

Blood flow restriction training nach Operationen am Kniegelenk

Einfluss des low-load resistance trainings unter blood flow
restriction auf die Muskelkraft und Muskelmasse des
Quadriceps

Gerber Fabienne



Hosp Sofie



Departement: Gesundheit

Institut für Physiotherapie

Studienjahr: 2020

Eingereicht am: 26.04.2023

Begleitende Lehrperson: Julia Suter

**Bachelorarbeit
Physiotherapie**

Inhalt

Abstract	5
1 Einleitung.....	7
1.1 Zielsetzung	8
1.2 Fragestellung.....	8
2 Theoretischer Hintergrund.....	9
2.1 Quadriceps	9
2.1.1 Anatomie.....	9
2.1.2 Funktion	9
2.2 Muskelphysiologie	10
2.2.1 Muskelhistologie	10
2.2.2 Muskelfasertypen.....	11
2.2.3 Energiebereitstellung	11
2.3 Postoperative Situation.....	12
2.3.1 Wundheilung.....	12
2.3.2 Postoperative Atrophieprozesse	13
2.3.3 Folgen einer Atrophie.....	13
2.4 Trainingsphysiologie.....	14
2.4.1 Trainingsformen	14
2.4.2 Physiologische Wirkungsweise	15
2.5 Blood flow restriction training.....	17
2.5.1 Anwendung	17
2.5.2 Physiologische Wirkungsweise	19
2.5.3 Nebenwirkungen und Risiken	20
2.6 Messmethoden	21
2.6.1 Kraftmessung.....	21
2.6.2 Funktionelle Kraftmessung	22
2.6.3 Messung der Muskelmasse	23
2.6.4 Beeinflussende Faktoren	23
3 Methodik.....	24
3.1 Keywords.....	24
3.2 Suchstrategie	25

3.3	Ein- und Ausschlusskriterien	26
3.4	Selektionsstrategie	27
3.5	Instrumente zur kritischen Würdigung	29
4	Resultate	30
4.1	Hughes et al. (2019)	30
4.1.1	Zusammenfassung	30
4.1.2	Kritische Würdigung	32
4.2	Iversen et al. (2016)	34
4.2.1	Zusammenfassung	34
4.2.2	Kritische Würdigung	35
4.3	Mason et al. (2021)	36
4.3.1	Zusammenfassung	36
4.3.2	Kritische Würdigung	39
4.4	Tennent et al. (2017)	40
4.4.1	Zusammenfassung	40
4.4.2	Kritische Würdigung	42
4.5	Qualitätsvergleich der Studien	44
4.6	Übersicht inkludierte Studien	45
5	Diskussion	47
5.1	Gegenüberstellung der Ergebnisse	47
5.1.1	Muskelkraft	48
5.1.2	Muskelmasse	49
5.1.3	Beeinflussende Faktoren	50
5.2	Gegenüberstellung der Stichprobe	51
5.2.1	Stichprobengröße	51
5.2.2	Alter der Teilnehmenden	51
5.2.3	Ein- und Ausschlusskriterien	51
5.3	Gegenüberstellung der Intervention	52
5.3.1	Startzeitpunkt	52
5.3.2	Trainingsfrequenz und Interventionsdauer	53
5.3.3	Übungen und Intensität	54
5.3.4	BFR-Stimulus	56

5.4	Gegenüberstellung der Messmethoden.....	57
5.4.1	Messinstrumente.....	57
5.4.2	Messzeitpunkte	59
6	Schlussfolgerung	60
6.1	Beantwortung der Fragestellung	60
6.2	Praxistransfer	61
6.3	Limitationen	62
6.4	Weiterführende Forschungsfragen	62
	Literaturverzeichnis	63
	Tabellenverzeichnis	75
	Abbildungsverzeichnis	75
	Abkürzungsverzeichnis.....	76
	Glossar	77
	Deklaration Wortzahl	79
	Danksagung	79
	Eigenständigkeitserklärung.....	79
	Anhang	80
	Search history	80
	Letts & Law	89
	PEDro	105

Anmerkung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit physiotherapeutischen Themengebieten auseinander. Für Fachbegriffe, welche bei der Erstnennung mit einem Asterisk (*) versehen sind, befindet sich eine Definition im Glossar. Ebenfalls im Anhang ist ein Verzeichnis über die in der Arbeit verwendeten Abkürzungen zu finden.

Abstract

Hintergrund: Eine Atrophie des Quadriceps stellt eine häufige Folge von Knieoperationen dar. Ein klassisches high-load resistance training für den Muskelaufbau ist postoperativ aufgrund der Wundheilung kontraindiziert, weshalb die Atrophie weiter fortschreitet. Mit einem Training unter blood flow restriction können Hypertrophiereize bereits bei geringerer Belastung erzielt werden.

Ziel: In dieser Arbeit wird die Wirkung eines low-load resistance trainings unter blood flow restriction nach Knieoperationen auf die Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps thematisiert. Abschliessend soll eine Empfehlung bezüglich der postoperativen Einsetzbarkeit des Trainings unter blood flow restriction abgegeben werden.

Methode: Anhand einer systematischen Literaturrecherche in gesundheitspezifischen Datenbanken wurden vier relevante Studien identifiziert. Diese wurden analysiert und anhand der Systematiken Letts & Law und PEDro kritisch gewürdigt.

Resultate: Drei Studien zeigten eine signifikante Zunahme der Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps durch ein low-load resistance training unter blood flow restriction. Die Veränderungen fielen jeweils in mindestens einem Outcomeparameter besser aus als in der Kontrollgruppe. Eine Studie konnte keinen Effekt des blood flow restriction trainings nachweisen.

Schlussfolgerung: Das low-load resistance training unter blood flow restriction sollte vermehrt als alternative Trainingsmethode in der frühen Rehabilitation nach Knieoperationen in Betracht gezogen werden. Es bedarf weiterer Forschung, um klare Empfehlungen bezüglich der Interventionsparameter abgeben zu können.

Keywords

Blutflussrestriktion, Knieoperationen, postoperativ, Atrophie, Quadriceps

Abstract

Background: Muscle atrophy in the quadriceps is a common consequence of knee surgeries. Postsurgical, hypertrophy training with high loads is usually not possible, resulting in ongoing muscle loss. Blood flow restriction training is a method, where hypertrophic adaptations are possible whilst using lower loads.

Purpose: This thesis is discussing the postsurgical effects of blood flow restriction combined with low-load resistance training on quadriceps strength and muscle mass. The purpose of this thesis is to make a recommendation regarding postsurgical applicability of blood flow restriction training.

Methods: Four relevant studies were identified by a systematic literature research in health-specific databases. Letts & Law and PEDro were used to perform a critical appraisal of all studies.

Results: Three studies demonstrated significant increases in quadriceps muscle strength and muscle mass with low-load resistance training combined with blood flow restriction. At least one outcome parameter per study showed better results than the control group. One study couldn't demonstrate any effect of blood flow restriction training.

Conclusion: Low-load resistance training combined with blood flow restriction should be considered as an alternative training method in early rehabilitation after knee surgery. Further research is needed to make strong recommendations regarding intervention parameters.

Keywords

blood flow restriction, knee surgery, postoperative, atrophy, quadriceps

1 Einleitung

Das Kniegelenk stellt das grösste Gelenk im menschlichen Körper dar und hat eine essentielle Funktion im täglichen Leben (Karpiński et al., 2019). Es ist eines der anfälligsten Gelenke für Verletzungen und degenerative Veränderungen und dementsprechend häufig von Operationen betroffen (Karpiński et al., 2019). Nach einer Operation am Kniegelenk muss die Extremität oft entlastet werden, was zu fehlenden Belastungsreizen in der Muskulatur führt. Deshalb entwickeln viele Patienten und Patientinnen eine Atrophie der Oberschenkelmuskulatur (Akima & Furukawa, 2005; Cruz-Martínez et al., 2000). Dabei ist der Quadriceps stärker betroffen als die ischiocrurale Muskulatur (Kilroe et al., 2020). Gerber et al. (2009) zeigten auf, dass der Quadriceps drei Wochen nach einer Kreuzbandrekonstruktion bereits 25-33% an Volumen verloren hatte.

Die Wiederherstellung der ursprünglichen Muskelmasse und Muskelkraft des Quadriceps ist ein wichtiges Ziel in der physiotherapeutischen Rehabilitation nach Eingriffen am Kniegelenk. Bleiben chronische Atrophien des Quadriceps bestehen, kann dies zum Auftreten von Schmerzsyndromen (Glass et al., 2013) oder sogar zu degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels führen (Chin et al., 2019). Um Muskelwachstum zu generieren, muss ein adäquater Wachstumsreiz im Muskel gesetzt werden. Dies bedingt ein Krafttraining mit relativ hohen Gewichten, was als high-load resistance training (HL-RT) definiert wird (Schoenfeld, 2010). Ein HL-RT ist für Patienten und Patientinnen in den ersten Wochen nach einer Operation aufgrund von Schmerzen oder Belastungslimiten jedoch oft noch nicht möglich oder sogar kontraindiziert (Wilkinson et al., 2019).

Das blood flow restriction training (BFRT) stellt eine alternative Methode des Krafttrainings dar. Dabei kann bereits bei einem Training mit geringeren Gewichten, einem sogenannten low-load resistance training (LL-RT), ein Wachstumsreiz im Muskel generiert werden (Loenneke & Pujol, 2009). Beim BFRT werden Kräftigungsübungen im low-load Bereich ausgeführt, während mit einer Manschette die Blutzufuhr in den zu trainierenden Muskel vermindert und der Blutabfluss blockiert wird (Scott et al., 2015). In einer gesunden Population konnten durch ein solches LL-RT unter blood flow restriction (BFR) ähnliche Veränderungen der

Muskelmasse erreicht werden wie durch ein konventionelles HL-RT (Lixandrão et al., 2018). Die Anwendung und Effektivität des BFRT im postoperativen Setting wird seit den 2000er Jahren laufend erforscht. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch keine abschliessende Aussage zu finden, welchen Einfluss das BFRT nach Operationen am Kniegelenk auf die Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps hat und ob das BFRT künftig in den Rehabilitationsprozess nach Knieoperationen integriert werden kann und soll. Die Anwendung von BFRT in der Physiotherapie während der frühen postoperativen Phase könnte möglicherweise dazu beitragen, den zuvor beschriebenen Atrophieprozess des Quadriceps zu minimieren, ohne dabei die heilenden Strukturen zu überlasten (Lorenz et al., 2021).

1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, inwiefern man mit der Anwendung eines LL-RT unter BFR nach Operationen am Kniegelenk Einfluss auf die Muskelkraft und die Muskelmasse des Quadriceps nehmen kann. Die aktuellen Forschungsergebnisse sollen dargestellt werden, um eine evidenzbasierte Empfehlung für die Praxis ableiten zu können.

1.2 Fragestellung

Welchen Einfluss hat die Anwendung eines low-load resistance trainings unter blood flow restriction nach einer Operation am Kniegelenk auf die Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps?

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden die Grundlagen erarbeitet, die für das Verständnis dieser Arbeit benötigt werden. Zuerst wird auf grundlegende Aspekte des Quadricepsmuskels sowie der Muskelphysiologie eingegangen. Anschliessend wird die postoperative Situation und die Problematik der Atrophie aufgezeigt. Es folgen Erläuterungen zur Trainingsphysiologie und zum Training unter blood flow restriction. Abschliessend werden die Messmethoden beschrieben, die in den analysierten Studien angewendet wurden.

2.1 Quadriceps

Der Quadriceps ist der einzige Extensor des Kniegelenkes und liegt ventral am Oberschenkel (Schünke et al., 2018).

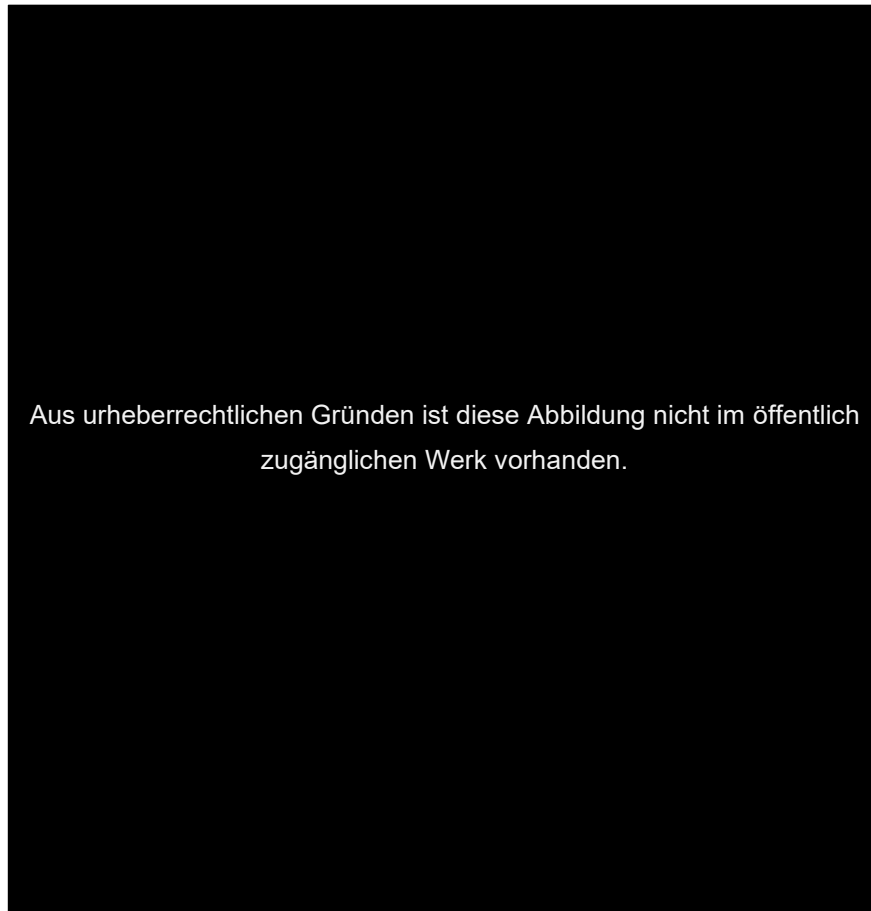
2.1.1 Anatomie

Der Muskel wird in vier Köpfe unterteilt, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist. Der Musculus (M.) rectus femoris ist der mittlere Kopf und liegt über dem M. vastus intermedius, die M. vasti medialis und lateralis liegen medial und lateral des M. rectus femoris (Schünke et al., 2018). Der M. rectus femoris hat als einziger Kopf seinen Ursprung am Beckenknochen, die restlichen drei Köpfe entspringen am Femurschaft (Schünke et al., 2018). Die Sehnen aller vier Köpfe vereinigen sich an der Patellabasis und ziehen als Ligamentum patellae weiter zur Tuberositas tibiae am ventralen Unterschenkel (Schünke et al., 2018).

2.1.2 Funktion

Alle vier Köpfe des Quadriceps bewirken eine Extension des Kniegelenks. Der M. rectus femoris hat aufgrund seines Ansatzes zusätzlich eine Funktion als Hüftflexor (Schünke et al., 2018). Der Quadriceps ist essentiell für die Ausführung vieler grundlegender Tätigkeiten im Alltag wie dem Aufstehen, Gehen oder Treppen steigen (Schünke et al., 2018). Ausserdem sichert der Quadriceps zusammen mit verschiedenen Ligamenten und weiteren Muskeln die funktionelle Stabilität des Kniegelenks (Keays et al., 2003).

Abbildung 1: *Quadricepsmuskel in der Ansicht von ventral, auf der rechten Seite nach Entfernung des M. rectus femoris und M. sartorius*



Anmerkung: aus Schünke et al. (2018), S.489

2.2 Muskelphysiologie

Das Skelettmuskelgewebe ist das häufigste Gewebe im Körper (Van den Berg, 2016). Es ermöglicht Haltung und Bewegung und schützt das Skelett vor Krafteinwirkungen, indem es Kräfte verteilt und Stöße absorbiert (Van den Berg, 2016).

2.2.1 Muskelhistologie

Ein Muskel wird von vielen Muskelfaserbündeln gebildet (Van den Berg, 2016). Ein Muskelfaserbündel besteht aus vielen Muskelfasern, welche wiederum aus Myofibrillen zusammengesetzt sind. Die Myofibrille wird von vielen Sarkomeren gebildet, welche aus Strukturproteinen bestehen und eine Kontraktion des Muskels auslösen können (Van den Berg, 2016).

Die Sarkomere unterliegen einem ständigen Auf- und Abbauprozess von Proteinen, was als Proteinsynthese und Proteinabbau bezeichnet wird (Gustafsson et al., 2010). Beide Prozesse finden in den Zellkernen statt, wobei je nach Situation ein Prozess dominiert (Schiaffino et al., 2013). Nebst den Zellkernen sind auch Satellitenzellen im Muskelgewebe vertreten. Diese teilen sich bei muskulärer Arbeit, Zellstress* oder Sarkomerrissen und ersetzen oder ergänzen das ursprüngliche Muskelgewebe (Tegtbur et al., 2009). Sie wandeln sich zu Zellkernen um und ermöglichen damit deren Vermehrung. Eine erhöhte Anzahl an Zellkernen ermöglicht wiederum eine erhöhte Proteinsynthese oder einen erhöhten Proteinabbau (Allen et al., 1999).

2.2.2 Muskelfasertypen

Ein Muskel besteht aus verschiedenen Muskelfasertypen (Van den Berg, 2016). Je nachdem, ob der Muskel eher statisch oder dynamisch arbeitet, dominiert ein Fasertyp. Muskelfasern vom Typ I können nur wenig Kraft generieren und ermüden langsam, sind daher eher in statisch arbeitenden Muskeln vertreten. Muskelfasern vom Typ II können mehr Kraft ausüben, ermüden jedoch schneller und sind daher eher in dynamisch arbeitenden Muskeln auffindbar (Van den Berg, 2016).

Die Rekrutierung der verschiedenen Muskelfasern erfolgt nach dem Grössenordnungsprinzip (Van den Berg, 2016). Bei geringer Belastung werden Muskelfasern des Typ I aktiviert. Nimmt die Belastung zu, werden auch Muskelfasern vom Typ II rekrutiert (Van den Berg, 2016).

2.2.3 Energiebereitstellung

Damit ein Muskel seine Funktionen ausführen kann, ist er auf eine ständige Zufuhr von Energie in Form von ATP*-Molekülen angewiesen (Van den Berg, 2016). Es können zwei ATP generierende Systeme im Muskel unterschieden werden: das anaerobe und das aerobe System (Gastin, 2001). In beiden Systemen erfolgt die Zerlegung von Nährstoffen, hauptsächlich Glukose*, wobei Energie zur Bildung von ATP-Molekülen frei wird (Kenney et al., 2021). Das anaerobe System kann ATP generieren, ohne dass die Zelle dazu Sauerstoff benötigt. Jedoch fällt als Nebenprodukt Laktat* an, welches sich im Muskel ansammelt, sobald es nicht genügend schnell über die Venen abtransportiert wird (Kenney et al., 2021). Im

aeroben System fällt kaum Laktat an, es ist jedoch zur ATP-Generierung auf Sauerstoff angewiesen (Kenney et al., 2021).

Zur Energiebereitstellung im Muskel sind immer beide Systeme aktiv, jedoch dominiert zu Beginn von intensiver Muskelarbeit das anaerobe System und bei andauernden Belastungen das aerobe System (Gastin, 2001). Das anaerobe System kann sehr schnell ATP generieren, erschöpft aber ebenso schnell, sobald zu viel Laktat im Muskel anfällt (Kenney et al., 2021). Das aerobe System kann über einen längeren Zeitraum ATP generieren (Gastin, 2001). Es ermüdet erst, wenn dem Muskel nicht mehr ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht aufgrund einer Erschöpfung des respiratorischen* oder kardiovaskulären* Systems (Kenney et al., 2021). Muskelfasern des Typ I haben eine grosse Kapazität des aeroben Systems, weshalb sie langsamer ermüden als Muskelfasern des Typ II (Kenney et al., 2021). Kommt es zur Ermüdung der Energiesysteme, wird kein ATP für die Muskelkontraktion mehr generiert und es kommt zum Muskelversagen (Wan et al., 2017), was man auch als Ausbelastung bezeichnet.

