervention und dem Umstand, Monteiro Manuel, Rathgeb Daniel

dass sie den Effekt der progressiven Anwendung des BFR untersuchen wollten. Die Wahl von optimaler Druckmanschettenbreite, Höhe des angewendeten Druckes und der Anwendungsdauer bedingt weitere Forschung auf dem Gebiet. Die Aussagekraft für Patientinnen mit bestehender GA ist wie bereits erwähnt ebenfalls beschränkt

Die Studie präsentiert sich sinnvoll, wobei die Stärken und Schwächen grösstenteils von den Autoren aufgewogen werden. Viele der angebrachten Kritikpunkte wirken sich zu einem Nachteil gegenüber der Interventionsgruppe aus, was für die Resultate der Studie spricht. Sowohl die Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis als auch die Wiederholung der Studie in einem anderen Setting wäre möglich.

Segal et al. (2015), efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training for quadriceps strengthening in men at risk of symptomatic knee osteoarthritis

Die Studie von Segal et al. (2015) geht einer Forschungsfrage nach, welche interessant und relevant ist für die Therapie von Männern mit erhöhtem Risiko einer GA. Die Forschungsfrage ist klar definiert und unter Einbezug anderer Studien in den aktuellen Stand der Forschung nachvollziehbar eingebettet. Die Autoren möchten die Effizienz und Tolerierbarkeit von LLRT unter BFR als Alternative zum konventionellen HLRT evaluieren.

Die Forschungsfrage im Rahmen einer randomisierten, doppelt-geblendeten und kontrollierten Studie zu beantworten ist sinnvoll.

Die Teilnahme an der Studie war freiwillig, wodurch möglicherweise besonders motivierte Männer rekrutiert wurden. Die Studie wurde von November bis Februar durchgeführt, eine Zeit, in der ältere Personen möglicherweise nicht ihr maximales Leistungspotential ausschöpfen können. Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse wird durch die genauen Ein- und Ausschlusskriterien klar, aber gleichzeitig auch stark auf die entsprechende Population limitiert. Es wurden Anstrengungen unternommen, um die Teilnehmer so gut wie möglich zu blenden, um einen möglichen Selektionsbias zu kontrollieren.

Die Stichprobengrösse wurde mit statistischen Verfahren errechnet. Diese Sample-Size-Calculation bezog sich auf den sekundären Outcome-Parameter, was nicht begründet wird. Es könnte sein, dass die minimale Stichprobengrösse für den primären Outcome-Parameter grösser hätte sein müssen. Als sehr positiv zu werten

ist die Einberechnung einer antizipierten Dropout-Rate von 10%, sodass der eine Dropout in der Interventionsgruppe wenig Einfluss auf die Ergebnisse hatte.

Die Gruppenzuteilung wurde korrekt randomisiert. Unglücklicherweise kam es trotzdem zu einem signifikanten Unterschied in der Baseline-isokinetischen Kraft des MQF. Der eine Dropout in der Interventionsgruppen wurde angegeben und begründet.

Die gemessenen Parameter sind bezogen auf die Forschungsfrage sinnvoll gewählt. Jedoch wurde keine Anpassung des 1RM vorgenommen, was die Autoren selbst erwähnen und begründen, aber auch kritisieren, da es evt. nicht zur grösstmöglichen Kraftentwicklung geführt hat. Ausserdem hätten die Autoren weitere Daten erheben können, bspw. das Fitnesslevel der Teilnehmer. Es ist schwieriger muskuläre Anpassungen festzustellen bei Personen, welche ein hohes Fitnesslevel aufweisen. Zudem könnte das Aktivitätslevel in der Freizeit während der Studie zunehmen. Die Messmethoden waren bei allen Teilnehmern die gleichen und die Daten sind komplett.