2.3 Postoperative Situation

Nach einer Operation muss bei der physiotherapeutischen Trainingsgestaltung die Wundheilung und deren Auswirkungen auf die Belastbarkeit des Gewebes berücksichtigt werden.

2.3.1 Wundheilung

Die Entzündungsphase dauert von der Verletzung oder Operation bis zum circa fünften Tag und wird primär von den Entzündungszeichen wie Schmerz oder Schwellung dominiert (Van den Berg, 2016). Verletztes Gewebe wird in dieser Zeit abgebaut und die Wundränder werden zusammengezogen. Aufgrund der vorherrschenden Entzündungssituation sollte mechanische Belastung nur sehr vorsichtig angewendet werden (Van den Berg, 2016). Die Durchführung eines Krafttrainings ist deshalb kontraindiziert (Haas & Fox, 2005). Zur Förderung der neuronalen Ansteuerung der Muskulatur, welche durch die Entzündungszeichen wie Schmerz und Schwellung inhibiert wird (Keller & Engelhardt, 2017), können

unbelastete isometrische* Anspannungsübungen durchgeführt werden (Welsink & Schuhmacher, 2002).

Die Proliferationsphase dauert vom 5.-21.Tag (Van den Berg, 2016). In dieser Phase dominiert der Aufbau von neuem, empfindlichem Bindegewebe. Moderate Belastungsreize sind wichtig, damit das Bindegewebe in funktioneller Richtung angelegt wird. Die Belastbarkeit des betroffenen Gewebes ist jedoch immer noch reduziert (Van den Berg, 2016). Dementsprechend liegt der Trainingsfokus weiter in der Ansteuerung der Muskulatur, zudem kann mit einem Krafttraining im low-load Bereich (s. Kapitel 2.4.1) gestartet werden (Welsink & Schuhmacher, 2002).

In der Remodellierungsphase wird ab dem 21.Tag nach der Operation das empfindliche Gewebe umgebaut und gewinnt vor allem bis zum 60.Tag zunehmend an Stabilität und Belastbarkeit (Van den Berg, 2016). Folglich kann auch die Belastung im Krafttraining zunehmend intensiviert werden (Haas & Fox, 2005), der Start mit einem Training im high-load Bereich (s. Kapitel 2.4.1) ist indiziert. Die Umbauprozesse der Remodellierungsphase und somit die Wundheilung sind ungefähr nach einem Jahr abgeschlossen (Van den Berg, 2016).

2.3.2 Postoperative Atrophieprozesse

Nach einer Operation wird aufgrund der Wundheilungsprozesse und zum Schutz der operierten Struktur oftmals eine Teilbelastung verordnet. Dies führt zu verminderten Belastungsreizen in der Muskulatur der Extremität, was in einer Atrophie resultiert (Van den Berg, 2016). Reduzierte Belastungsreize führen bereits nach wenigen Tagen zu einer Abnahme der Satellitenzellaktivität, der Anzahl an Zellkernen und der Proteinsynthese (Tegtbur et al., 2009). Die reduzierte Proteinsynthese zeigt sich in einer Verschmälerung der Muskelfasern und langfristig in einer Reduktion der Sarkomere (Huch & Jürgens, 2019), was in einer Verkleinerung des Muskelfaserquerschnitts resultiert (Van den Berg, 2016). Alle Muskelfasertypen sind von der Atrophie betroffen, Typ I jedoch am stärksten (Keller & Engelhardt, 2013).

2.3.3 Folgen einer Atrophie

Die Wiederherstellung der ursprünglichen Muskelmasse und folglich der Muskelkraft ist ein wichtiges Ziel in der physiotherapeutischen Rehabilitation, damit Alltags- und Sportaktivitäten wieder ausgeführt werden können. Chronische Atrophien sollen

aufgrund der langfristigen Folgen vermieden werden. Wenn der Quadriceps aufgrund einer Atrophie seine Stabilisierungsfunktion nur noch begrenzt ausführen kann, kommt es verstärkt zu Knieschmerzen (Glass et al., 2013). Eine chronisch verminderte Kraft im Quadriceps kann zu Knorpelschäden (Chin et al., 2019) und damit zu degenerativen Erkrankungen wie Arthrose im Kniegelenk führen. Eine langfristig reduzierte Muskelmasse kann auch zu einer Verminderung der Alltagsaktivität führen, was einen zentralen Risikofaktor für chronische Krankheiten, unter anderem kardiovaskuläre Beeinträchtigungen, darstellt (Shen et al., 2018).

2.4 Trainingsphysiologie

Die entstandene Atrophie nach Operationen kann durch körperliche Aktivität und Kräftigungsübungen behoben werden (Van den Berg, 2016). Durch ein Krafttraining kann der Muskelquerschnitt vergrössert werden, welcher mit der Maximalkraft korreliert (Folland & Williams, 2007). Beim Training können multiple Faktoren wie das verwendete Gewicht und die Anzahl an Wiederholungen und Sets einer Übung unterschiedlich miteinander kombiniert werden. Je nach Trainingsform stehen unterschiedliche Wirkungsweisen und Effekte im Vordergrund (Gavanda & Isenmann, 2021). Die für diese Arbeit wichtigen Trainingsmethoden werden im Folgenden vorgestellt.

2.4.1 Trainingsformen

Low-load resistance training

Das low-load resistance training (LL-RT) zeichnet sich durch Belastungsintensitäten unter 50% des one repetition maximum (1RM*) aus (Radlinger et al., 1998).

Entsprechend dem Grössenordnungsprinzip werden bei dieser Belastungsintensität mehrheitlich Typ I Fasern rekrutiert (Spring et al., 2005). Die Energiebereitstellung läuft primär über das aerobe System (Spring et al., 2005). Verschiedene Parameter werden beeinflusst, beispielsweise die Tonisierung und die Koordination der Muskulatur (Radlinger et al., 1998). Je nach Trainingszustand des Trainierenden werden pro Übung 10-25 Wiederholungen über mehrere Sets durchgeführt (American College of Sports Medicine, 2009).

Während ältere Literatur Hypertrophieeffekte erst bei höheren Belastungen beschreibt, zeigen neuere Studien auch im tieferen Belastungsbereich einen geringen Muskelzuwachs (Lasevicius et al., 2022). Um bei LL-RT einen Muskelzuwachs zu generieren, muss jedoch jeder Satz zur Ausbelastung im Muskel führen, wodurch Typ II Fasern rekrutiert werden (Lasevicius et al., 2022). Aufgrund des niedrigen Gewichts erfordert dies eine hohe Anzahl an Wiederholungen. Die erzielten Hypertrophieeffekte sind deutlich weniger ausgeprägt als bei höheren Belastungsintensitäten (Lasevicius et al., 2022).

High-load resistance training

High-load resistance training (HL-RT) ist durch Belastungen im Bereich von circa 70% des 1RM oder mehr gekennzeichnet (Radlinger et al., 1998). Beim HL-RT werden zusätzlich zu Typ I Fasern auch Typ II Fasern rekrutiert (Spring et al., 2005). Die Energiebereitstellung läuft primär über das anaerobe System (Spring et al., 2005). HL-RT hat einen spezifischen Effekt auf die Kraft und wird mit dem Ziel einer Muskelhypertrophie angewendet (Radlinger et al., 1998). Lasevicius et al. (2022) zeigten, dass bei HL-RT keine Ausbelastung nötig ist, um einen Hypertrophieeffekt zu erreichen. Das American College of Sports Medicine (2009) empfiehlt pro Übung 8-12 Wiederholungen während 1-3 Sets mit einer Belastung von 70-85% des 1RM.

2.4.2 Physiologische Wirkungsweise

Hypertrophe Anpassungen

Hypertrophie beschreibt den Prozess vom Hinzufügen von Sarkomeren in eine Muskelfaser (Schoenfeld, 2010). Dies kann parallel oder seriell geschehen, wodurch entsprechend entweder der Muskelquerschnitt oder die Muskelfaserlänge beeinflusst wird. Hyperplasie, das Erstellen von neuen Muskelfasern, ist hingegen stark umstritten (Schoenfeld, 2010). Hypertrophe Anpassungen können durch drei Mechanismen initiiert werden: mechanische Spannung, metabolischen Stress und Mikroschädigungen.

Mechanische Spannung

Mechanische Spannung beschreibt die Spannung im Muskel, welche proportional zum tragenden Gewicht auftritt. Die Muskelsensoren reagieren auf die Intensität und Dauer der mechanischen Beanspruchung (Schoenfeld, 2010). Durch diese

Spannung wird der Prozess der Mechanotransduktion gefördert, wobei zelluläre und molekulare Signalkaskaden ausgelöst werden (Gonzalez et al., 2016). Folglich kommt es zu einer Stimulation der Proteinsynthese und damit zu Muskelwachstum (Gonzalez et al., 2016). Bei hoher mechanischer Spannung werden Typ II Muskelfasern aktiviert, welche generell empfindlicher auf Hypertrophiereize reagieren als Typ I Muskelfasern (Schoenfeld, 2010). Das Prinzip der mechanischen Spannung wirkt aufgrund der hohen Gewichte vor allem bei HL-RT (Gavanda & Isenmann, 2021).

Metabolischer Stress

Metabolischer Stress ist laut Schoenfeld (2013) durch die Anhäufung von Metaboliten* in den Zellen gekennzeichnet. Dabei spielt vor allem die Anhäufung von Laktat eine Rolle. Dadurch kommt es zur Ausschüttung von Wachstumshormonen (Schoenfeld, 2013) und durch osmotische* Prozesse zu einem Anschwellen der Muskelzelle (Pearson & Hussain, 2015). Die Wachstumshormone (Schoenfeld, 2013) und die Zellschwellung (Schoenfeld & Contreras, 2014) führen zu einer Aktivierung von Satellitenzellen und einer gesteigerten Proteinsynthese, wodurch Hypertrophie entsteht. Das Prinzip des metabolischen Stresses wirkt aufgrund der längeren Belastungsdauer vor allem bei LL-RT (Gavanda & Isenmann, 2021).

Mikroschädigungen

Durch ein Training ausgelöste Mikroschädigungen der Muskulatur treten vor allem bei ungewohnten Belastungen auf und sind demnach vom Trainingszustand des Trainierenden abhängig (Schoenfeld, 2010). Speziell sind die Muskelfasern des Typ II betroffen. Die Mikroschädigungen im Muskel lösen eine Entzündungsreaktion aus, wodurch Satellitenzellen aktiviert und die Muskelregeneration und Hypertrophie initiiert wird (Liu et al., 2007).

2.5 Blood flow restriction training

Das blood flow restriction training (BFRT) stellt eine alternative Methode des Krafttrainings dar. Dabei wird während Kräftigungsübungen eine Druckmanschette proximal des zu trainierenden Muskels angelegt (Scott et al., 2015). Dadurch wird die Blutzufuhr in den Muskel reduziert und der Blutabfluss blockiert (Lorenz et al., 2021). Das Prinzip des BFRT ist zurückzuführen auf das KAATSU Training, das in den 1960er Jahren vom Japaner Dr. Yoshiaki Sato entwickelt wurde (Sato, 2005). Die Trainingsmethode gewinnt zunehmend an Popularität, da Veränderungen der Muskelkraft und Muskelmasse bereits bei der Verwendung von Gewichten im low-load Bereich zu beobachten sind (Scott et al., 2015). Damit stellt das BFRT eine vielversprechende Intervention für alle Patienten und Patientinnen dar, für die HL-RT nicht möglich ist (Scott et al., 2015).

2.5.1 Anwendung

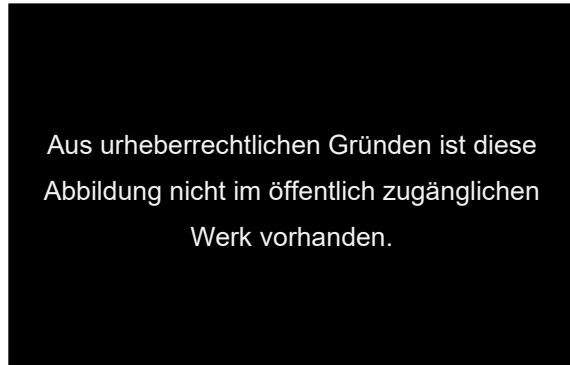
In der Forschung werden vier mögliche Anwendungsarten des BFRT beschrieben. BFR kann während eines Krafttrainings (LL-RT oder HL-RT), Ausdauertrainings oder auch als passive Massnahme ohne zusätzliche Übungen angewendet werden (Patterson et al., 2019). Die vorliegende Arbeit fokussiert auf die Trainingsform des LL-RT unter BFR mit dem Ziel der Hypertrophie und Kraftzunahme. Damit es dabei zu einer optimalen Verstärkung des Trainingsreizes kommt, müssen sowohl Faktoren bezüglich des LL-RT sowie des BFR-Stimulus beachtet werden (Scott et al., 2015). Da das BFRT aktuell noch erforscht wird, kann in einigen Belangen noch keine endgültige Empfehlung abgegeben werden.

BFR-Hilfsmittel

Der BFR-Stimulus kann durch die Applikation von unterschiedlichen Hilfsmitteln wie pneumatischen Manschetten* (Sato, 2005) oder elastischen Bändern (Loenneke & Pujol, 2009) erfolgen. Da bei der Verwendung von elastischen Bändern der effektive Druck auf die Blutgefäße unklar bleibt (Bond et al., 2019), werden in klinischen Studien mehrheitlich pneumatische Manschetten verwendet. Diese sind in Abbildung 2 ersichtlich. Bezüglich der Manschettenbreite existiert in der Literatur eine grosse Varianz von 3-18 Zentimetern (Patterson et al., 2019). Besonders für die Anwendung im postoperativen Setting wird der Einsatz von breiteren Manschetten empfohlen, da

diese verglichen mit schmalere Manschetten schon bei geringerem Druck zur erwünschten Okklusion* führen (Bond et al., 2019).

Abbildung 2: *pneumatische Manschetten*



Anmerkung: von PTS Personalized Tourniquet System for Blood Flow Restriction (o.D.)

Okklusionsdruck

Durch die Manschette wird ein externer Druck auf die Blutgefäße ausgeübt, welcher den arteriellen Blutzufluss des zu trainierenden Muskels teilweise unterbricht und den venösen Abfluss komplett verhindert (Patterson et al., 2019). Der dafür benötigte Druck variiert je nach Individuum, weshalb von universellen Druckangaben in Millimeterquecksilbersäule (mmHg) abgeraten wird (Loenneke et al., 2013). Die gängigste Definition des Okklusionsdruckes erfolgt heutzutage anhand einer prozentualen Angabe des limb occlusion pressures (LOP). Der LOP beschreibt den minimalen externen Druck, der benötigt wird, um den arteriellen Zufluss in die Extremität komplett zu unterbrechen (Lorenz et al., 2021). Der LOP ist individuell ausgeprägt und abhängig von Blutdruck, Extremitätenumfang, Geschlecht und Manschettenbreite (Jessee et al., 2016). Für die klinische Anwendung wird ein Okklusionsdruck von 40-80% des LOP empfohlen (Patterson et al., 2019).

Zeit unter blood flow restriction

Der BFR-Stimulus kann entweder intermittierend oder kontinuierlich angewendet werden. Bei der intermittierenden Form wird der Druck lediglich während dem Ausführen der Übungen ausgeübt und in den Pausen gelöst, während bei der kontinuierlichen Form der Druck auch in den Pausen aufrechterhalten wird (Suga et al., 2012). Möglicherweise könnten durch die kontinuierliche Form grössere Hypertrophieeffekte erzielt werden, da es zu einem ausgeprägteren metabolischen

Stress kommt als bei der intermittierenden Variante (Sinclair et al., 2022; Suga et al., 2012). Für die Anwendung im postoperativen Setting empfehlen Bond et al. (2019) aus Sicherheitsgründen (s. Kapitel 2.6.6) jedoch den Einsatz einer intermittierenden Form.

Bezüglich der optimalen Zeitdauer unter BFR empfehlen Patterson et al. (2019) basierend auf aktueller Literatur 5-10 Minuten pro Übung. Diese Angabe halten Bond et al. (2019) auch im postoperativen Setting für sicher (s. Kapitel 2.6.6).

Anwendungsempfehlungen

In Tabelle 1 sind die Empfehlungen basierend auf aktueller Literatur für ein LL-RT unter BFR im postoperativen Setting zusammengefasst.

Tabelle 1: Empfehlungen für ein LL-RT unter BFR im postoperativen Setting

Empfehlungen	
Häufigkeit / Dauer	2-3x wöchentlich (sofern Interventionsdauer > 3 Wochen) 1-2x täglich (sofern Interventionsdauer 1-3 Wochen)
Load	20-40% 1RM
WH pro Set	30 / 15 / 15 / 15 (insgesamt 75 Wiederholungen)
Manschettenbreite	breit
Okklusionsdruck	40-80% LOP
BFR-Form	intermittierend
Zeit unter BFR	5-10min pro Übung

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Patterson et al. (2019), 1RM = one repetition maximum, BFR = blood flow restriction, LOP = limb occlusion pressure, min = Minuten, WH = Wiederholungen

2.5.2 Physiologische Wirkungsweise

Die genaue physiologische Wirkungsweise des BFRT ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht abschliessend geklärt. Im Folgenden werden die gängigen Erklärungsmechanismen für die hypertrophen Anpassungen des Muskels bei einem LL-RT unter BFR vorgestellt.

Pearson & Hussain (2015) vermuten, dass vor allem der metabolische Stress im Muskel eine dominante Rolle bei Hypertrophieprozessen durch BFRT spielt. Durch den Manschettendruck kommt es zu einer Minderdurchblutung des Muskels, was zu

einer Hypoxie* führt (Manini & Clark, 2009). Unter diesen Bedingungen nimmt der metabolische Stress zu, da durch die anaerobe Energiebereitstellung Laktat anfällt (Takarada et al., 2000). Das Laktat kann aufgrund des blockierten venösen Abflusses jedoch nicht aus dem Muskel abtransportiert werden und sammelt sich an (Takarada et al., 2000). Dieser hohe metabolische Stress beim BFRT führt zu einer gesteigerten Produktion von Wachstumshormonen und zur Zellschwellung (s. Kapitel 2.4.2) (Pearson & Hussain, 2015). Der Effekt der Zellschwellung wird durch den Blutstau im Muskel beim BFRT zusätzlich verstärkt (Jessee et al., 2018).

Obwohl das LL-RT unter BFR nicht zu hoher mechanischer Spannung führt, kommt es dennoch zu einer Aktivierung von Muskelfasern des Typ II (Loenneke et al., 2011). Es wird angenommen, dass dies aufgrund der unzureichenden Sauerstoffzufuhr für die Muskelfasern des Typ I und des hohen metabolischen Stresses zu Stande kommt (Loenneke et al., 2011).

In der Literatur wird aktuell diskutiert, ob es beim BFRT zu Mikroschädigungen im Muskel kommt, bisher fehlt jedoch eine einheitliche Aussage (Pearson & Hussain, 2015). Es wird angenommen, dass es aufgrund des metabolischen Stresses und der Hypoxie jedoch auch ohne Mikroschädigungen zum Auftreten von Entzündungsmediatoren* und deren hypertrophen Wirkungen (s. Kapitel 2.4.2) kommt (Rossi et al., 2018).