Die Auswahl der Messinstrumente ist nachvollziehbar und deren Reliabilität und Validität ist gegeben. Die Durchführung der Messungen erfolgte standardisiert für alle Teilnehmer gleich und die Messverantwortlichen waren geblendet, sodass Observerbias vermieden wurden. Es ist nicht klar wer bzw. wie viele Personen die Interventionen durchführten. Die Teilnehmer und die Trainingsgeräte wurden jedoch von den Trainern kontrolliert, um die Einhaltung des Trainingsprotokolls zu gewährleisten. Ko-Interventionen wurden zwar vermieden, jedoch könnten die unterschiedlichen Freizeitaktivitäten der Teilnehmer die Ergebnisse beeinflusst haben.

Die Verfahren der Datenanalyse werden klar beschrieben und die statistischen Tests entsprechend den Datenniveaus angewendet. Einzige Ausnahme ist der KOOS, dessen Werte als intervallskalierte Daten behandelt werden. So werden sie in Mittelwerten und Standardabweichung angegeben, als normalverteilt betrachtet und dementsprechend wird ein 2-sample t-test angewendet. Die Daten des KOOS sind jedoch ordinalskaliert und somit sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Die Höhe des Signifikanzniveaus wird nicht begründet, entspricht aber der gängigen Praxis.

Hinsichtlich ethischen Aspekten holten sich die Autoren eine Bewilligung des IRB ein. Zusätzlich zu den vorgängig gemessenen Vitalzeichen wäre eine Angiographie wünschenswert gewesen.

Zu kritisieren ist die Tatsache, dass die Ergebnisse in Text und Tabelle nicht kongruent präsentiert werden und nicht nachvollziehbar sind. Zudem werden widersprüchliche Aussagen bezüglich der einzelnen Signifikanzen gemacht: Einmal wird kein signifikanter Unterschied in den Baseline Daten gesehen, einmal wird jedoch ein solcher angegeben. Aus der Diskussion kann jedoch geschlossen werden, dass dieser signifikante Unterschied tatsächlich bestand. Zudem wird im Text von einer signifikanten Verbesserung der Schmerzen in der Kontrollgruppe berichtet, was in der Tabelle nicht ersichtlich ist. Tabellen und Grafiken sind klar und vollständig beschriftet und im Text wird darauf verwiesen.

Die Autoren diskutieren insbesondere die Ergebnisse betreffend den primären und sekundären Parameter nachvollziehbar und folgerichtig. Sie suchen nach Erklärungen für die fehlende, signifikante Verbesserung der isokinetischen Kraft des MQF und beziehen sich hierbei auch auf andere Studien. Dabei werden die Dauer des Trainings, Unterschiede in den Mechanismen der beiden Trainingsmethoden, Unterschiede der Fitnesslevel der beiden Gruppen und die fehlenden Anpassungen des BFR-Druckes betrachtet. Zudem werden die Ergebnisse hinsichtlich der Kraft mit der ähnlichen Studie mit Frauen (Segal, 2015) verglichen. Dabei werden mögliche Unterschiede der physischen Fitness zwischen den Frauen und Männern und den BFR-Druck diskutiert. Die Frauen schienen weniger fit zu sein als die Männer, wodurch sich der Kraftgewinn möglicherweise schneller bemerkbar machte. Zudem sei der BFR-Druck aufgrund des Beinumfangs, der Muskelmasse und des Fettgehaltes individuell anzupassen, um die gewünschte Restriktion zu erhalten. Bei den Männern wurde, so die Autoren, möglicherweise ein zu geringer Druck angewendet.

Die Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzen werden nicht diskutiert, sondern lediglich erwähnt. Hier wäre eine Auseinandersetzung mit dem Resultat wünschenswert gewesen.

Die Studie ist sinnvoll aufgesetzt und Stärken und Schwächen werden aufgewogen. Gemäss den Autoren wäre ein LLRT unter BFR als klinische Intervention für die

untersuchte Population anwendbar, sofern andere Trainingsprotokolle die Effizienz des BFRT demonstrierten. Es wäre gut möglich dieselbe Studie in einem anderen klinischen Setting zu wiederholen und die Ergebnisse zu reproduzieren.