2.5.3 Nebenwirkungen und Risiken

Ein aktuelles Thema in der Forschung betrifft mögliche Nebenwirkungen und Risiken des BFRT. Die wichtigsten werden im Folgenden erläutert.

Als mögliche zeitweilige Nebenwirkungen des BFRT werden leichte Schmerzen oder kleine subkutane Einblutungen im Bereich der Manschette beschrieben (Lorenz, 2021). Ausserdem kann es nach dem BFRT zu temporären Taubheitsgefühlen kommen (Nakajima et al., 2006). Ein negativer Einfluss des BFTR auf die Nervenleitgeschwindigkeit konnte jedoch widerlegt werden (Clark et al., 2011). Vor allem bei Patienten und Patientinnen mit kardiovaskulären Erkrankungen muss beachtet werden, dass es bei einem LL-RT unter BFR zu einer vergleichbaren Steigerung der Herzfrequenz und des Blutdruckes kommt wie bei einem HL-RT (Brandner et al., 2015).

Als mögliches Risiko des BFRT wurden tiefe Beinvenenthrombosen und Lungenembolien, sogenannte venöse Thromboembolien* (VTE) befürchtet. Bei einer gesunden Population konnten nach einem BFRT jedoch keine Marker für eine Thrombenbildung nachgewiesen werden (Madarama et al., 2010). Clark et al. (2011) konnten sogar eine gesteigerte Aktivität des fibrinolytischen Systems beobachten, welches die Auflösung von Thromben initiiert. Patienten und Patientinnen im postoperativen Setting weisen unter anderem aufgrund der Immobilisierung ein erhöhtes Risiko für VTE auf (Anderson & Spencer, 2003). Bond et al. (2019) kamen jedoch zum Schluss, dass im postoperativen Setting das Risiko einer direkt durch BFRT verursachten VTE als gering einzustufen ist, solange die Risikofaktoren individuell abgeklärt werden. Für eine sichere Anwendung empfehlen Bond et al. (2019) eine Okklusionsdauer von 5-10 Minuten, eine intermittierende Okklusionsform und die Verwendung von breiten Manschetten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass BFRT zum jetzigen Zeitpunkt als klinisch sichere Intervention eingestuft werden kann, unerwünschte Nebenwirkungen konnten über viele Studien hinweg nur vereinzelt beobachtet werden (Minniti et al., 2020). Minniti et al. (2020) betonen jedoch die Notwendigkeit von weiterer Forschung, standardisierten Anwendungsprotokollen und geschultem Personal.

2.6 Messmethoden

In diesem Kapitel werden die Messmethoden vorgestellt, welche in den Hauptstudien (s. Kapitel 4) verwendet wurden.

2.6.1 Kraftmessung

Kraftmessungen objektivieren die durch einen Muskel generierte Kraft und liefern vergleichbare Werte.

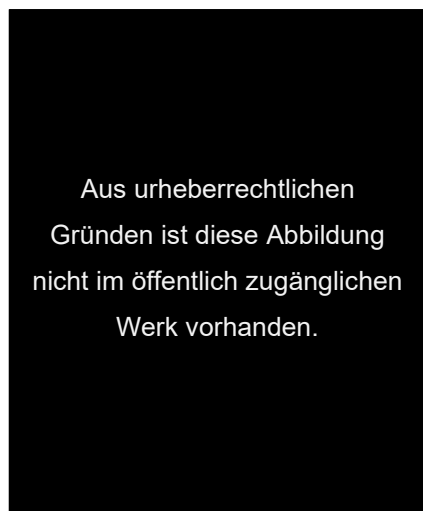
Ten repetition maximum auf der leg press

Bei diesem Test wird auf der leg press das Gewicht evaluiert, welches die Testperson für exakt zehn Mal von sich wegdrücken kann und danach zur Ermüdung der Muskulatur führt. Damit kann eine indirekte Aussage über die Maximalkraft des Quadriceps getätigt werden.

Isokinetische Kraftmessung

Eine isokinetische Kraftmessung des Quadriceps erfolgt mit Hilfe eines Kraftmessgeräts wie dem Dynamometer, welcher in Abbildung 3 ersichtlich ist. Dabei muss das Kniegelenk über das gesamte Bewegungsausmass mit einer konstanten Bewegungsgeschwindigkeit wie beispielsweise $150^\circ/\text{s}$ gegen einen individuell angepassten Widerstand bewegt werden (Hollmann & Hettinger, 1990). Gemessen wird das durch den Muskel erzeugte Drehmoment (Banzer et al., 2004). Dieses beschreibt die Bewegung im Kniegelenk, welche durch die Kraft des Muskels hervorgerufen wird (Banzer et al., 2004). Das Drehmoment ist umso grösser, je grösser die Kraft des Muskels und die Länge des Hebelarms* ist (Banzer et al., 2004).

Abbildung 3: *isokinetische Kraftmessung*



Anmerkung: von Kraftmessung Kniegelenk (Isomed 2000) (o.D.)

2.6.2 Funktionelle Kraftmessung

Die funktionelle Kraft der unteren Extremität kann mittels objektiver Messungen von Alltagsfunktionen ermittelt werden und dient mehrheitlich der Verlaufserfassung.

Sit-to-stand 5 times (STS5)

Beim STS5 wird die Zeit gemessen, welche die Testperson benötigt, um fünf Mal von einem Stuhl aufzustehen und sich wieder zu setzen, ohne sich mit den Händen abzustützen. Der STS5 zeigt die funktionelle Kraft der unteren Extremität auf, wobei eine Abnahme der benötigten Zeit einer Verbesserung der funktionellen Kraft entspricht (Goldberg et al., 2012).

Timed stair ascent (TSA)

Beim TSA wird die Zeit erfasst, die benötigt wird, um eine gewisse Anzahl Treppenstufen hinauf und hinunterzusteigen. Dies gibt Auskunft über die Kraft der unteren Extremität, wobei eine Abnahme der benötigten Zeit einer Verbesserung der funktionellen Kraft entspricht (Bennell et al., 2011).

2.6.3 Messung der Muskelmasse

Veränderungen der Muskelmasse können mit Hilfe unterschiedlicher Messmethoden eruiert werden.

Bildgebende Verfahren

Durch MRI- und Ultraschallaufnahmen kann die Muskeldicke oder die anatomische Querschnittsfläche bestimmt werden. Die anatomische Querschnittsfläche ist ein einfacher Querschnitt des Gesamtmuskels, beeinflusst von der Anzahl und Dicke der Muskelfasern (Spring et al., 2005).

Umfangmessung

Die Umfangmessung einer Extremität kann als indirektes Messverfahren und Verlaufszeichen für die Muskelmasse verwendet werden.

2.6.4 Beeinflussende Faktoren

Verschiedene Faktoren beeinflussen die generierbare Muskelkraft, unter anderem Schmerz und Schwellung.

knee injury osteoarthritis outcome score (KOOS)

Dieser Fragebogen beinhaltet fünf verschiedene Themenbereiche, unter anderem das Schmerzempfinden (Roos & Lohmander, 2003). Über neun Fragen hinweg muss die Schmerzintensität bei bestimmten Aktivitäten angegeben werden. Der KOOS-Score kann somit als Verlaufszeichen für das Schmerzempfinden eingesetzt werden. Eine Zunahme des KOOS-Score entspricht dabei einer Reduktion der empfundenen Schmerzen (Roos & Lohmander, 2003).

Umfangmessung

Die Umfangmessung eines Gelenks kann zur Verlaufserfassung einer Gelenksschwellung verwendet werden.

3 Methodik

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde die Methode „systematische Literaturarbeit“ gewählt. Im vorliegenden Kapitel wird der Prozess der Literaturrecherche beschrieben. Die verwendeten Keywords und die Suchstrategie werden erläutert. Weiter werden die definierten Ein- und Ausschlusskriterien aufgeführt, sowie die definitive Wahl der Hauptstudien aufgezeigt. Abschliessend werden die Instrumente zur kritischen Würdigung angegeben.

3.1 Keywords

Erste Keywords wurden anhand von Schlagwörtern aus der Fragestellung und der Problemstellung definiert. Diese Schlagwörter wurden ins Englische übersetzt. Ebenfalls wurden passende Synonyme in die Keywordsaufstellung integriert. Die Keywords wurden während den ersten Literatursuchen fortlaufend erweitert mit Begriffen aus den Titeln und Abstracts der Studien. Tabelle 2 stellt die Keywords der Literatursuche zusammen.

Tabelle 2: Schlagwörter und Keywords

Schlagwörter	Keywords
Blutflussrestriktion	blood flow restriction (training / therapy / exercise), blood flow restricted (training / therapy / exercise), restriction of blood flow, occlusion (training / therapy / exercise), vascular occlusion, vascular restriction
Knieoperation	knee operation, knee surgery, anterior cruciate ligament reconstruction, ACL reconstruction, knee arthroscopy, meniscal repair
Postoperative	postoperative, postsurgical
Atrophie	atrophy, muscle loss
Quadriceps	quadriceps, knee extensor
Effekt	effect, impact, influence, outcome, result, effectiveness

Anmerkung: eigene Darstellung, ACL = anterior cruciate ligament

3.2 Suchstrategie

Die Literatursuche fand in den Datenbanken CINAHL, PubMed und Medline statt und begann im Februar 2022. Die genannten Datenbanken konzentrieren sich auf Forschungsarbeiten aus dem Gesundheitswesen.

Anfangs wurde mit allgemeinen Keywordskombinationen gesucht, um einen breit gefächerten Einblick ins Thema und den aktuellen Forschungsstand zu erlangen. Anschliessend wurde die Suche sukzessive immer weiter auf die Fragestellung konkretisiert. Die Keywords wurden mit den Bool'schen Operatoren AND und OR verknüpft. Ebenfalls wurden Trunkierungen eingefügt. Als mit weiteren Kombinationen keine neuen, relevanten Studien mehr gefunden wurden, konnte die Kombination der Keywords endgültig festgelegt werden. Die Literatursuche wurde am 7. März 2022 beendet. Im Anhang ist die genaue search history vom Beginn der Literatursuche bis zur finalen Keywordkombination pro Datenbank tabellarisch ersichtlich. Für die finale Suche wurden nur Studien nach 2012 berücksichtigt, damit sich die Resultate auf die aktuelle Forschung beziehen.

Tabelle 3 zeigt die finale Kombination der Keywords inklusive Bool'schen Operatoren und Trunkierungen sowie die entsprechende Anzahl Treffer in den Datenbanken auf.

Tabelle 3: finale Keywordskombination und Anzahl Treffer pro Datenbank

Finale Kombination Keywords	Anz. Treffer
blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion	CINAHL: 18 PubMed: 35 Medline: 29
AND surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*	
AND quadriceps or knee extensor*	
AND effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*	

Anmerkung: eigene Darstellung

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Das Aufstellen von Ein- und Ausschlusskriterien diene zur Sicherstellung der adäquaten Beantwortung der Forschungsfrage. Dadurch konnten die relevanten Studien mit aktuellem Forschungsstand und hohem Evidenzgrad zielgerichtet in die Auswertung eingeschlossen werden. Nachfolgend sind die Ein- und Ausschlusskriterien aufgelistet.

Einschlusskriterien

- Patienten und Patientinnen nach Operationen am Kniegelenk
- Beginn des BFRT in den ersten drei Wochen nach der Operation
- Anwendung des BFR in Kombination mit LL-RT
- Mindestens eine Outcome Messung am Quadriceps bezüglich Muskelkraft oder Muskelmasse
- Randomisierte kontrollierte Studien (RCT), systematische Reviews, systematische Reviews mit Meta-Analysen
- Studien in deutscher und englischer Sprache

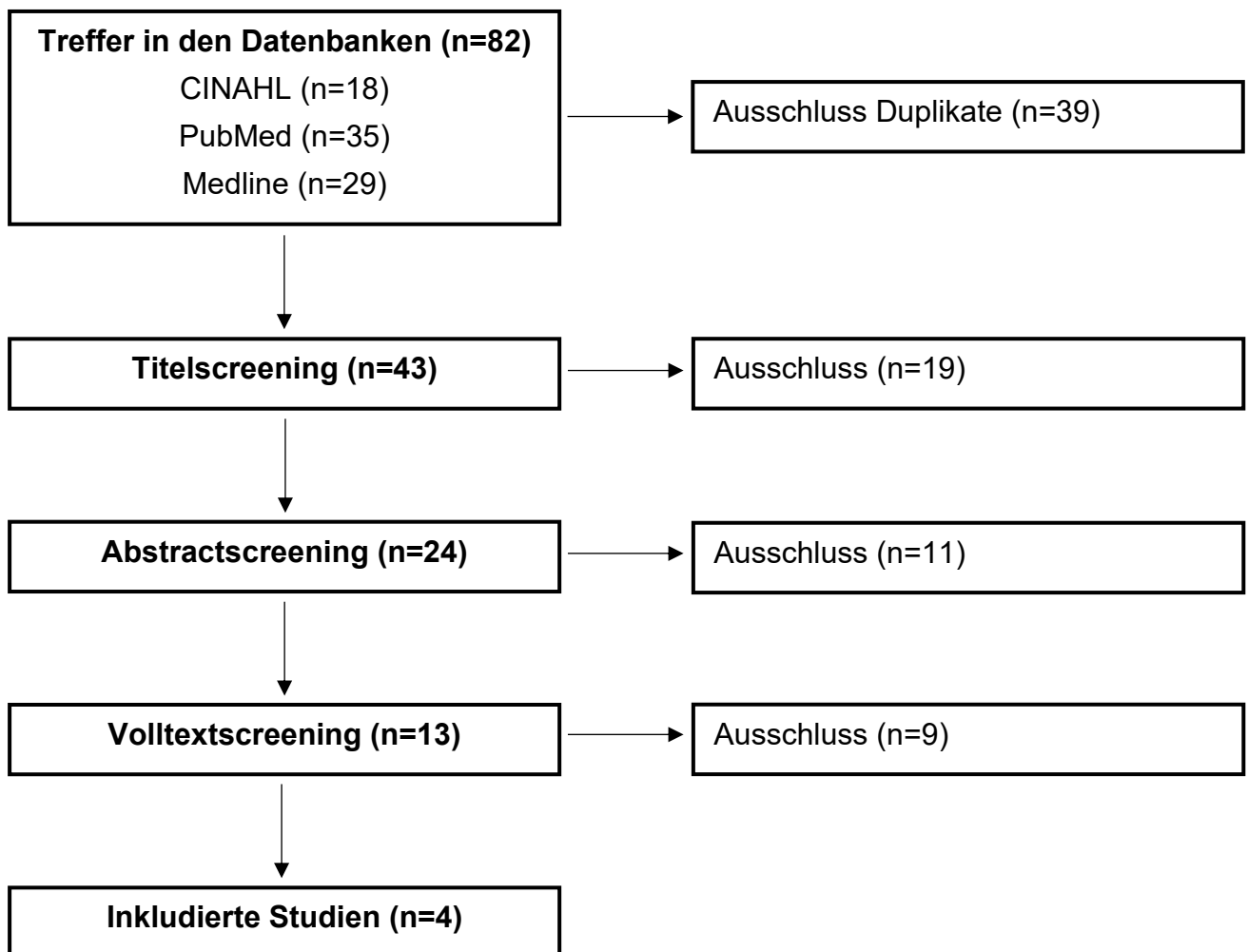
Ausschlusskriterien

- Anwendung des BFRT in der Prähabilitation oder bei chronischen Atrophien nach Operationen am Kniegelenk
- Anwendung des BFR als passive Massnahme oder in Kombination mit HL-RT oder Ausdauertraining
- Fallstudien, Expertenmeinungen
- Systematische Reviews und systematische Reviews mit Meta-Analyse, die unter anderem RCT's berücksichtigen, welche die oben genannten Einschlusskriterien nicht erfüllen
- Publikationsjahr vor 2012
- Fehlender Volltextzugriff

3.4 Selektionsstrategie

Die nachfolgende Abbildung 4 illustriert den Selektionsprozess der Treffer über alle drei Datenbanken hinweg und zeigt auf, welche Studien zur Beantwortung der Fragestellung inkludiert wurden.

Abbildung 4: Literaturselektionsprozess



Anmerkung: eigene Darstellung, n = Anzahl

Die Suche in den Datenbanken CINAHL, PubMed und Medline ergab insgesamt 82 Treffer. Nach der Entfernung aller Duplikate resultierten noch 43 Treffer. Deren Titel wurden anhand der in Kapitel 3.3 beschriebenen Kriterien geprüft. 19 Treffer erfüllten die Kriterien nicht und wurden ausgeschlossen. Von den verbleibenden 24 Treffern wurden nach der Beurteilung des Abstracts elf weitere Studien entsprechend der in Kapitel 3.3 beschriebenen Kriterien ausgeschlossen. Es verblieben 13 Studien, die auf ihren Volltext geprüft wurden. Zwei RCT's mussten ausgeschlossen werden, da

kein Zugriff auf den Volltext erlangt werden konnte. Eine Studie wurde ausgeschlossen, da es sich um eine Expertenmeinung handelte. Ausserdem wurden sechs Reviews ausgeschlossen, die unter anderem RCT's in ihre Auswertung miteinbezogen, welche die in Kapitel 3.3 beschriebenen Einschlusskriterien nicht erfüllen. Durch das Screening der passenden RCT's aus den Reviews konnten keine zusätzlichen relevanten Studien identifiziert werden. Insgesamt wurden durch das Beurteilen der Volltexte neun Studien ausgeschlossen. Es konnten vier Studien ausgemacht werden, die alle Einschlusskriterien erfüllen und somit als Hauptstudien zur Beantwortung der Fragestellung in den folgenden Kapiteln vertieft analysiert werden. Die vier Studien sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 *inkludierte Hauptstudien*

Autoren (Publikationsjahr)	Titel
Hughes et al. (2019)	Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial.
Iversen et al. (2016)	Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction.
Mason et al. (2021)	The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military: A Randomized Controlled Trial.
Tennent et al. (2017)	Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study.

Anmerkung: eigene Darstellung

3.5 Instrumente zur kritischen Würdigung

Die Studien werden anhand der Systematik Letts & Law für quantitative Studien kritisch gewürdigt. Das Beurteilungsraster beinhaltet unter anderem Fragen bezüglich der Notwendigkeit der Studie sowie der Wahl des Studiendesigns, der Stichprobe, den Mess- sowie statistischen Analysemethoden (Law et al., 1998). Das ausführliche Raster ist im Anhang einzusehen.

Zusätzlich wird jede Studie anhand der PEDro-Skala bewertet. Diese dient der Einschätzung der Qualität von randomisiert kontrollierten Studien (Verhagen et al., 1998). Die Skala besteht aus elf Items, wobei für die PEDro Punktzahl nur die Items zwei bis elf berücksichtigt werden. Die Zahlenwerte ermöglichen einen Qualitätsvergleich zwischen verschiedenen RCT's. Die vollständige PEDro-Skala mit ausführlichen Erläuterungen zu den einzelnen Items ist im Anhang ersichtlich.

4 Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der Literaturrecherche erläutert. Die vier identifizierten Hauptstudien aus Kapitel 3 werden jeweils einzeln zusammengefasst. Dabei werden lediglich die Outcomes berücksichtigt, die zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung beitragen. Im Anschluss wird jede Studie mithilfe der Systematik von Letts & Law kritisch gewürdigt. Relevante Aspekte für die Diskussion werden thematisiert, weitere Details können in den vollständig ausgefüllten Formularen im Anhang nachgelesen werden. Für einen objektiven Qualitätsvergleich der vier RCTs erfolgt zusätzlich eine Bewertung anhand der PEDro Skala. Die ausgefüllten Formulare sind ebenfalls im Anhang zu finden. Abschliessend ist eine tabellarische Übersicht über alle vier Studien ersichtlich.

4.1 Hughes et al. (2019)

4.1.1 Zusammenfassung

Hughes et al. (2019) befassten sich mit der Anwendung des BFRT nach Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes (VKBR). Das Ziel der Studie war es, die Effektivität von BFRT im Gegensatz zu HL-RT im Rehabilitationsprozess in Bezug auf Muskelkraft, Hypertrophie, Schmerz und Schwellung zu vergleichen. Dazu wurde eine randomisiert kontrollierte Studie durchgeführt. 28 Patienten und Patientinnen, die eine VKBR mittels Hamstringsautograft* erhielten, wurden rekrutiert. Das Durchschnittsalter der Teilnehmenden lag bei 29 Jahren. Als Ausschlusskriterium galten unter anderem das Vorliegen von zusätzlichen Bandverletzungen, rheumatoider Arthritis oder pulmonalen sowie kardiovaskulären Nebenerkrankungen. Es erfolgte eine Randomisierung der Teilnehmenden in zwei Gruppen: BFRT (n=14) und HL-RT (n=14). Bezüglich anthropometrischer Daten unterschieden sich die Gruppen nicht.

Alle Teilnehmenden erhielten ein standardisiertes Rehabilitationsprogramm. Lediglich das Krafttraining, welches in Tabelle 5 dargestellt wird, unterschied sich zwischen den Gruppen. Beide Gruppen absolvierten das Krafttraining unter Aufsicht eines ausgebildeten Mitglieds des Forschungsteams.

Tabelle 5: Intervention in der BFRT-Gruppe und HL-RT-Gruppe von Hughes et al. (2019)

	BFRT-Gruppe	HL-RT-Gruppe
Start	2-3. Woche postoperativ	
Häufigkeit / Dauer	2x / Woche für 8 Wochen	
Übungen	einbeinige leg press	
Load	30% 1RM	70% 1RM
WH pro Set	30 / 15 / 15 / 15	10 / 10 / 10
BFR – Int. / kon.	unklar	-
Zeit unter BFR	unklar	-
Okklusionsdruck	80% LOP	-

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Hughes et al. (2019), 1RM = one repetition maximum, BFR = blood flow restriction, BFRT = blood flow restriction training, HL-RT = high-load resistance training, int. = intermittierend, kon. = kontinuierlich, LOP = limb occlusion pressure, WH = Wiederholungen

Hughes et al. (2019) massen Outcome-Parameter bezüglich der Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps sowie das Schmerzempfinden und die Gelenksschwellung. Die Messungen wurden direkt vor und nach der Operation sowie in der Mitte und am Ende des achtwöchigen Trainings durchgeführt. Die isokinetische Kraftmessung erfolgte ausschliesslich vor der Operation und am Ende des Trainings.

Nachdem die Daten auf Normalverteilung*, Varianzhomogenität* und Sphärizität* getestet wurden, erfolgte eine ANOVA*, um Zeit- und Gruppenunterschiede festzustellen. Das Signifikanzniveau* wurde dabei auf $p < 0.05$ festgelegt. Die Effektstärke der Resultate wurde anhand des Cohen d* beschrieben. Vier Teilnehmende, je zwei aus jeder Gruppe, wurden als Dropouts* vermerkt. Ein Teilnehmender schied aufgrund einer weiteren Operation aus. Bei den anderen drei Dropouts waren die Gründe unabhängig von der Studie und nicht weiter erläutert.

Die Resultate nach dem achtwöchigen Training sind in Tabelle 6 dargestellt. Von der präoperativen zur ersten postoperativen Messung vor dem Interventionsstart zeigten sich keine Gruppenunterschiede bezüglich der Outcomes.

Tabelle 6: signifikante Resultate von Hughes et al. (2019) nach der Intervention

Outcome - Messmethode	Sign. Zeiteffekte	Sign. Gruppeneffekte
Isokinetische Kraft Q (bei 60°/s, 150°/s, 300°/s) - Dynamometer	BFRT-Gruppe: 60°/s: Abnahme 150°/s: k.V. 300°/s: k.V. HL-RT: 60°/s: Abnahme 150°/s: Abnahme 300°/s: Abnahme	60°/s: keine (d=0.5) 150°/s: zugunsten BFRT 300°/s: zugunsten BFRT
Muskelkraft Q - 10RM leg press	BFRT-Gruppe: Zunahme HL-RT: Zunahme	keine (d = 0.3)
Muskeldicke Q - Ultraschall	BFRT-Gruppe: Zunahme HL-RT: Zunahme	Keine (d=0.4)
Schmerzempfinden - KOOS-Fragebogen	BFRT-Gruppe: Zunahme HL-RT: Zunahme	Zugunsten BFRT (d=0.6)
Schwellung Kniegelenk - Umfangmessung	BFRT-Gruppe: Abnahme HL-RT: Abnahme	Zugunsten BFRT (d=0.7)

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Hughes et al. (2019), 10RM = ten repetition maximum, BFRT = blood flow restriction training, d = Cohen d Wert, HL-RT = high-load resistance training, k.V. = keine Veränderung, KOOS = knee injury osteoarthritis outcome score (Zunahme des Scores entspricht Abnahme des Schmerzes), sign. = signifikante, Q = Quadriceps

Hughes et al. (2019) kamen zum Schluss, dass ein BFRT nach einer VKBR zu vergleichbaren Verbesserungen der Muskelkraft und Hypertrophie führt wie ein HL-RT. Das subjektive Schmerzempfinden und die Schwellung zeigten signifikant bessere Veränderungen in der BFRT-Gruppe. Daraus könne abgeleitet werden, dass BFRT in den ersten Phasen einer VKBR-Rehabilitation möglicherweise geeigneter sei als ein HL-RT.

4.1.2 Kritische Würdigung

Der Zweck und die Notwendigkeit der Studie werden nachvollziehbar erläutert. Das Studiendesign des RCT ist sinnvoll gewählt. Die Merkmale der Stichprobe sowie die definierten Ausschlusskriterien werden aufgezeigt. Die Einschlusskriterien werden lediglich indirekt thematisiert. Es wird aufgezeigt, dass sich die beiden Gruppen

ähnlich sind. Die Wahl der Stichprobengrösse wird begründet durch eine vorgängig durchgeführte sample size calculation*. Diese ergab bei einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$ eine Mindestanzahl von 24 Teilnehmenden für das Erkennen von möglichen Gruppenunterschieden.

Die gewählten Messmethoden weisen alle eine gute Reliabilität* auf, was anhand einer Messung der Interklassenkorrelation* aufgezeigt wird. Über die Validität* der Messmethoden werden keine Angaben gemacht. Die durchgeführte Intervention sowie das gesamte Rehabilitationsprogramm werden detailliert beschrieben. Degressions- und Progressionsmöglichkeiten der durchgeführten Übung werden erläutert. Unklar bleibt, ob der BFR-Stimulus in der BFRT-Gruppe intermittierend oder kontinuierlich appliziert wurde und für welche Zeitdauer er angewendet wurde. Ko-Interventionen werden keine angegeben.

Die Ergebnisse werden aufgezeigt und auf ihre statistische Signifikanz sowie klinische Relevanz geprüft. Es fehlt die Angabe des Cohen d Wertes bei den Gruppenunterschieden der isokinetischen Kraftmessung bei $150^\circ/s$ sowie $300^\circ/s$. Die verwendeten statistischen Verfahren sind für die durchgeführten Analysen sinnvoll gewählt. Dropouts werden vermerkt und begründet, deren statistische Handhabung wird jedoch nicht erläutert. Die Ergebnisse der Studie werden ausführlich diskutiert und mit vorhandener Literatur verglichen. Aufgezeigte Schlussfolgerungen und klinische Implikationen sind nachvollziehbar beschrieben. Die Stärken und Schwächen der Studie werden beschrieben. Hughes et al. (2019) geben als Limitation unter anderem an, dass der Zuwachs der Muskelmasse im Ultraschall ausschliesslich in einer Ebene gemessen wurde. Ausserdem sei zu beachten, dass die Stichprobe relativ klein sei und eine spezifische Untergruppe von Patienten und Patientinnen in einer bestimmten Rehabilitationsphase beinhalte. Dies limitiere die Generalisierbarkeit der Resultate auf grössere Populationen.

4.2 Iversen et al. (2016)

4.2.1 Zusammenfassung

Iversen et al. (2016) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss von BFRT in der Rehabilitation nach einer VKBR in einer sportlich aktiven Population. Beobachtet wurde der Einfluss des BFRT auf die Querschnittsfläche des Quadriceps im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Es wurden 24 sportlich aktive Patienten und Patientinnen rekrutiert, bei welchen eine VKBR mittels Hamstringsautograft geplant war. Das Durchschnittsalter der Teilnehmenden lag bei 27 Jahren. Ausgeschlossen wurden alle Probanden und Probandinnen, bei welchen die Verletzung mehr als sechs Monate zurücklag oder die ältere Knieverletzungen vorwiesen. Die Teilnehmenden wurden in zwei Gruppen randomisiert: BFRT-Gruppe (n=12) und Kontrollgruppe (n=12). Bezüglich der anthropometrischen Daten waren sich die Gruppen ähnlich.

Die Intervention beinhaltete für beide Gruppen ein identisches Krafttraining, wobei die BFRT-Gruppe dieses unter BFR absolvierte. Dies ist in Tabelle 7 dargestellt. Das Training wurde von den Teilnehmenden nach einer Einführung selbstständig zu Hause durchgeführt und protokolliert.

Tabelle 7: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Iversen et al. (2016)

	BFRT-Gruppe	Kontrollgruppe
Start	2. Tag postoperativ	
Häufigkeit / Dauer	2x / Tag für 2 Wochen	
Übungen	isometrische Quadricepsanspannung, leg extensions über Knierolle, straight leg raises	
Load	unklar, Übungen ohne zusätzliches Gewicht	
WH pro Set	5x20WH	
BFR – Int. / kon.	int., 3min Pause	-
Zeit unter BFR	5x5min	-
Okklusionsdruck	130-180 mmHg	-

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Iversen et al. (2016), 1RM = one repetition maximum, BFR = blood flow restriction, BFRT = blood flow restriction training, int. = intermittierend, kon. = kontinuierlich, mmHg = Millimeterquecksilbersäule, WH = Wiederholungen

Iversen et al. (2016) massen die Querschnittsfläche des Quadriceps zwei Tage vor sowie 16 Tage nach der Operation. Die Veränderungen über die Zeit und im Gruppenvergleich wurden mittels eines ungepaarten t-tests* ermittelt. Eine Angabe des Signifikanzniveaus fehlt, weshalb vom gängigen Niveau $p < 0.05$ ausgegangen wird.

Die Veränderungen der Querschnittsfläche des Quadriceps durch die zweiwöchige Intervention sind in Tabelle 8 dargestellt. Vor der Operation zeigte sich kein Gruppenunterschied.

Tabelle 8: *signifikante Resultate von Iversen et al. (2016) nach der Intervention*

Outcome - Messmethode	Sign. Zeiteffekte	Sign. Gruppeneffekte
ACSA Q - MRI	BFRT-Gruppe: Abnahme KG: Abnahme	keine

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Iversen et al. (2016), ACSA = anatomische Querschnittsfläche, BFRT = blood flow restriction training, KG = Kontrollgruppe, MRI = magnetic resonance imaging, Q = Quadriceps, sign. = signifikante

Iversen et al. (2016) kamen zum Schluss, dass in einer aktiven Population nach einer VKBR eine zweiwöchige Anwendung eines LL-RT mit oder ohne BFR nicht zur Reduktion einer Atrophie führt.

4.2.2 Kritische Würdigung

Der Zweck und die Notwendigkeit der Studie werden nachvollziehbar dargelegt. Das Studiendesign des RCT ist schlüssig gewählt. Die Stichprobe wird beschrieben, wobei die genauen Ausschlusskriterien sowie der Rekrutierungsablauf unklar bleiben. Unbegründet ist auch die Wahl der Stichprobengrösse.

Die Reliabilität sowie Validität der Messmethode werden nicht explizit erläutert. Jedoch wird als Limitation der Studie angegeben, dass zur Bestimmung der Muskelmasse eine Messung des Muskelvolumens eigentlich akkurater gewesen wäre als eine Berechnung der Querschnittsfläche mittels MRI-Aufnahmen.

Die durchgeführte Intervention wird beschrieben. Da die Übungen ohne zusätzliche Gewichte durchgeführt wurden, bleibt der effektive load unklar. Iversen et al. (2016) merken jedoch an, dass die Belastungsintensität möglicherweise zu gering war, um einer Atrophie entgegenzuwirken. Nicht erläutert wird ausserdem, ob bei jedem

Training alle drei Übungen absolviert wurden oder ob diese entsprechend einer Progression aufeinander aufbauten. Nicht schlüssig erscheint auch die Angabe, dass während einem fünfminütigen BFR-Stimulus lediglich 20 Wiederholungen einer Übung absolviert wurden. Ein weiterer Kritikpunkt, welcher auch von Iversen et al. (2016) diskutiert wird, betrifft die fehlende Individualisierung des Okklusionsdruckes. Alle Teilnehmenden der BFRT-Gruppe erhielten denselben Druck in mmHg, was jedoch bei jedem Teilnehmendem in einer unterschiedlich starken Blutflussrestriktion resultiert. Es werden keine Ko-Interventionen beschrieben.

Die Ergebnisse werden dargestellt und deren statistische Signifikanz wird angegeben. Es fehlt eine vorgängige Festlegung des Signifikanzniveaus. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist fragwürdig, da die Stichprobe sehr klein gewählt wurde und eine grosse Variation in der Ausprägung der Atrophien vorlag. Da keine vorgängige sample size calculation durchgeführt wurde, ist nicht klar, ob die Populationsgrösse ausreichend war, um einen auftretenden Effekt aufzeigen zu können. Die Begründung für die verwendeten Analysemethoden ist lückenhaft. Der verwendete ungepaarte t-test setzt bei einer Stichprobengrösse unter $n=30$ eine Normalverteilung der Daten voraus. In der Studie fehlen aber Angaben dazu, ob eine solche vorliegt. Ausserdem fehlen Angaben zu verzeichneten Dropouts. Die Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis wird nachvollziehbar erläutert. Als Limitationen der Studie nennen Iversen et al. (2016) wie bereits erläutert die kleine Stichprobe, die Wahl des Messinstrumentes, die zu niedrige Belastungsintensität und die fehlende Individualisierung des Okklusionsdruckes.

4.3 Mason et al. (2021)

4.3.1 Zusammenfassung

Mason et al. (2021) setzten sich als Ziel, die Effekte von BFRT auf Oberschenkelumfang und Muskelkraft nach Meniskus- und Knorpeloperation zu untersuchen. Dabei wurde die Rehabilitation mit und ohne BFRT verglichen. Es wurde eine randomisiert kontrollierte Studie durchgeführt. 22 aktive Wehrdienstleistende, durchschnittlich 23-jährig, wurden inkludiert. Als Ausschlusskriterium wurden unter anderem Rücken-, Hüft- oder Knieoperationen in

den letzten zwölf Monaten und kardiovaskuläre Beeinträchtigungen beschrieben. Alle Teilnehmende unterliefen einer Meniskus- oder Knorpeloperation und wurden in eine BFRT-Gruppe (n=11) und Kontrollgruppe (n=11) eingeteilt. Bezüglich der anthropometrischen Daten waren sich die Gruppen ähnlich.

Beide Gruppen folgten während den ersten zwölf Wochen der Rehabilitation einem vorgegebenen Programm unter Supervision eines Physiotherapeuten oder einer Physiotherapeutin. Die BFRT-Gruppe absolvierte dieselben Übungen wie die Kontrollgruppe, zusätzlich jedoch unter BFR. Die Details des Rehabilitationsprogramms sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Mason et al. (2021)

	BFRT-Gruppe	Kontrollgruppe
Start	1. Woche postoperativ	
Häufigkeit / Dauer	2-3x / Woche für 12 Wochen	
Übungen	Woche 1-2: isometrische Quadricepsanspannung, straight leg raises Woche 3-6: Woche 1-2 + knee extensions Woche 7-12: Woche 1-6 + Squats, einbeinige leg press	
Load	Unter 20-30% 1RM	
WH pro Set	30 / 15 / 15 / 15	
BFR – Int. / kon.	int., 2min Pause	-
Zeit unter BFR	unklar	-
Okklusionsdruck	80% LOP	-

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Mason et al. (2021), 1RM = one repetition maximum, BFR = blood flow restriction, BFRT = blood flow restriction training, int. = intermittierend, kon. = kontinuierlich, LOP = limb occlusion pressure, WH = Wiederholungen

Ab Woche zwölf trainierten beide Gruppen für weitere zwölf Wochen ohne BFR. Die Übungen aus dem Rehabilitationsprogramm wurden weiter ausgeführt, bis die Physiotherapie abgeschlossen wurde.

Mason et al. (2021) definierten verschiedene Outcomes. Der Umfang wurde vor der Operation sowie sechs, zwölf und 24 Wochen postoperativ erfasst. Die Kraft wurde

nur in der 12. und 24. postoperativen Woche gemessen. Beide Outcomes wurden mit dem limb symmetry indices (LSI) angegeben. Der LSI-Wert liefert eine Aussage über die Ähnlichkeit von betroffenem und nichtbetroffenem Bein. Er berechnet sich wie folgt: (betroffene Seite / nichtbetroffene Seite) *100. Je näher der Wert bei 100 liegt, desto ähnlicher sind sich die beiden Extremitäten.

Vor der Analyse wurden die Daten auf Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität geprüft. Zeit- und Gruppenunterschiede wurden mittels einer ANOVA analysiert. Das Signifikanzlevel wurde auf $p < 0.05$ festgelegt. Signifikante Resultate wurden mit der Cohen d Effektstärke interpretiert. Fünf Dropouts wurden aus der statistischen Analyse ausgeschlossen, weil entweder nicht mindestens 80% der Therapie durchgeführt oder die follow-up Untersuchung in der Woche 24 nicht absolviert wurde.

Die Resultate nach dem zwölfwöchigen Rehabilitationsprogramm sind in Tabelle 10 ersichtlich. Der Oberschenkelumfang unterschied sich vor der Operation nicht zwischen den Gruppen. Eine Aussage über die Ähnlichkeit bezüglich der Kraft ist nicht möglich, da diese erst später erhoben wurde.

Tabelle 10: *signifikante Resultate von Mason et al. (2021) nach der Intervention*

Outcome - Messmethode	Sign. Zeiteffekte	Sign. Gruppeneffekte
Isokinetische Kraft Q LSI (bei 180°/s, 300°/s) - Dynamometer	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: Zunahme	Keine, jedoch potenziell klinisch relevant zugunsten BFRT-Gruppe
Oberschenkelumfang LSI	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: Zunahme	Keine, jedoch potenziell klinisch relevant zugunsten BFRT-Gruppe

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Mason et al. (2021), BFRT = blood flow restriction training, KG = Kontrollgruppe, LSI = limb symmetry indices, Q = Quadriceps, sign. = signifikante

Die Werte nach 24 Wochen zeigten keine signifikanten Gruppenunterschiede auf, waren aber tendenziell besser in der Kontrollgruppe.

Mason et al. (2021) kamen zum Schluss, dass ein LL-RT mit und ohne BFR zu ähnlichen Veränderungen des Oberschenkelumfangs und der Quadricepskraft führt.

Bei beiden Outcomes war jedoch eine potenzielle klinische Relevanz zugunsten der BFRT-Gruppe zu verzeichnen, was den Bedarf nach weiterer Forschung begründet.