Bryk et al. (2016), exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial

Die Studie von Bryk et al. (2016) stellt eine klar definierte Forschungsfrage und Hypothese, die relevant ist für die Therapie von Patientinnen mit GA. Die Forschungsfrage ist in den aktuellen Stand der Forschung eingebettet und nachvollziehbar begründet. Die Autoren versuchen eine Lücke in der Forschung zu füllen und die Effektivität und Tolerierbarkeit einer alternativen Trainingsmethode zu validieren.

Die Forschungsfrage im Rahmen einer randomisierten, kontrollierten Studie zu beantworten war angemessen.

Die Teilnahme an der Studie war freiwillig, wodurch möglicherweise besonders motivierte Frauen rekrutiert wurden. Dies muss möglicherweise für die Generalisierbarkeit der Ergebnisse beachtet werden. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind aber genau beschrieben und basieren auf akzeptierten und nachvollziehbaren Kriterien. Dies schafft Klarheit, auf welche Bevölkerungsgruppe die Ergebnisse womöglich angewendet werden können, limitiert aber auch die Generalisierbarkeit.

Die Gruppenzuteilung wurde nicht optimal randomisiert, da die Stichprobe in zwei gleich grosse Gruppen aufgeteilt wurde und die Zuteilung der einzelnen Teilnehmer nicht mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit erfolgte. Der Einfluss dieses Umstandes im Sinne eines Selektionsbias dürfte aber gering sein. Die Gruppen waren in den Baseline Daten ähnlich und die Stichprobengrösse wurde mit einem statistischen Verfahren in Bezug auf den Schmerz berechnet. Etwas suspekt erscheint die Tatsache, dass nach Ausschluss einiger Teilnehmerinnen genau die benötigte Stichprobengrösse erreicht wurde.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Durchführung der Studie für die Teilnehmerinnen zur selben Zeit stattfand, es fehlen jedoch Angaben dazu. Anzunehmen, dass die Autoren die Interventionsgruppe in leistungsstärkeren

Monaten des Jahres trainierten, wäre unbegründet. Schwerwiegender ist der Umstand, dass keine Angaben zur Blendung der Teilnehmerinnen gemacht werden, wodurch ein möglicher Selektionsbias nicht kontrolliert wird. Es ist davon auszugehen, dass die Interventionsgruppe durch das Anlegen der BFR-Manschetten mehr Aufmerksamkeit der Therapeuten erhielt, was einen motivationsförderlichen Einfluss gehabt haben könnte und somit zu einem Performancebias beiträgt.

Ebenfalls als gewichtigere Kritik anzusehen sind die mangelnden Angaben zur Blendung der Messverantwortlichen und Trainingsdurchführenden. Es ist davon auszugehen, dass die nicht-geblendeten Therapeutinnen/ Therapeuten die Evaluation der anterioren Knieschmerzen während den Übungen übernahmen. Hier besteht die Gefahr des Observerbias. Ebenfalls ist nicht klar wer und wie viele Therapeuten die Interventionen leiteten und nach welchen Verhaltensregeln sie vorgegangen sind. Somit ist nicht vollständig nachvollziehbar, inwiefern ein Performancebias hier vermieden wurden.

Die Outcome-Parameter sind sinnvoll und passend gewählt, wobei die isometrische Kraft v.a. eine Aussage zur Kraft im gemessenen Winkel erlaubt und nur bedingt zur Funktion des MQF. Das 1RM wurde definiert als das maximale Gewicht, welches einmalig, ohne Schmerzen gestemmt werden kann. Dies entspricht nicht der konventionellen Definition. Somit kann nicht die Rede sein von einem konventionellen HLRT. Es wurden von allen Teilnehmerinnen vollständig Daten erhoben. Positiv ist die Tatsache, dass die Autoren für die Schmerzevaluation am Ende der Studie zwischen Schmerzen im Allgemeinen und anterioren Knieschmerzen im Speziellen differenzierten. Während der Intervention hätten jedoch sowohl die anterioren Knieschmerzen als auch die BFR-Schmerzen erfragt werden sollen. Durch die BFR verursachte Beschwerden können einen dämpfenden Effekt auf die anterioren Knieschmerzen gehabt haben und so das Ergebnis massgebend beeinflusst haben.