4.3.2 Kritische Würdigung

Das Ziel der Studie und die Notwendigkeit werden klar erläutert, ebenfalls ist die Wahl des Studiendesigns nachvollziehbar. Die Stichprobe und die damit einhergehenden Ein- und Ausschlusskriterien werden beschrieben. Laut der von Mason et al. (2021) durchgeführten a priori power Analyse* zur Bestimmung der Stichprobengröße bräuchte es mindestens 24 Teilnehmende, um bei einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$ Ergebnisse mit einer starken Effektgröße aufzuzeigen. Aufgrund von Covid-Restriktionen konnten nur 22 Teilnehmende randomisiert und 17 davon ausgewertet werden. Die Zusammenstellung der Stichprobe ist beschrieben und die Werte der Gruppen unterschieden sich anfangs nicht.

Während der Umfang vor, während und nach der Intervention erhoben wurde, erfolgte die Messung der Quadrizepskraft lediglich zweimal nach der Intervention. Unterschiede zwischen den Gruppen können so zwar aufgezeigt werden, unklar bleibt aber, ob diese Unterschiede vor dem Therapiebeginn bereits vorhanden waren. Die Umfangmessung wird als reliabel beschrieben, bei der Kraftmessung ist die Reliabilität und Validität unklar. Das Rehabilitationsprogramm bis Woche zwölf wird ausführlich beschrieben, genaue Angaben über das Vorgehen von Woche 12-24 fehlen. Unklar bleibt die effektive Zeit unter BFR in der BFRT-Gruppe. Degressions- und Progressionsmöglichkeiten der Übungen werden konkret erläutert, der im Endeffekt verwendete Load jedoch nicht. Ko-Interventionen werden nicht beschrieben.

Es wird deutlich auf die statistische Relevanz der Ergebnisse eingegangen. Auch werden (potenziell) klinisch relevante Resultate betont, auch wenn keine statistische Signifikanz vorliegt. Mehrere Resultate werden im Text nicht erläutert und sind lediglich tabellarisch ersichtbar. Die Resultate vom follow-up bei Woche 24 werden mehrheitlich nur tabellarisch aufgeführt. Die statistischen Tests sind zweckentsprechend gewählt. Dropouts werden erläutert und nicht in die statistische Analyse miteingeschlossen. Limitationen werden angegeben, unter anderem die kleine Stichprobe und fehlende Erfassung des loads, welcher eventuell zu tief für das

Erreichen von Hypertrophieeffekten war. Ein mögliches Bias* betrifft die finanzielle Entschädigung derjenigen Teilnehmenden, die aufgrund schlechter Testresultate vom Militärdienst freigestellt wurden. Die Angaben bezüglich klinisch relevanter oder potenziell klinisch relevanter Unterschiede sind in der Schlussfolgerung teilweise nicht deckend mit den beschriebenen Resultaten im Diskussionsteil. Zudem fehlt eine Interpretation der Resultate vom follow-up in Woche 24.

4.4 Tennent et al. (2017)

4.4.1 Zusammenfassung

Tennent et al. (2017) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss von BFRT auf Muskelkraft, Hypertrophie sowie funktionelle Alltagsaktivitäten und Schmerz in der Rehabilitation nach Kniearthroskopen. In dieser randomisiert kontrollierten Studie wurden Patienten und Patientinnen nur inkludiert, wenn bei der Arthroskopie keine Gewebsrekonstruktionen vorgenommen wurden. Als Ausschlusskriterien galten unter anderem das Vorliegen einer Diabeteserkrankung und das Vorkommen einer tiefen Venenthrombose oder vaskulären Erkrankungen in der Vergangenheit. Die 24 Teilnehmenden wurden randomisiert der BFRT-Gruppe (n=11) oder Kontrollgruppe (n=13) zugeordnet und waren durchschnittlich 37-jährig. Bezüglich der anthropometrischen Daten waren sich die Gruppen ähnlich.

Beide Gruppen folgten demselben physiotherapeutischen Programm für nicht-rekonstruktive Kniearthroskopen. Die BFRT-Gruppe absolvierte in der Physiotherapie jeweils drei zusätzliche Übungen unter Supervision. Details der Rehabilitation sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Tennent et al. (2017)

	BFRT-Gruppe	Kontrollgruppe
Start	2.-3. Woche postoperativ	
Häufigkeit / Dauer	2x / Woche für 6 Wochen	
Übungen	leg press, leg extension, reverse press	-
Load	30% 1RM	-
WH pro Set	30 / 15 / 15 / 15	-
BFR – Int. / kon.	kon.	-
Zeit unter BFR	max. 5 Minuten	-
Okklusionsdruck	80% LOP	-

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Tennent et al. (2017), 1RM = one repetition maximum, BFR = blood flow restriction, BFRT = blood flow restriction training, int. = intermittierend, kon. = kontinuierlich, LOP = limb occlusion pressure, max. = maximal, WH = Wiederholungen

Als Outcomes wurden die isokinetische Kraftmessung, der Oberschenkelumfang, die funktionelle Kraft und die Schmerzwahrnehmung definiert. Die Outcomes wurden jeweils vor und nach der Intervention gemessen.

Normalverteilte Daten wurden mittels eines zweiseitigen t-tests und einer ANOVA analysiert. Ausreisser bei der isokinetischen Kraftmessung wurden durch den Grubb test* ermittelt und eliminiert. Nichtparametrische Daten wurden anhand des Wilcoxon signed-rank test* analysiert. Das Signifikanzniveau wurde dabei auf $p < 0.05$ festgelegt. Sieben Dropouts wurden vermerkt, drei dieser Dropouts hatten die Therapie nicht begonnen.

Signifikante Resultate nach der sechswöchigen Intervention sind in Tabelle 12 ersichtlich. Vor der Intervention wurden keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt.

Tabelle 12: *signifikante Resultate von Tennent et al. (2017) nach der Intervention*

Outcome - Messmethode	Sign. Zeiteffekte	Sign. Gruppeneffekte
Isokinetische Kraft Q unkorrigiert - Dynamometer	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: Zunahme	keine
Isokinetische Kraft Q korrigiert - Dynamometer	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: Zunahme	Zugunsten BFRT-Gruppe
Oberschenkelumfang	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: k.V.	Zugunsten BFRT-Gruppe
Funktionelle Kraft - STS5	BFRT-Gruppe: Abnahme KG: Abnahme	keine
Funktionelle Kraft - TSA	BFRT-Gruppe: Abnahme KG: k.V.	Zugunsten BFRT-Gruppe
Schmerzempfinden - KOOS-Fragebogen	BFRT-Gruppe: Zunahme KG: Zunahme	keine

Anmerkung: eigene Darstellung in Anlehnung an Tennent et al. (2017), BFRT = blood flow restriction training, KG = Kontrollgruppe, KOOS = knee injury and osteoarthritis outcome score (Zunahme des Scores entspricht Abnahme des Schmerzes), Q = Quadriceps, sign. = signifikant, STS5 = sit to stand 5 times (Abnahme der Zeit entspricht Verbesserung der funktionellen Kraft), TSA = timed stair ascent (Abnahme der Zeit entspricht Verbesserung der funktionellen Kraft)

Tennent et al. (2017) konnten aufzeigen, dass sich die Kraft durch ein LL-RT unter BFR nach der Elimination von je einem Ausreisser pro Gruppe signifikant stärker verbesserte als in der Kontrollgruppe. Auch die Gruppenunterschiede im Oberschenkelumfang und im TSA sprechen für die Anwendung von zusätzlichen Übungen unter BFR im postoperativen Setting.

4.4.2 Kritische Würdigung

Der Zweck der Studie wird klar erläutert und Hintergrundliteratur wird aufgezeigt, nicht explizit dargelegt wird jedoch die Forschungslücke. Die Wahl des Studiendesigns ist angemessen. Ausschlusskriterien für die Population werden explizit genannt. Einschlusskriterien werden laufend erwähnt, jedoch nicht klar aufgezählt. Die Stichprobengrösse wird nicht begründet. Ebenfalls unklar bleibt, wieso die BFRT-Gruppe nach der Randomisierung aus elf und die Kontrollgruppe

aus 13 Teilnehmenden bestand. Vor der Intervention lagen bezüglich der Outcomes keine signifikanten Gruppenunterschiede vor, die BFRT-Gruppe startete jedoch generell mit schlechteren Werten im Schmerzempfinden, Umfang und TSA.

Die Validität und die Reliabilität der gewählten Messmethoden bleibt unklar, einzig der STS5 und der TSA wurden in einer Militärpopulation für valide erklärt. Bei der isokinetischen Kraftmessung fehlen Angaben bezüglich der verwendeten Bewegungsgeschwindigkeit ($^{\circ}/s$). Die durchgeführte Intervention wird beschrieben, Progressions- und Degressionsmöglichkeiten der Übungen sind jedoch nicht erläutert. Die maximale Okklusionsdauer von fünf Minuten wird beschrieben, wie lange die Okklusion danach gelöst wird, bleibt unklar. Es wird keine Aussage über möglichen Ko-Interventionen gemacht.

Die Ergebnisse werden konkret mit den Signifikanzwerten vorgelegt. Wichtige Unterschiede werden hervorgehoben, auch wenn keine statistische Signifikanz vorliegt. Zudem werden auch die Ergebnisse präsentiert, welche Ausreisser eliminieren. Die klinische Bedeutung der Ergebnisse wird aufgezeigt, Effektstärken werden nicht angegeben. Dropouts werden nur teilweise begründet, deren statistische Handhabung wird nicht beschrieben. Als Limitation wird eine zu kleine Stichprobe für das Aufzeigen möglicher Effekte beschrieben. Eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse zugunsten der BFRT-Gruppe wird erläutert, da deren Teilnehmende eventuell das Gefühl einer ausgeprägteren Therapie hatten. Die Schlussfolgerung der Studie ist nachvollziehbar beschrieben.

4.5 Qualitätsvergleich der Studien

Die Qualität der RCT's wurde anhand der PEDro-Skala ausgewertet und verglichen. In Tabelle 13 ist die Auswertung der vorgestellten Studien dargestellt.

Tabelle 13: Bewertung der Hauptstudien anhand der PEDro-Skala

PEDro-Skala	Hughes et al.	Iversen et al.	Mason et al.	Tennent et al.
1. Ein- und Ausschlusskriterien	Nein	Nein	Ja	Nein
2. Randomisierte Zuordnung	Ja	Ja	Ja	Ja
3. Verborgene Zuordnung	Ja	Nein	Ja	Ja
4. Ähnliche Gruppen	Ja	Ja	Ja	Ja
5. Probanden und Probandinnen geblindet	Nein	Nein	Nein	Nein
6. Therapierende geblindet	Nein	Nein	Nein	Nein
7. Untersuchende geblindet	Ja	Ja	Ja	Ja
8. mind. bei 85% ein Outcome gemessen	Ja	Nein	Ja	Ja
9. Behandlung wie zugeordnet oder intention to treat	Nein	Nein	Nein	Nein
10. bei mind. einem Outcome statistische Gruppenvergleiche	Ja	Ja	Ja	Ja
11. bei mind. einem Outcome Punkt- und Streuungsmasse	Ja	Ja	Ja	Ja
Finaler PEDro-Score	7/10	5/10	7/10	7/10

Anmerkung: eigene Darstellung, mind. = mindestens

Drei Studien zeigen eine vergleichbar gute Qualität von 7/10 Punkten auf Iversen et al. (2016) verzeichneten mit 5/10 Punkten den tiefsten Wert. In allen vier Studien waren weder die Therapeuten und Therapeutinnen noch die Patienten und Patientinnen geblindet. Ebenfalls führte keine der vier Studien eine intention to treat Analyse für die Dropouts durch. Einzig Iversen et al. (2016) führten keine verborgene Gruppenzuordnung der Teilnehmenden durch und es fehlen Angaben, ob bei 85% der Teilnehmenden mindestens ein Outcome gemessen wurde. Das erste Item, welches nicht in den Punktescore miteingerechnet wird, wurde lediglich von Mason et al. (2021) erfüllt.

4.6 Übersicht inkludierte Studien

In Tabelle 14 sind die vier analysierten Studien zusammengefasst.

Tabelle 14: Übersicht inkludierte Studien

	Hughes et al. (2019)	Iversen et al. (2016)	Mason et al. (2021)	Tennent et al. (2017)
Studiendesign	RCT	RCT	RCT	RCT
Stichprobe	n = 28 St. n. VKBR	n = 24 St. n. VKBR	n = 21 St. n. Meniskus- / Knorpeloperation	n = 24 St. n. Arthroskopie
Intervention	2x / Wo für 8 Wo HL-RT: 70% 1RM BFRT: 30% 1RM, 80% LOP	2x / d für 2 Wo KG: load unklar BFRT: load unklar, 130-180 mmHg	2-3x / Wo für 12 Wo, KG: unter 20-30% 1RM BFRT: unter 20-30% 1RM, 80% LOP	2x / Wo für 6 Wo KG: unklar BFRT: 30% 1RM, 80% LOP
Outcomes	O1: isokinetische Kraft Q O2: Muskelkraft Q 10RM O3: Muskeldicke Q O4: Schmerz (KOOS) O5: Schwellung Kniegelenk (Umfang)	O1: ACSA Q	O1: Isokinetische Kraft Q LSI O2: OS-Umfang LSI	O1: Isokinetische Kraft Q unkorrigiert O2: Isokinetische Kraft Q korrigiert O3: OS-Umfang O4: fkt. Kraft (STS5) O5: fkt. Kraft (TSA) O6: Schmerz (KOOS)

Signifikante Resultate (p < 0.05) nach Intervention	Zeiteffekte:	Zeiteffekte:	Zeiteffekte:	Zeiteffekte:
	O1: 60°/s: - (beide Gruppen) 150°/s, 300°/s: k.V (BFRT), - (HL-RT) O2: + (beide Gruppen) O3: + (beide Gruppen) O4: + (beide Gruppen) O5: - (beide Gruppen)	O1: - (beide Gruppen)	O1: + (beide Gruppen) O2: + (beide Gruppen)	O1: + (beide Gruppen) O2: + (beide Gruppen) O3: + (BFRT), k.V. (KG) O4: - (beide Gruppen) O5: - (BFRT), k.V. (KG) O6: + (beide Gruppen)
	Gruppeneffekte zugunsten BFRT: O1 (bei 150°/s, 300°/s) O4, O5	Gruppeneffekte: keine	Gruppeneffekte zugunsten BFRT: O1 und O2 keine, beide potenziell klinisch relevant	Gruppeneffekte zugunsten BFRT: O2, O3, O5

Anmerkung: eigene Darstellung, 1RM = one repetition maximum, + = Zunahme, - = Abnahme, ACSA = anatomische Querschnittsfläche, BFRT = blood flow restriction training, d = Tag, fkt. = funktionell, HL-RT = high-load resistance training, KG = Kontrollgruppe, KOOS = Knee injury osteoarthritis outcome score (Zunahme des Scores entspricht Abnahme des Schmerzes), k.V. = keine Veränderung, LOP = limb occlusion pressure, LSI = limb symmetry indices, mmHg = Millimeterquecksilbersäule, n = Stichprobengrösse, O = Outcome, OS = Oberschenkel, Q = Quadriceps, RCT = randomisiert kontrollierte Studie, St.n. = Status nach, STS5 = Sit to stand five times (Abnahme der Zeit entspricht Zunahme der funktionellen Kraft), TSA = timed stair ascent (Abnahme der Zeit entspricht Zunahme der funktionellen Kraft), VKBR = Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, Wo = Woche

5 Diskussion

In diesem Kapitel wird anhand einer Gegenüberstellung der vier Hauptstudien der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Anwendung eines LL-RT unter BFR nach einer Operation am Kniegelenk auf die Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps hat. Zu Beginn erfolgt eine gegenüberstellende Darstellung der Studienresultate. Anschliessend werden relevante Aspekte in Bezug auf die Stichprobe, Intervention und Messmethoden über die Studien hinweg verglichen, kritisch hinterfragt und diskutiert.

5.1 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Die ausgewählten Hauptstudien messen die Muskelmasse und die Muskelkraft des Quadriceps anhand verschiedener Parameter. Die Outcomevariablen und Resultate aller Hauptstudien sind in Tabelle 15 ersichtlich.

Tabelle 15: Übersicht über die Outcomevariablen und Resultate durch BFRT

Outcomevariablen	Hughes et al.	Iversen et al.	Mason et al.	Tennent et al.
<i>Muskelkraft</i>				
Isokinetische Kraft - Dynamometer	x		o	x
Muskelkraft - 10RM leg press	o			
Funktionelle Kraft - STS5				o
Funktionelle Kraft - TSA				x
<i>Muskelmasse</i>				
Muskeldicke - Ultraschall	o			
ACSA - MRI		o		
Oberschenkelumfang			o	x
<i>Beeinflussende Faktoren</i>				
Schmerzempfinden - KOOS-Fragebogen	x			o
Schwellung Kniegelenk - Umfangmessung	x			

Anmerkung: eigene Darstellung. Farblich hinterlegt sind signifikante Zeiteffekte durch BFRT (grün: Verbesserung, blau: unverändert, rot: Verschlechterung); x: signifikanter Gruppeneffekt zugunsten der BFRT-Gruppe, o: kein signifikanter Gruppenunterschied zwischen BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe
10RM = ten repetition maximum, ACSA = anatomische Querschnittsfläche, KOOS = knee injury osteoarthritis outcome score, MRI = Magnetresonanztomographie, STS5 = sit to stand five times, TSA = timed stair ascent

Um das Ausmass der Veränderungen der Muskelkraft und Muskelmasse durch ein LL-RT unter BFR einordnen zu können, wurde die Intervention in den vier Hauptstudien mit unterschiedlichen Kontrollgruppen verglichen. Mason et al. (2021) und Iversen et al. (2016) verglichen das LL-RT unter BFR mit einem konventionellen LL-RT. Tennent et al. (2017) untersuchten den Einfluss von zusätzlichen Übungen unter BFR, welche von der Kontrollgruppe nicht absolviert wurden. Als einzige Studie verglichen Hughes et al. (2019) ein LL-RT unter BFR mit einem HL-RT. Dies muss bei der Interpretation der Gruppeneffekte insofern beachtet werden, da bei Hughes et al. (2019) dementsprechend bereits gleiche Resultate in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe für eine Anwendung eines LL-RT unter BFR sprechen. Bei den drei anderen Studien von Iversen et al. (2016), Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) bedarf es signifikant besserer Resultate in der BFRT-Gruppe, um einen Vorteil des LL-RT unter zusätzlichem BFR aufzuzeigen.

5.1.1 Muskelkraft

Hughes et al. (2019), Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) massen die Muskelkraft anhand einer isokinetischen Kraftmessung. Hughes et al. (2019) massen die isokinetische Kraft bei 60°/s, 150°/s und 300°/s. Während diese über die Interventionsdauer in der HL-RT-Gruppe bei allen drei Geschwindigkeiten abnahm, konnte in der BFRT-Gruppe die isokinetische Kraft bei 180°/s und bei 300°/s erhalten werden. Somit ergaben sich bei 180°/s und 300°/s signifikant bessere Kraftwerte zugunsten der BFRT-Gruppe. Auch bei Tennent et al. (2017) zeigten sich nach der Elimination von je einem Ausreisser pro Gruppe ein signifikanter Unterschied der isokinetischen Kraft zugunsten der BFRT-Gruppe, wobei die Kraft in beiden Gruppen über die Zeit zunahm. Mason et al. (2021) massen die isokinetische Kraft bei 180°/s und 300°/s nur zwölf und 24 Wochen nach Interventionsbeginn. In beiden Gruppen kam es zu einer Zunahme der Kraft, dabei gab es jedoch potenziell klinisch relevante Unterschiede zugunsten der BFRT-Gruppe. Zusammenfassend zeigten sich also in allen drei Studien Veränderungen der isokinetischen Kraft des Quadriceps durch die

Anwendung eines LL-RT unter BFRT, wobei diese zusätzlich potentiell klinisch relevant oder signifikant besser ausfielen als in der Kontrollgruppe. Die hohe Aussagekraft über die effektive Kraft des Quadriceps durch die Messung anhand des Dynamometers unterstreicht die Relevanz dieser Ergebnisse (s. Kapitel 5.4.1).

Hughes et al. (2019) massen die Muskelkraft zusätzlich anhand des 10RM auf der leg press. Über die Interventionsdauer zeigte sich in beiden Gruppen eine vergleichbare Steigerung des Gewichts, was eine Zunahme der Muskelkraft aufzeigt. Als einzige Hauptstudie integrierten Tennent et al. (2017) auch funktionelle Kraftassessments. Durch die Intervention verbesserten sich die Werte des STS5 in beiden Gruppen, die Werte des TSA fielen lediglich in der BFRT-Gruppe besser aus. Somit zeigten sich also auch bei funktionellen Outcomemessungen durchgehend positive Veränderungen der Muskelkraft des Quadriceps durch das BFRT. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Outcomes 10RM auf der leg press, STS5 und TSA jeweils lediglich von einer Studie erfasst wurden und die Resultate somit nicht verglichen werden können.

Iversen et al. (2016) integrierten keine Messung der Muskelkraft in seinen Outcomevariablen.

5.1.2 Muskelmasse

Hughes et al. (2019) massen die Muskeldicke des Quadriceps mittels Ultraschall, wobei diese über die Interventionsdauer in beiden Gruppen in vergleichbarem Ausmass zunahm. Folglich zeigten sich durch ein LL-RT unter BFR ähnliche hypertrophe Veränderungen wie durch ein HL-RT. Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) massen die Muskeldicke jeweils durch eine Umfangmessung am Oberschenkel. In beiden Studien nahm der Umfang in der BFRT-Gruppe zu. Bei Mason et al. (2021) zeigte sich auch in der Kontrollgruppe eine Zunahme des Umfangs, es konnten jedoch potenziell klinisch relevante Unterschiede zugunsten der BFRT-Gruppe verzeichnet werden. Bei Tennent et al. (2017) konnte sogar ein signifikanter Unterschied zugunsten der BFRT-Gruppe nachgewiesen werden, da es in der Kontrollgruppe zu keiner Veränderung des Oberschenkelumfangs kam.

Im Gegensatz dazu verzeichneten Iversen et al. (2016) durch Berechnungen der Muskelquerschnittsfläche anhand von MRI-Aufnahmen keinen positiven Effekt des

BFRT auf die Muskelmasse des Quadriceps. In beiden Gruppen wurde über die Interventionsdauer eine vergleichbare Abnahme der Querschnittsfläche beobachtet.

5.1.3 Beeinflussende Faktoren

Da Schmerzen und Schwellungen einen inhibitorischen Effekt auf die neuronale Ansteuerung der Muskulatur haben (s. Kapitel 2.3.1), kann eine Reduktion dieser zu einer besseren Aktivierbarkeit der Muskulatur führen. Zudem kann bei geringerem Schmerz und weniger Schwellung das Training intensiver gestaltet werden, was wiederum mit erhöhtem Muskelwachstum verknüpft ist. Somit hat eine Reduktion von Schmerz und Schwellung indirekt einen positiven Einfluss auf Muskelkraft und Muskelmasse. Hughes et al. (2019) verwendeten als zusätzliche Outcomeparameter sowohl einen Fragebogen zum Schmerzempfinden als auch den Kniegelenksumfang zur Erfassung der Schwellung. Der KOOS-Score nahm in beiden Gruppen zu, was einer Reduktion des Schmerzempfindens entspricht (s. Kapitel 2.6.4). Der Kniegelenksumfang verkleinerte sich in beiden Gruppen, was mit einer Reduktion der Schwellung interpretiert wird. Beide Messungen zeigten signifikante Gruppeneffekte zugunsten der BFRT-Gruppe. Auch Tennent et al. (2017) verwendeten den KOOS-Fragebogen, wobei sich im Gegensatz zu den Ergebnissen von Hughes et al. (2019) das Schmerzempfinden in beiden Gruppen vergleichbar verbesserte. Von Iversen et al. (2016) und Mason et al. (2021) wurden keine Outcomemessungen bezüglich möglicher beeinflussender Faktoren vorgenommen.

Im Folgenden erfolgt eine vertiefte Interpretation der dargestellten Resultate anhand der Stichprobe, der Intervention und der verwendeten Messmethoden. Es werden unterschiedliche Erklärungsansätze der Ergebnisse erläutert und die Vergleichbarkeit sowie Übertragbarkeit der Resultate diskutiert.

5.2 Gegenüberstellung der Stichprobe

Die Stichproben stellen sich insgesamt in allen vier Studien als vergleichbar dar. Da die Studien eine sehr konkrete Stichprobe untersuchten, ist die Generalisierbarkeit der Resultate jedoch limitiert.

5.2.1 Stichprobengrösse

Alle untersuchten Hauptstudien weisen eine ähnliche Stichprobengrösse auf, wobei Mason et al. (2021) mit 22 Teilnehmenden die kleinste und Hughes et al. (2019) mit 28 Teilnehmenden die grösste Stichprobe vorweisen. Iversen et al. (2016) und Tennent et al. (2017) inkludierten jeweils 24 Teilnehmende. Hughes et al. (2019) führten vorgängig eine sample size calculation und Mason et al. (2021) eine a priori power analyse durch, wobei nur Hughes et al. (2019) die berechnete Stichprobengrösse auch tatsächlich erreichten. Iversen et al. (2016) und Tennent et al. (2017) gaben keine vorgängige Berechnung oder Begründung der Stichprobengrösse an. Somit stellt sich die Frage, ob die Stichproben bei Mason et al. (2021), Iversen et al. (2016) und Tennent et al. (2017) überhaupt ausreichend Teilnehmende beinhalteten, um signifikante Effekte aufzeigen zu können.

5.2.2 Alter der Teilnehmenden

Die Teilnehmenden in den analysierten Hauptstudien waren durchschnittlich zwischen 23- und 37-jährig. Das Durchschnittsalter der Probanden und Probandinnen in der Studie von Mason et al. (2021) lag bei 23 Jahren, in der Studie von Tennent et al. (2017) bei 37 Jahren. Bei Hughes et al. (2019) und Iversen et al. (2016) waren die Teilnehmenden durchschnittlich 27-29-jährig. Da somit alle Studien eher junge Probanden und Probandinnen inkludierten, ist die Vergleichbarkeit der Resultate zwischen diesen vier Studien gegeben. Bei der Übertragung der Ergebnisse auf eine jüngere oder ältere Population muss das Alter der Stichprobe jedoch entsprechend berücksichtigt werden.

5.2.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Entsprechend der Fragestellung wurde bei allen Teilnehmenden der Hauptstudien eine Operation am Kniegelenk durchgeführt. Bei Hughes et al. (2019) und Iversen et al. (2016) wurden Patienten und Patientinnen nach VKBR mittels Hamstringsautograft inkludiert. In beiden Studien wurden nur Probanden und

Probandinnen gewählt, welche sich sportlich betätigten und einen aktiven Lebensstil führten. Bei Mason et al. (2021) wurden Probanden und Probandinnen nach Meniskus- und Knorpeloperationen untersucht. Alle Teilnehmenden dieser Studie waren aktiv wehrdienstleistende Personen. Tennent et al. (2017) inkludierten Patienten und Patientinnen nach Kniearthroskopien, das Aktivitätslevel der Stichprobe wurde nicht weiter erläutert. Somit handelt es sich bei Hughes et al. (2019), Iversen et al. (2016) und Mason et al. (2021) um eine eher aktive Stichprobe. Dies spricht für eine gute Vergleichbarkeit innerhalb dieser drei Studien. Bei der Übertragung der Resultate auf die breite Bevölkerung muss dies insofern beachtet werden, da bei untrainierten Personen zu Beginn eines Trainingsprozesses ein stärkerer Kraftzuwachs zu erwarten ist als bei bereits trainierten Personen (Lopez et al., 2021). Über alle Studien hinweg wurden zudem ähnliche Ausschlusskriterien aufgeführt, unter anderem kardiovaskuläre Erkrankungen und Begleitverletzungen. Dies lässt einen Vergleich dieser vier Studien zu, schränkt aber die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine Population mit Begleiterkrankungen ein.

5.3 Gegenüberstellung der Intervention

Die durchgeführten Interventionen weisen in Bezug auf unterschiedliche Aspekte eine grosse Varianz zwischen den vier Studien auf, wodurch die Vergleichbarkeit der Resultate vermindert wird.

5.3.1 Startzeitpunkt

Der Beginn der Intervention wurde in den vier Studien zu unterschiedlichen Zeitpunkten gesetzt. Hughes et al. (2019) und Tennent et al. (2017) starteten beide in der zweiten bis dritten postoperativen Woche mit dem Training und weisen somit einen vergleichbaren Startzeitpunkt auf. In Bezug auf die Wundheilungsphasen entspricht dies dem Start mit dem LL-RT in der Proliferationsphase, was die aktuellen Trainingsempfehlungen erfüllt (s. Kapitel 2.3.1). Es gilt jedoch zu beachten, dass in der Studie von Hughes et al. (2019) die Kontrollgruppe von Beginn an ein HL-RT durchführte. Aufgrund der reduzierten Belastbarkeit des Gewebes während der ersten beiden Wundheilungsphasen wird ein HL-RT jedoch erst im Verlauf der Remodellierungsphase empfohlen (s. Kapitel 2.3.1). Der verfrühte Start mit dem HL-

RT kann als mögliche Erklärung für die signifikant schlechteren Ergebnisse der HL-RT-Gruppe in Bezug auf Schmerz und Schwellung betrachtet werden. Zusätzlich könnte jedoch auch die Anwendung des LL-RT unter BFR zu einer Reduktion von Schmerz und Schwellung geführt haben. Ein reduziertes Schmerzempfinden durch ein BFRT konnte auch von Li et al. (2021) nachgewiesen werden. Dies unterstreicht die Überlegenheit eines LL-RT unter BFR gegenüber eines HL-RT in der Proliferationsphase, zumal die BFRT-Gruppe auch in Bezug auf die Ergebnisse der Muskelkraft und Muskelmasse der HL-RT-Gruppe gleichgesetzt oder überlegen war.

Deutlich früher fiel der Trainingsstart in den Studien von Mason et al. (2021) und Iversen et al. (2016) aus. Mason et al. (2021) setzten den Startzeitpunkt bereits innerhalb der ersten postoperativen Woche. Da keine genauen Kriterien für die Trainingsfreigabe beschrieben wurden, kann nicht beurteilt werden, ob der Trainingsstart somit in der Proliferationsphase oder gar in der akuten Phase lag. Bereits am zweiten postoperativen Tag starteten die Teilnehmenden von Iversen et al. (2016) mit dem Trainingsprogramm. Entsprechend der Wundheilungsphasen entspricht dieser Zeitraum der akuten Phase. In dieser Phase ist ein Krafttraining aufgrund der Entzündungssituation kontraindiziert, es sollten lediglich isometrische Anspannungsübungen zur Verbesserung der neuronalen Ansteuerung der Muskulatur durchgeführt werden (s. Kapitel 2.3.1). Folglich stellt sich die Frage, wie sinnvoll und zielführend die Wahl des Trainingsstarts in Bezug auf das Studienziel einer Atrophieverhinderung ist. Somit kann die Wahl des Trainingsbeginns bei Iversen et al. (2016) als Einflussfaktor auf die ausbleibenden Verbesserungen der Muskelmasse betrachtet werden.

5.3.2 Trainingsfrequenz und Interventionsdauer

Die Trainingsfrequenz liegt bei den Studien von Hughes et al. (2019), Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) vergleichbar bei zwei bis drei Trainings pro Woche, was auch den aktuellen Empfehlungen entspricht (s. Tabelle 1, Kapitel 2.5.1). Die Interventionsdauer unterscheidet sich jedoch zwischen den drei Studien. Mason et al. (2021) weisen mit zwölf Wochen die längste Interventionsdauer auf, gefolgt von Hughes et al. (2019) mit acht Wochen und Tennent et al. (2017) mit sechs Wochen. Aufgrund der unterschiedlichen Interventionsparameter in Bezug auf den

Trainingsstart, die Übungen und deren Intensität kann der Einfluss der Interventionsdauer auf die Resultate der Muskelkraft und Muskelmasse nicht direkt verglichen werden. Es kann jedoch aufgezeigt werden, dass ein LL-RT unter BFR bei Tennent et al. (2017) bereits nach sechs Wochen zu positiven muskulären Veränderungen führte.

Die Studie von Iversen et al. (2016) kann weder in Bezug auf die Frequenz noch auf die Interventionsdauer mit den anderen Studien verglichen werden. Mit zwei Trainingseinheiten pro Tag zeigt sich eine deutliche höhere Frequenz, im Gegenzug wurde die Intervention jedoch lediglich für zwei Wochen und somit deutlich kürzer als in den anderen Studien durchgeführt. Die Auswahl dieser Parameter wurde durch Iversen et al. (2016) nicht begründet, sie entsprechen aber den aktuellen Empfehlungen (s. Tabelle 1, Kapitel 2.5.1). Eine mögliche Erklärung für die hohe Trainingsfrequenz könnte in den durchgeführten Übungen liegen, welche alle eine sehr niedrige Belastung aufweisen und eher als Aktivierungsübungen als ein LL-RT gewertet werden müssen. Fraglich bleibt, ob in diesem Fall eine zweiwöchige Interventionsdauer ausreichend ist, um Effekte im Zuwachs von Muskelmasse aufzuzeigen. Patterson et al. (2019) zeigten auf, dass in unterschiedlichen Studien bei einer gesunden Stichprobe bereits nach einer bis drei Wochen eines LL-RT unter BFR Veränderungen der Muskelkraft und Muskelmasse auftraten. Bei allen Studien wurde jedoch mindestens mit einem load von 20% des 1RM trainiert, wobei dies bei Iversen et al. (2016) nicht der Fall war (s. Kapitel 5.3.3).

Lediglich die Teilnehmenden von Iversen et al. (2016) führten das Krafttraining nicht unter Supervision von Mitarbeitenden der Studie sondern selbstständig zu Hause aus. Die Überprüfung der korrekten Umsetzung der festgelegten Trainingsparameter war dementsprechend nicht gegeben und muss als weiterer Einflussfaktor auf die Resultate von Iversen et al. (2016) berücksichtigt werden.

5.3.3 Übungen und Intensität

Insgesamt zeigt sich bei den Übungen, dem gewählten load und den Wiederholungszahlen eine grosse Bandbreite, jedoch können verschiedene Überschneidungen zwischen den vier Studien aufgezeigt werden.

Sowohl Iversen et al. (2016) als auch Mason et al. (2021), welche beide einen frühen Interventionsstart in der akuten Phase wählten, passten ihre Übungsauswahl und die Intensität dementsprechend an die Wundheilungsphase an. Beide führten sowohl in der BFRT-Gruppe als auch der Kontrollgruppe unbelastete Aktivierungsübungen in Form von Quadricepsisometrien, leg extensions über eine Knierolle und aktiven straight leg raises aus. Während Iversen et al. (2016) aufgrund der kurzen Interventionsdauer keine Progression der Übungen aufwiesen, integrierten Mason et al. (2021) ab der siebten postoperativen Woche in der Remodellierungsphase zusätzlich Squats und einbeinige Ausführungen auf der leg press. Während Iversen et al. (2016) alle Übungen ohne Zusatzgewicht absolvieren liessen, lag der load bei Mason et al. (2021) unter 20-30% des 1RM. Folglich wurde in beiden Studien mit einem load trainiert, welcher unter den für einen Kraftzuwachs oder Hypertrophieeffekt benötigten 20-40% des 1RM liegt (s. Tabelle 1, Kapitel 2.5.1). Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse von Iversen et al. (2016) und Mason et al. (2021) insofern berücksichtigt werden, da somit ausbleibende oder lediglich geringe Verbesserungen in Kraft und Masse auf einen zu geringen load und nicht auf eine fehlende Wirksamkeit des BFRT zurückzuführen sein können.

Hughes et al. (2019) und Tennent et al. (2017) liessen als Übung beide die einbeinige Ausführung der leg press bei einem load von 30% des 1RM ausführen. Im Hinblick auf das Ziel der Quadricepskräftigung muss beachtet werden, dass es auf der leg press je nach Fusspositionierung und Hüftgelenkwinkel auch zu einer Aktivierung der Hüftgelenksexpressoren kommen kann (Martín-Fuentes et al., 2020). Eine isolierte Aktivierung des Quadriceps ist lediglich bei Übungen in der offenen Kette wie bei der leg extension gegeben (Noehren & Snyder-Mackler, 2020). In Bezug auf die Messung der isokinetischen Kraft in der offenen Kette* verzeichneten Hughes et al. (2019) als einzige Studie lediglich einen Erhalt der Kraft durch ein BFRT. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass sie die Teilnehmenden lediglich in der geschlossenen Kette* auf der leg press trainieren liessen. Somit kann hinterfragt werden, ob in Bezug auf die isokinetische Messung bei Hughes et al. (2019) die Durchführung zusätzlicher Übungen in der offenen Kette sinnvoll gewesen wäre. Die Wahl einer Übung in der geschlossenen Kette kann insofern begründet werden, da diese eine funktionellere Bewegungsausführung darstellen.

Zusätzlich zur leg press führten die Teilnehmenden bei Tennent et al. (2017) einbeinige leg extensions und reverse press aus, ebenfalls unter einem load von 30% des 1RM. In Bezug auf die Studie von Tennent et al. (2017) muss hervorgehoben werden, dass die beschriebenen Kräftigungsübungen lediglich von der BFRT-Gruppe durchgeführt wurden. In der Kontrollgruppe wurde kein spezifisches Krafttraining durchgeführt. Dementsprechend sind die besseren Resultate in der BFRT-Gruppe von Tennent et al. (2017) unter diesem Vorbehalt möglicherweise auch auf die zusätzlichen Übungen und nicht lediglich auf den BFR-Stimulus zurückzuführen.

Die Serien und Wiederholungszahlen der BFRT-Gruppen überschneiden sich bei Hughes et al. (2019), Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017), welche alle bei jeder Übung die folgende Wiederholungszahl pro Serie wählten: 30/15/15/15. Dies entspricht den Empfehlungen für ein LL-RT unter BFR (s. Tabelle 1, Kapitel 2.5.1). Iversen et al. (2016) liessen von jeder Übung fünf Serien à je 20 Wiederholungen ausführen und kamen damit im Vergleich zu den anderen drei Studien insgesamt auf mehr Wiederholungen pro Übung. Dies widerspiegelt sich bei Iversen et al. (2016) nicht in besseren Resultaten, wobei diese möglicherweise massgeblich vom zu gering gewählten load beeinflusst wurden.

5.3.4 BFR-Stimulus

Der BFR-Stimulus ist über die Studien von Hughes et al. (2019), Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) insofern gut vergleichbar, da alle mit individualisierten Druckangaben arbeiteten und die Okklusion bei 80% des LOP festlegten. Dieses Vorgehen entspricht den aktuellen Empfehlungen (s. Tabelle 1, Kapitel 2.5.1) und führte in allen drei Studien zu positiven Resultaten des BFRT. Die Vergleichbarkeit der drei Studien mit Iversen et al. (2016) ist gering, da die Druckangaben nicht individuell angepasst und in mmHg dokumentiert wurden. Diese fehlende Individualisierung des Okklusionsdruckes könnte als weiterer Einflussfaktor auf die fehlenden Effekte des BFRT in den Resultaten von Iversen et al. (2016) gewertet werden.

In Bezug auf die Form und Zeit des Stimulus zeigen die Studien eine geringere Vergleichbarkeit. Mason et al. (2021) und Iversen et al. (2016) wählten eine

intermittierende Form, Tennent et al. (2017) eine konstante Form bis maximal fünf Minuten und bei Hughes et al. (2019) fehlen diesbezügliche Informationen. Sowohl die Wahl einer intermittierenden Form aus Sicherheitsgründen als auch die Wahl einer konstanten Form mit möglicherweise grösseren Hypertrophieeffekten (s. Kapitel 2.5.1) ist nachvollziehbar. Da diese ausgeprägteren Hypertrophieeffekte durch die konstante Form noch nicht ausreichend belegt sind, wird aus Sicherheitsgründen im postoperativen Setting die intermittierende Form empfohlen.