Die Auswahl an Messinstrumenten ist in Anbetracht der Forschungsfrage gut nachvollziehbar, wenn auch im Text nicht immer begründet. Die relevanten Angaben zur Reliabilität und Validität der Messinstrumente werden geliefert. Es kann darauf vertraut werden, dass die *Messinstrumente* valide und reliabel sind. Zur Durchführung der Messungen ist bereits erwähnt, dass Angaben zur Objektivität

fehlen, da nicht beschrieben wird, nach welchen Kriterien sich die Messverantwortlichen während den Messungen verhalten haben. Die Konsequenzen werden jedoch durch die Unvoreingenommenheit der Messenden minimiert, ausser, wie schon erwähnt, bei den anterioren Knieschmerzen *während* den Übungen.

Die statistischen Verfahren werden klar beschrieben. Es werden jedoch für Lequesne und NPRS t-Tests angewendet, obwohl es ordinalskalierte Daten sind. Da der Abstand zwischen den einzelnen Stufen weder klar definiert noch äquidistant ist, dürfen keine Mittelwerte berechnet und verglichen werden. Dies limitiert die Aussagekraft bzgl. des Vorteils des BFRT gegenüber dem konventionellen Training. Eine mögliche, ähnliche Tendenz bei Anwendung eines nonparametrischen Verfahrens ist nicht auszuschliessen.

Hinsichtlich ethischen Aspekten der Studie holten sich die Autoren die Bewilligung eines Ethik-Komitees und liessen vorgängig eine klinische Massnahme durchführen, um mögliche vaskuläre Risiken auszuschliessen.

Die Ergebnisse werden mangelhaft dargestellt. Einerseits werden Signifikanzen aus den Tabellen allein nicht ersichtlich. Andererseits sind im Text die Resultate bzw. die p-Werte nicht vollständig angegeben. Die Tabellen sind zwar beschriftet, die Legenden jedoch nur unvollständig.

Die Resultate werden diskutiert, wobei der Fokus auf die Schmerzen und den Kraftzuwachs gesetzt wird. Die Ergebnisse zur Funktion via TUG und Lequesne werden nicht konkret angeschaut. Die Auseinandersetzung der Ergebnisse findet jedoch unter Einbezug anderer Studien und Konzepten statt. Sie zeigen, dass andere Studien entweder die Gleichwertigkeit oder aber die Überlegenheit eines LLRT unter BFR hinsichtlich Kraft verglichen mit HLRTs schlussfolgern und dies somit mit den Ergebnissen ihrer Studie übereinstimmt. Diese Übereinstimmung ist nur bedingt vorhanden, da bei Bryk et al. (2016) nicht von einem konventionellen HLRT die Rede sein kann. Die Sicherheit des BFRT wird mit zwei Studien belegt. Die kritische Studie von Spranger et al. (2015) wird jedoch nicht zitiert, was möglicherweise mit den Publikationszeitpunkten zusammenhängt. Hinsichtlich der Schmerzen wird die differenzierte Schmerzevaluation begründet und kurz den Schmerz aufgrund der Druckmanschette als möglichen confounding factor diskutiert.

Ein möglicher Einfluss wird diesem Umstand jedoch aberkannt. Diese Schlussfolgerung kann angezweifelt werden.

Die Studie ist sinnvoll aufgesetzt. Schwächen werden kurz angesprochen, eine tiefere Auseinandersetzung fehlt jedoch. Die Reproduzierbarkeit der Studie ist insofern limitiert, dass nicht klar ist, ob bei den Messungen und den Trainings ein Motivationsprotokoll zur Anwendung kam und wie genau das Trainingsprotokoll ausgesehen hat. Die Umsetzbarkeit des LLRT unter BFR würde sich in der klinischen Praxis als schwierig erweisen, da es eine vorgängige Angiographie benötigt, Sicherheitsbedenken nicht abschliessend geklärt sind, ein konkretes Trainingsprotokoll fehlt und noch Unklarheiten bzgl. der Anwendung der BFR bestehen.