5.4 Gegenüberstellung der Messmethoden

Über die vier Studien hinweg wurden die Resultate bezüglich Muskelkraft, Muskelmasse und beeinflussender Faktoren mittels unterschiedlicher Messmethoden und zu unterschiedlichen Messzeitpunkten erhoben.

5.4.1 Messinstrumente

Die Messung der Muskelkraft des Quadriceps erfolgte mittels Dynamometer (Hughes et al., 2019; Mason et al. 2021; Tennent et al. 2017), 10RM auf der leg press (Hughes et al., 2019) sowie den funktionellen Assessments STS5 und TSA (Tennent et al., 2017). Mit dem Dynamometer wird die isokinetische Muskelkraft in der offenen Kette gemessen, wodurch eine genaue Aussage über die selektive Kraft des Quadriceps getätigt werden kann (Noehren & Snyder-Mackler, 2020). Die Messung des 10RM auf der leg press erfolgt in der geschlossenen Kette, wodurch zusätzlich zum Quadriceps weitere Muskeln der unteren Extremität, wie beispielsweise die Hüftgelenksextensoren, aktiviert werden (Martín-Fuentes et al., 2020). Somit ermöglicht das 10RM lediglich eine indirekte Aussage über die Kraft der unteren Extremität. Hughes et al. (2019) erhoben mittels einer Messung der Interklassenkorrelation die Reliabilität beider Outcomes und konnten aufzeigen, dass sowohl der Dynamometer als auch das 10RM auf der leg press eine gute Reliabilität aufweisen. Die Assessments des STS5 und TSA weisen bei einer jungen und aktiven Population ebenfalls eine sehr gute Reliabilität auf (Wilken et al., 2012). Jedoch sind sie lediglich als indirekte Messverfahren der funktionellen Kraft der unteren Extremität zu betrachten. Weitere Faktoren wie beispielsweise das Gleichgewicht beeinflussen die Ergebnisse der funktionellen Assessments

massgeblich (Casaña et al., 2021; Tiwari et al., 2019). Bei der Interpretation der Resultate der Muskelkraft muss somit berücksichtigt werden, dass lediglich die Messungen mittels Dynamometer eine selektive Aussage über die effektive Kraft des Quadriceps zulassen.

Die Beurteilung der Muskelmasse des Quadriceps erfolgte durch eine Messung der Muskeldicke mittels Ultraschall (Hughes et al., 2019), Berechnung der anatomischen Querschnittsfläche mittels MRI-Aufnahmen (Iversen et al. 2016) und Umfangmessung des Oberschenkels (Mason et al., 2021; Tennent et al. 2017). Die Messung der Muskeldicke mittels Ultraschall wurde durch die Berechnung einer Interklassenkorrelation von Hughes et al. (2019) als reliables Messverfahren beurteilt. Iversen et al. (2016) wählten zur Bestimmung der Muskelmasse die Berechnung der anatomischen Querschnittsfläche mittels MRI-Aufnahmen. Laut Akima & Furukawa (2005) würde jedoch die Berechnung des Muskelvolumens eine akkuratere Aussage über die Muskelmasse erlauben. Die Umfangmessung des Oberschenkels weist eine gute Reliabilität auf (Soderberg et al., 1996), stellt jedoch lediglich ein indirektes Messverfahren der Muskelmasse dar. Unterschiedliche bindegewebliche Veränderungen oder Schwellungszustände können als weitere Faktoren ebenfalls zu Umfangveränderungen des Oberschenkels führen. So konnten Arangio et al. (1997) aufzeigen, dass postoperativ keine Korrelation zwischen dem Oberschenkelumfang und dem Muskelquerschnitt des Quadriceps nachgewiesen werden kann. Dies sollte bei der Interpretation der Resultate der Umfangmessungen von Mason et al. (2021) und Tennent et al. (2017) berücksichtigt werden.

Als beeinflussende Faktoren wurden die Outcomes Schmerz und Schwellung des Kniegelenks berücksichtigt. Das subjektive Schmerzempfinden wurde durch Hughes et al. (2019) und Tennent et al. (2017) mittels einer Subskala des KOOS-Fragebogens objektiviert, welcher nachweislich eine gute Validität wie auch Reliabilität für eine aktive Population aufweist (Salavati et al., 2011). Die Messung der postoperativen Schwellung des Kniegelenks mittels Umfangmessung, welche von Hughes et al. (2019) durchgeführt wurde, weist ebenso eine hohe Reliabilität auf (Yau et al., 2022).

5.4.2 Messzeitpunkte

In Bezug auf die Messzeitpunkte der Outcomevariablen zeigen sich bei allen Studien ausser bei Mason et al. (2021) ein prä-post-Design. Durch die Messungen vor und nach der Intervention kann eine klare Aussage über den Effekt der Intervention getätigt werden. Mason et al. (2021) wählten das prä-post-Design für das Outcome der Muskelmasse, die isokinetischen Kraftwerte wurden jedoch lediglich zwölf und 24 Wochen nach Interventionsstart gemessen. Somit zeigten sich in Bezug auf die isokinetische Kraft des Quadriceps bei Mason et al. (2021) über die gesamte Interventionsdauer möglicherweise grössere Veränderungen, als sie durch die gewählten Messzeitpunkte aufgezeigt werden konnten.

6 Schlussfolgerung

6.1 Beantwortung der Fragestellung

Die Fragestellung, welchen Einfluss die Anwendung eines LL-RT unter BFR nach einer Operation am Kniegelenk auf die Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps hat, kann basierend auf den Ergebnissen der inkludierten Studien nicht abschliessend beantwortet werden. Eine Mehrheit der Studien zeigen auf, dass das BFRT im genannten Setting sowohl in Bezug auf unterschiedliche Outcomevariablen der Muskelkraft als auch der Muskelmasse als wirksame Intervention eingesetzt werden kann.

In drei der vier analysierten Studien kam es über die Interventionsdauer durch ein LL-RT unter BFR zu einer signifikanten Zunahme der Muskelkraft und Muskelmasse des Quadriceps. Die Veränderungen zeigten zudem jeweils in mindestens einem Outcomeparameter signifikant bessere oder potenziell klinisch relevante Unterschiede zugunsten der BFRT-Gruppe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Eine Studie konnte keinen Effekt des LL-RT unter BFR nachweisen, über die Interventionsdauer zeigte sich eine Abnahme der Muskelmasse.

Die Analyse der inkludierten Studien lässt die Schlussfolgerung zu, dass vor allem die Wahl der genauen Interventionsparameter wie der Startzeitpunkt, die Intensität und der BFR-Stimulus die Wirksamkeit des BFRT massgeblich beeinflussen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Forschung auf diesem Gebiet, um diesbezüglich optimale Empfehlungen abgeben zu können.

6.2 Praxistransfer

In der klinischen Praxis der Physiotherapie sollte BFRT vermehrt als alternative Trainingsmethode in der frühen Rehabilitation nach Operationen am Kniegelenk thematisiert werden. Die Anwendung des LL-RT unter BFR verfolgt das Ziel, der Ausbildung von Atrophien des Quadriceps entgegenzuwirken, solange aufgrund von Wundheilungsprozessen die Verwendung von höheren Gewichten kontraindiziert ist. Das BFRT soll folglich mit dem Ziel des Erhalts und Aufbaus von Muskelkraft und Muskelmasse in physiotherapeutische Sequenzen der postoperativen Rehabilitation integriert werden.

Entsprechend der Analyse der Studien lassen sich aktuell folgende Empfehlungen für die praktische Umsetzung abgeben. Der Start mit dem BFRT soll idealerweise individuell auf den Patienten oder die Patientin abgestimmt werden und nach dem Abklingen der Entzündungszeichen in der Proliferationsphase erfolgen. Übungen zur Quadricepskräftigung sollen unter einem load von 20-40% des 1RM mit den folgenden Wiederholungszahlen pro Set durchgeführt werden: 30/15/15/15. Das Training soll zwei bis drei Mal wöchentlich erfolgen, sofern die Intervention über mindestens vier Wochen durchgeführt wird. In Bezug auf den BFR-Stimulus soll für die untere Extremität ein LOP von 80% verwendet werden. In der frühen Phase der Rehabilitation wird die Wahl einer intermittierenden Form empfohlen, wobei die Zeit unter BFR pro Übung 5-10 Minuten nicht übersteigen soll. Ein möglicher hinderlicher Faktor für die Durchführung eines BFRT zeigt sich in der Beschaffung speziell dafür benötigten Materials. Für eine sichere Anwendung sollen pneumatische Manschetten mit integrierter LOP-Technologie für die Einstellung der individualisierten Okklusion eingesetzt werden. Die Verfügbarkeit dieser Manschetten und mögliche Anschaffungskosten müssen in der Planung eines BFRT berücksichtigt werden.

Diese Empfehlungen basieren auf der aktuellen Literatur und sind aufgrund der laufenden Forschung in diesem Bereich nicht als abschliessend zu betrachten.

6.3 Limitationen

Einige Aspekte schränken die Aussagekraft der vorliegenden Bachelorarbeit ein. Zum einen entsprachen lediglich vier Studien mit jeweils geringer Anzahl von Teilnehmenden den Ein- und Ausschlusskriterien, was die Aussagekraft der vorliegenden Resultate schmälert. Alle inkludierten Hauptstudien schliessen Probanden und Probandinnen jüngeren Alters und aus einer eher aktiven Population ein, was die Übertragbarkeit auf die breite Bevölkerung limitiert. Die Variation in der Dauer und Intensität der Intervention sowie der Messmethoden schränken die Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb dieser Arbeit ebenfalls ein. Weiter wurde das BFRT mit unterschiedlichen Kontrollgruppen verglichen, was die Vergleichbarkeit der Gruppeneffekte limitiert. Eine mögliche Verzerrung betrifft die Beurteilung der Messverfahren, deren Güte teils eigens durch die Verfasser und Verfasserinnen der Hauptstudien validiert wurden.

6.4 Weiterführende Forschungsfragen

Da die Fragestellung nicht abschliessend beantwortet werden kann, wird das Durchführen weiterer Studien empfohlen. Hierbei wird eine Vergrösserung der Stichproben der RCT's als sinnvoll erachtet, damit signifikante Effekte aufgezeigt werden können und die Aussagekraft der Studienergebnisse erhöht wird. Zudem fehlen Studien, in denen eine weniger aktive Stichprobe und Teilnehmende einer älteren Generation im postoperativen Setting inkludiert werden. Auch besteht die Notwendigkeit standardisierter Empfehlungen für die Durchführung eines BFRT in Bezug auf den Startzeitpunkt, die Dauer sowie den BFR-Stimulus. Ausserdem sollte in weiteren Studien der genauere Effekt von BFRT auf Schmerz und Schwellung in der postoperativen Phase untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- Akima, H., & Furukawa, T. (2005). Atrophy of thigh muscles after meniscal lesions and arthroscopic partial meniscectomy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 13(8), 632–637.
<https://doi.org/10.1007/s00167-004-0602-9>
- Allen, D. L., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1999). Myonuclear domains in muscle adaptation and disease. *Muscle & Nerve*, 22(10), 1350–1360.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4598\(199910\)22:10<1350::AID-MUS3>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4598(199910)22:10<1350::AID-MUS3>3.0.CO;2-8)
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Anderson, F. A., & Spencer, F. A. (2003). Risk Factors for Venous Thromboembolism. *Circulation*, 107(23_suppl_1), I–9.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000078469.07362.E6>
- Arangio, G. A., Chen, C., Kalady, M., & Reed, J. F. (1997). Thigh Muscle Size and Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Rehabilitation. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 26(5), 238–243.
<https://doi.org/10.2519/jospt.1997.26.5.238>
- Banzer, W., Pfeifer, K., & Vogt, L. (2004). *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin*. Springer-Verlag.
- Bennell, K., Dobson, F., & Hinman, R. (2011). Measures of physical performance assessments: Self-Paced Walk Test (SPWT), Stair Climb Test (SCT), Six-Minute Walk Test (6MWT), Chair Stand Test (CST), Timed Up & Go (TUG), Sock Test, Lift and Carry Test (LCT), and Car Task. *Arthritis Care & Research*, 63(S11), S350–S370. <https://doi.org/10.1002/acr.20538>
- Bond, C. W., Hackney, K. J., Brown, S. L., & Noonan, B. C. (2019). Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following

Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 49(1), 17–27.

<https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8375>

Brandner, C. R., Kidgell, D. J., & Warmington, S. A. (2015). Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), 770–777. <https://doi.org/10.1111/sms.12297>

Casaña, J., Calatayud, J., Silvestre, A., Sánchez-Frutos, J., Andersen, L. L., Jakobsen, M. D., Ezzatvar, Y., & Alakhdar, Y. (2021). Knee Extensor Muscle Strength Is More Important Than Postural Balance for Stair-Climbing Ability in Elderly Patients with Severe Knee Osteoarthritis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073637>

Chin, C., Sayre, E. C., Guermazi, A., Nicolaou, S., Esdaile, J. M., Kopec, J., Thorne, A., Singer, J., Wong, H., & Cibere, J. (2019). Quadriceps Weakness and Risk of Knee Cartilage Loss Seen on Magnetic Resonance Imaging in a Population-based Cohort with Knee Pain. *The Journal of Rheumatology*, 46(2), 198–203. <https://doi.org/10.3899/jrheum.170875>

Clark, B. C., Manini, T. M., Hoffman, R. L., Williams, P. S., Guiler, M. K., Knutson, M. J., McGlynn, M. L., & Kushnick, M. R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(5), 653–662. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x>

Cruz-Martínez, A., Ramírez, A., & Arpa, J. (2000). Quadriceps atrophy after knee traumas and immobilization: Electrophysiological assessment. *European Neurology*, 43(2), 110–114. <https://doi.org/10.1159/000008145>

Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>

- Gastin, P. B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Gavanda, S., & Isenmann, E. (2021). Evidenz von Trainingsempfehlungen für ein Hypertrophietraining. *B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 37(2), 77–82. <https://doi.org/10.1055/a-1382-2776>
- Gerber, J. P., Marcus, R. L., Dibble, L. E., & LaStayo, P. C. (2009). The Use of Eccentrically Biased Resistance Exercise to Mitigate Muscle Impairments Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Short Review. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 1(1), 31–38.
<https://doi.org/10.1177/1941738108327531>
- Glass, N. A., Torner, J. C., Frey Law, L. A., Wang, K., Yang, T., Nevitt, M. C., Felson, D. T., Lewis, C. E., & Segal, N. A. (2013). The relationship between quadriceps muscle weakness and worsening of knee pain in the MOST cohort: A 5-year longitudinal study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 21(9), 1154–1159.
<https://doi.org/10.1016/j.joca.2013.05.016>
- Goldberg, A., Chavis, M., Watkins, J., & Wilson, T. (2012). The five-times-sit-to-stand test: Validity, reliability and detectable change in older females. *Aging Clinical and Experimental Research*, 24(4), 339–344.
<https://doi.org/10.1007/BF03325265>
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Stout, J. R., Fukuda, D. H., & Willoughby, D. S. (2016). Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise: Implications for Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 46(5), 671–685. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0450-4>
- Gustafsson, T., Osterlund, T., Flanagan, J. N., von Waldén, F., Trappe, T. A., Linnehan, R. M., & Tesch, P. A. (2010). Effects of 3 days unloading on molecular regulators of muscle size in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(3), 721–727. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00110.2009>

- Haas, H.-J., & Fox, T. (2005). Muskelphysiologie verstehen: Krafttraining in der Rehabilitation. *physiopraxis*, 3, 24–26. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1307849>
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (1990). *Sportmedizin—Arbeits- und Trainingsgrundlagen* (3. Auflage). Schattauer Verlag.
- Huch, R., & Jürgens, K. D. (Hrsg.). (2019). *Mensch Körper Krankheit* (8. Auflage). Elsevier.
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1003–1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
- Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Medicine*, 49(11), 1787–1805. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>
- Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 115–118. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>
- Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Medicine*, 46(6), 913–921. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0473-5>
- Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Mechanisms of Blood Flow Restriction: The New Testament. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 72–79. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000252>

- Karpiński, R., Jaworski, Ł., Jonak, J., & Krakowski, P. (2019). Stress distribution in the knee joint in relation to tibiofemoral angle using the finite element method. *MATEC Web of Conferences*, 252, 07007. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201925207007>
- Keays, S. L., Bullock-Saxton, J. E., Newcombe, P., & Keays, A. C. (2003). The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(2), 231–237. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00160-2)
- Keller, K., & Engelhardt, M. (2013). Muskelatrophie durch Mobilisationseinschränkung. *Sportverletzung · Sportschaden*, 27(2), 91–95. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1335159>
- Keller, K., & Engelhardt, M. (2017). Arthrogene Muskelinhibition und ihre Bedeutung. *manuelletherapie*, 21(2), 57–61. <https://doi.org/10.1055/s-0043-105161>
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics.
- Kilroe, S. P., Fulford, J., Jackman, S. R., Van Loon, L. J. C., & Wall, B. T. (2020). Temporal Muscle-specific Disuse Atrophy during One Week of Leg Immobilization. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(4), 944–954. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002200>
- Kraftmessung Kniegelenk (Isomed 2000)*. (o.D.). Bewegungslabor - Diagnostik-Zentrum für Orthopädie und Sportmedizin. <https://bewegungslabor.de/?72=Kraftmessung-Kniegelenk>
- Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Silva-Batista, C., Barros, T. de S., Aihara, A. Y., Brendon, H., Longo, A. R., Tricoli, V., Peres, B. de A., & Teixeira, E. L. (2022). Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(2), 346–351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003454>

- Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J., & Westmorland, M. (1998). *Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien*. McMaster-Universität.
- Li, S., Shaharudin, S., & Abdul Kadir, M. R. (2021). Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Pain in Patients With Knee Injuries: A Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 100(4), 337. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001567>
- Liu, Y., Gampert, L., Prokopchuk, O., & Steinacker, J. (2007). Satellitenzellaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 6–11.
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Wilson, J. M., & Bemben, M. G. (2011). Blood flow restriction: The metabolite/volume threshold theory. *Medical Hypotheses*, 77(5), 748–752. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.07.029>
- Loenneke, J. P., Fahs, C., Rossow, L., Thiebaud, R., Mattocks, K., Abe, T., & Bemben, M. (2013). Blood flow restriction pressure recommendations: A tale of two cuffs. *Frontiers in Physiology*, 4. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2013.00249>
- Loenneke, J. P., & Pujol, T. J. (2009). The Use of Occlusion Training to Produce Muscle Hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, 31(3), 77–84. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181a5a352>
- Lopez, P., Radaelli, R., Taaffe, D. R., Newton, R. U., Galvão, D. A., Trajano, G. S., Teodoro, J. L., Kraemer, W. J., Häkkinen, K., & Pinto, R. S. (2021). Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic

- Review and Network Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(6), 1206. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002585>
- Lorenz, D. S. (2021). Blood Flow Restriction: Cause for Optimism, But Let's Not Abandon The Fundamentals. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(3), 962–967. <https://doi.org/10.26603/001c.23725>
- Lorenz, D. S., Bailey, L., Wilk, K. E., Mangine, R. E., Head, P., Grindstaff, T. L., & Morrison, S. (2021). Blood Flow Restriction Training. *Journal of Athletic Training*, 56(9), 937–944. <https://doi.org/10.4085/418-20>
- Madarame, H., Kurano, M., Takano, H., Iida, H., Sato, Y., Ohshima, H., Abe, T., Ishii, N., Morita, T., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(3), 210–213. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00927.x>
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood Flow Restricted Exercise and Skeletal Muscle Health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(2), 78–85. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31819c2e5c>
- Martín-Fuentes, I., Oliva-Lozano, J. M., & Muyor, J. M. (2020). Evaluation of the Lower Limb Muscles' Electromyographic Activity during the Leg Press Exercise and Its Variants: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134626>
- Mason, J. S., Crowell, M. S., Brindle, R. A., Dolbeer, J. A., Miller, E. M., Telemeco, T. A., & Goss, D. L. (2021). The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(1), 77–84. <https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0518>
- Minniti, M. C., Statkevich, A. P., Kelly, R. L., Rigsby, V. P., Exline, M. M., Rhon, D. I., & Clewley, D. (2020). The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders: A

- Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(7), 1773–1785. <https://doi.org/10.1177/0363546519882652>
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y., Nagata, T., & Group, K. T. (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2(1), 5–13. <https://doi.org/10.3806/ijktr.2.5>
- Noehren, B., & Snyder-Mackler, L. (2020). Who's Afraid of the Big Bad Wolf? Open-Chain Exercises After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 50(9), 473–475. <https://doi.org/10.2519/jospt.2020.0609>
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 45(2), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
- PTS Personalized Tourniquet System for Blood Flow Restriction*. (o.D.). Vertex PT Specialists. <https://vertexpt.com/physical-therapy/pbfr/>
- Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U., & Thaddey, G. (Hrsg.). (1998). *Rehabilitative Trainingslehre*. Georg Thieme Verlag.
- Roos, E. M., & Lohmander, L. S. (2003). The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): From joint injury to osteoarthritis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 1(1), 64. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-64>
- Rossi, F. E., de Freitas, M. C., Zanchi, N. E., Lira, F. S., & Cholewa, J. M. (2018). The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2018.01376>

- Salavati, M., Akhbari, B., Mohammadi, F., Mazaheri, M., & Khorrami, M. (2011). Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS); reliability and validity in competitive athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Osteoarthritis and Cartilage*, 19(4), 406–410.
<https://doi.org/10.1016/j.joca.2011.01.010>
- Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU Training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.3806/ijkr.1.1>
- Schiaffino, S., Dyar, K. A., Ciciliot, S., Blaauw, B., & Sandri, M. (2013). Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. *The FEBS Journal*, 280(17), 4294–4314. <https://doi.org/10.1111/febs.12253>
- Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Schoenfeld, B. J. (2013). Postexercise Hypertrophic Adaptations: A Reexamination of the Hormone Hypothesis and Its Applicability to Resistance Training Program Design. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1720–1730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828ddd53>
- Schoenfeld, B. J., & Contreras, B. (2014). The Muscle Pump: Potential Mechanisms and Applications for Enhancing Hypertrophic Adaptations. *Strength & Conditioning Journal*, 36(3), 21–25.
<https://doi.org/10.1097/SSC.0000000000000021>
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2018). *Prometheus LernAtlas der Anatomie* (5., vollständig überarbeitete Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Medicine*, 45(3), 313–325.
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>

- Shen, L., Meng, X., Zhang, Z., & Wang, T. (2018). Physical Exercise for Muscle Atrophy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1088, 529–545. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1435-3_24
- Sinclair, P., Kadhum, M., & Paton, B. (2022). Tolerance to Intermittent vs. Continuous Blood Flow Restriction Training: A meta-Analysis. *International Journal of Sports Medicine*, 43(01), 3–10. <https://doi.org/10.1055/a-1537-9886>
- Soderberg, G. L., Ballantyne, B. T., & Kestel, L. L. (1996). Reliability of lower extremity girth measurements after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiotherapy Research International: The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, 1(1), 7–16. <https://doi.org/10.1002/pri.43>
- Spring, H., Dvořák, J., Dvořák, V., Schneider, W., Tritschler, T., & Villiger, B. (2005). *Theorie und Praxis der Trainingstherapie: Beweglichkeit—Kraft—Ausdauer—Koordination* (2. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., Hirabayashi, K., Takahashi, M., Morita, N., Horiuchi, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3915–3920. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2377-x>
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
- Tegtbur, U., Busse, M. W., & Kubis, H. P. (2009). Körperliches Training und zelluläre Anpassung des Muskels. *Der Unfallchirurg*, 112(4), 365–372. <https://doi.org/10.1007/s00113-009-1627-9>
- Tennent, D. J., Hylden, C. M., Johnson, A. E., Burns, T. C., Wilken, J. M., & Owens, J. G. (2017). Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A

- Randomized Controlled Pilot Study. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(3), 245–252. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000377>
- Tiwari, D., Talley, S. A., Alsalaheen, B., & Goldberg, A. (2019). Strength of association between the Five-Times-Sit-to-Stand Test and balance, knee extensor strength and lower limb power in community-dwelling older adults. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 26(3), 1–10. <https://doi.org/10.12968/ijtr.2018.0001>
- Van den Berg, F. (Hrsg.). (2016). *Angewandte Physiologie* (4. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Verhagen, A. P., de Vet, H. C. W., de Bie, R. A., Kessels, A. G. H., Boers, M., Bouter, L. M., & Knipschild, P. G. (1998). The Delphi List: A Criteria List for Quality Assessment of Randomized Clinical Trials for Conducting Systematic Reviews Developed by Delphi Consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12), 1235–1241. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(98\)00131-0](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(98)00131-0)
- Wan, J., Qin, Z., Wang, P., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: General understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, 49(10), Article 10. <https://doi.org/10.1038/emm.2017.194>
- Welsink, D., & Schuhmacher, H. (2002). PRÄVENTION UND REHABILITATION: Rehabilitation nach Verletzungen des Kniegelenks aus physiotherapeutischer Sicht. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie*, 18(1), 25–29. <https://doi.org/10.1078/0949-328X-00070>
- Wilken, J. M., Darter, B. J., Goffar, S. L., Ellwein, J. C., Snell, R. M., Tomalis, E. A., & Shaffer, S. W. (2012). Physical performance assessment in military service members. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 20 Suppl 1, S42-47. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-08-S42>
- Wilkinson, B. G., Donnenwerth, J. J., & Peterson, A. R. (2019). Use of Blood Flow Restriction Training for Postoperative Rehabilitation: *Current Sports Medicine Reports*, 18(6), 224–228. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000604>

Yau, L. K., Henry, F. U., Man Hong, C., Amy, C., Wai Kwan Vincent, C., Ping Keung, C., & Kwong Yuen, C. (2022). Swelling assessment after total knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery (Hong Kong)*, 30(3), 10225536221127668. <https://doi.org/10.1177/10225536221127668>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlungen für ein LL-RT unter BFR im postoperativen Setting.....	19
Tabelle 2: Schlagwörter und Keywords	24
Tabelle 3: finale Keywordskombination und Anzahl Treffer pro Datenbank.....	25
Tabelle 4 inkludierte Hauptstudien.....	28
Tabelle 5: Intervention in der BFRT-Gruppe und HL-RT-Gruppe von Hughes et al. (2019).....	31
Tabelle 6: signifikante Resultate von Hughes et al. (2019) nach der Intervention ...	32
Tabelle 7: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Iversen et al. (2016).....	34
Tabelle 8: signifikante Resultate von Iversen et al. (2016) nach der Intervention	35
Tabelle 9: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Mason et al. (2021).....	37
Tabelle 10: signifikante Resultate von Mason et al. (2021) nach der Intervention ...	38
Tabelle 11: Intervention in der BFRT-Gruppe und Kontrollgruppe von Tennent et al. (2017).....	41
Tabelle 12: signifikante Resultate von Tennent et al. (2017) nach der Intervention .	42
Tabelle 13: Bewertung der Hauptstudien anhand der PEDro-Skala	44
Tabelle 14: Übersicht inkludierte Studien	45
Tabelle 15: Übersicht über die Outcomevariabeln und Resultate durch BFRT	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quadricepsmuskel in der Ansicht von ventral, auf der rechten Seite nach Entfernung des M. rectus femoris und M. sartorius	10
Abbildung 2: pneumatische Manschetten.....	18
Abbildung 3: isokinetische Kraftmessung	22
Abbildung 4: Literaturselektionsprozess	27

Abkürzungsverzeichnis

1RM: one repetition maximum

ANOVA: Analysis of variance

ATP: Adenosintriphosphat

BFR: blood flow restriction

BFRT: blood flow restriction training

HL-RT: high-load resistance training

KOOS: knee injury osteoarthritis outcome score

LL: low-load

LL-RT: low-load resistance training

LOP: limb occlusion pressure

LSI: limb symmetry indices

M: Musculus

mmHg: Millimeterquecksilbersäule

MRI: magnetic resonance imaging

N: Anzahl

RCT: randomized controlled trial

STS5: sit-to-stand 5 times

TSA: timed stair ascent

VKBR: Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

VTE: Venöse Thromboembolie

Glossar

Wort	Bedeutung
1RM	Gewicht, mit welchem lediglich eine Wiederholung einer gewissen Übung bewältigt werden kann, weil der Muskel danach ausbelastet ist
A priori power Analyse	vorgängige Berechnung der optimalen Stichprobengrösse, um signifikante Ergebnisse mit definierten Effektgrössen aufzeigen zu können
ANOVA	Test, um die Mittelwerte von mehr als zwei Gruppen oder zu mehreren Messzeitpunkten zu vergleichen
ATP	energiereiches, chemisches Molekül
Bias	durch falsche Untersuchungsmethoden verursachte Verzerrung des Ergebnisses
Cohen d	Mass der Effektstärke
Dropouts	für Studie rekrutierte Teilnehmende, welche vor Beendigung der Studienphase ausscheiden
Entzündungsmediatoren	biochemische Substanzen, die Entzündungsreaktion eines Gewebes einleiten bzw. unterhalten
Geschlossene Kette	Endglied eines Körpersegmentes ist bei Bewegungsausführung fixiert
Glukose	Einfachzucker, Hauptenergiequelle der Muskeln
Grubb-test	Test für die Entdeckung und Eliminierung eines Ausreissers in einer Stichprobe
Hamstringsautograft	Sehne von körpereigener Hamstrings-Muskulatur
Hebelarm	Abstand zwischen Drehachse (Gelenk) und Muskelansatz
Hypoxie	verminderter Sauerstoffgehalt
Interklassenkorrelation	Mass für Reliabilität eines Messverfahrens
Isometrisch	Muskelaktivierung ohne Längenveränderung und Gelenkbewegung
Kardiovaskulär	das Herz-Kreislauf-System betreffend

Laktat	basisches Endprodukt der Zersetzung von Glukose unter anaeroben Bedingungen
Metaboliten	Substanzen, die als Zwischen- oder Abbauprodukte von Stoffwechselfvorgängen des Organismus entstehen
Normalverteilung	Symmetrische Verteilung der Daten um den Mittelwert, Voraussetzung für viele statistische Analyseverfahren
Offene Kette	Endglied eines Körpersegmentes ist bei Bewegungsausführung frei beweglich
Okklusion	Verschluss eines Blutgefässes
Osmose	Diffusion einer Flüssigkeit durch selektiv-permeable Membran entlang eines Konzentrationsgefälles in Bezug auf gelöste Teilchen
Pneumatische Manschette	wird nach dem Anlegen um die Extremität mit Luft gefüllt, wodurch sie einen Druck auf das unterliegende Gewebe ausübt
Reliabilität	Zuverlässigkeit eines wissenschaftlichen Versuchs
Respiratorisch	die Atmungsorgane betreffend
Sample size calculation	vorgängige Berechnung der Mindestgrösse der Population, um signifikante Effekte aufzeigen zu können
Signifikanzniveau	legt in einem statistischen Test fest, ab wann ein Resultat als signifikant eingestuft wird
Sphärizität	Voraussetzung für ANOVA mit Messwiederholung
T-test	Test, um Mittelwerte von zwei Gruppen zu vergleichen
Validität	Kriterium für die Güte eines Tests oder einer Messung
Varianzhomogenität	Voraussetzung für ANOVA
Venöse Thromboembolien	ein durch Thrombus oder Embolus verursachter Verschluss eines Blutgefässes
Wilcoxon signed-rank test	testet, ob die zentralen Tendenzen zweier abhängiger Stichproben verschieden sind
Zellstress	Stoffwechsellage, bei der es zu Schäden von Zellen oder deren Funktion kommt

Deklaration Wortzahl

Diese Arbeit umfasst exklusive Abstract, Tabellen, Abbildungen, Verzeichnissen und Anhängen 11'766 Wörter. Der deutsche Abstract besteht aus 198 Wörtern, der englische umfasst 195 Wörter.

Danksagung

Wir danken unserer Betreuungsperson Frau Suter für die stetige Unterstützung und unkomplizierte Zusammenarbeit bei der Erstellung dieser Bachelorarbeit. Ebenfalls möchten wir Familienangehörigen und Freunden danken, die uns tatkräftig bei der Korrekturarbeit zur Seite standen.

Eigenständigkeitserklärung

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

Datum: 26.04.2023



Fabienne Gerber



Sofie Hosp

Anhang

Search history

CINAHL

Datum	Keyword-Kombinationen	Anz. Treffer	Anz. relevante Treffer
21.02.2022	blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu	931	
21.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise)	462	
22.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)	50	
23.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)	30	3
25.02.2022	(atrophy or muscle loss) AND (blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu)	13	1

	AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)		
28.02.2022	(blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction) AND (knee surgery or knee operation) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical) AND (quadriceps or knee extensor)	5	2
01.03.2022	(Knee operation or knee surgery or ACL reconstruction* or anterior cruciate ligament reconstruction* or ACL injury* or knee arthroscopy or meniscal repair or Postoperative or post-operative or post operativ or postsurgery or post-surgical or postsurgical) AND (blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction) AND (Quadriceps or knee extensor*)	19	3
02.03.2022	(blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthrosco* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) AND (atrophy or muscle loss or muscle strength or muscle mass)	55	3
03.03.2022	(blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood	23	3

	flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) AND (quadriceps or knee extensor)		
04.03.2022	(blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) AND (quadriceps or knee extensor*) AND (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*)	21	3
07.03.2022	(blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) AND (quadriceps or knee extensor*) AND (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*) Limitation: von 2012 - jetzt	18	3

PubMed

Anmerkung: Die Trunkierung # konnte von PubMed nicht erkannt werden, weshalb in dieser Datenbank die Begriffe ausgeschrieben werden mussten.

Datum	Keyword-Kombinationen	Anz. Treffer	Anz. relevante Treffer
21.02.2022	blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu	27064	
21.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise)	4750	
22.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)	1842	
23.02.2022	((blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) AND (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise)) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)	285	
25.02.2022	((atrophy or muscle loss) AND (blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu)) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)	36	2

28.02.2022	((((blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction) AND (knee surgery or knee operation)) AND (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical)) AND (quadriceps or knee extensor)	17	3
01.03.2022	((Knee operation or knee surgery or ACL reconstruction* or anterior cruciate ligament reconstruction* or ACL injury* or knee arthroscopy or meniscal repair or Postoperative or post-operative or post operativ or postsurgery or post-surgical or postsurgical) AND (blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction)) AND (Quadriceps or knee extensor*)	48	4
02.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or postoperativ* or post-operativ* or post operativ* or postsurg* or post-surg* or post surg*)) AND (atrophy or muscle loss or muscle strength or muscle mass)	984	
03.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction	65	

	or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthrosco* or reconstruc* or postoperativ* or post-operativ* or post operativ* or postsurg* or post-surg* or post surg*)) AND (quadriceps or knee extensor)		
04.03.2022	((((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthrosco* or reconstruc* or postoperativ* or post-operativ* or post operativ* or postsurg* or post-surg* or post surg*)) AND (quadriceps or knee extensor*)) AND (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*))	50	
07.03.2022	((((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) AND (surger* or operation* or arthrosco* or reconstruc* or postoperativ* or post-operativ* or post operativ* or postsurg* or post-surg* or post surg*)) AND (quadriceps or knee extensor*)) AND (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*))	35	4
	Limitation: von 2012 - jetzt		

Medline

Datum	Keyword-Kombinationen	Anz. Treffer	Anz. relevante Treffer
21.02.2022	(blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu)	2079	
21.02.2022	((blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) and (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise))	824	
22.02.2022	((blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) and (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical))	119	
23.02.2022	((blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) and (physical therapy or physiotherapy or rehabilitation or physical treatment or exercise) and (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical))	38	3
25.02.2022	((atrophy or muscle loss) and (blood flow restriction or occlusion training or restriction of blood flow or partial occlusion or kaatsu) and (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical))	14	1
28.02.2022	((blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction) and (knee surgery	3	

	or knee operation) and (postoperative or post operative or post-surgery or post-surgical) and (quadriceps or knee extensor))		
01.03.2022	((knee operation or knee surgery or ACL reconstruction* or anterior cruciate ligament reconstruction* or ACL injury* or knee arthroscopy or meniscal repair or Postoperative or post-operative or post operativ or postsurgery or post-surgical or postsurgical) and (blood flow restriction or blood flow restricted or restriction of blood flow or vascular occlusion or vascular restriction) and (Quadriceps or knee extensor*))	25	4
02.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) and (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) and (atrophy or muscle loss or muscle strength or muscle mass))	81	
03.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) and (((surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) and quadriceps) or knee extensor))	72	

04.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) and (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) and (quadriceps or knee extensor*) and (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*))	31	4
07.03.2022	((blood flow restrict* or blood flow restrict* training or blood flow restrict* therapy or blood flow restrict* exercise or restriction of blood flow or occlusion training or occlusion therapy or vascular restriction or vascular occlusion) and (surger* or operation* or arthroscop* or reconstruc* or post#operativ* or post#surg*) and (quadriceps or knee extensor*) and (effect* or effectiveness or efficacy or impact or influence or outcome*)) Limitation: von 2012 - jetzt	29	4

Letts & Law

Hughes et al. (2019)

Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien

© Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M., 1998

McMaster-Universität

TITEL:

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Medicine*, 49(11), 1787–1805. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>

Kommentare

<p>ZWECK DER STUDIE</p> <p>Wurde der Zweck klar angegeben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Skizzieren Sie den Zweck der Studie. Inwiefern bezieht sich die Studie auf Ergotherapie und/oder Ihre Forschungsfrage?</p> <p>Der Zweck der Studie besteht darin, einen direkten Vergleich eines BFRT und eines HL-RT in der Rehabilitation nach Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes (VKBR) zu ziehen. Dies bezieht sich auf unsere Forschungsfrage, da es zu einem Einsatz des BFRT nach einer Operation am Kniegelenk sowie zu Outcome Messungen am Quadriceps kommt.</p>
<p>LITERATUR</p> <p>Wurde die relevante Hintergrund-Literatur gesichtet?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Geben Sie an, wie die Notwendigkeit der Studie gerechtfertigt wurde.</p> <p>Es wurden zum damaligen Zeitpunkt erst zwei RCTs veröffentlicht, die den Einsatz des BFRT im Kombination mit LL-RT nach VKBR thematisieren. Die Forschungslücke bestand darin, dass keine der beiden Studien das BFRT direkt mit einem HL-RT verglich, weshalb dies in der vorliegenden Studie untersucht werden sollte.</p>
<p>DESIGN</p> <p><input checked="" type="radio"/> randomisierte kontrollierte Studie (RCT)</p> <p><input type="radio"/> Kohortenstudie</p> <p><input type="radio"/> Einzelfall-Design</p> <p><input type="radio"/> Vorher-Nachher-Design</p> <p><input type="radio"/> Fall-Kontroll-Studie</p> <p><input type="radio"/> Querschnittsstudie</p> <p><input type="radio"/> Fallstudie</p>	<p>Beschreiben Sie das Studiendesign. Entsprach das Design der Studienfrage (z.B. im Hinblick auf den Wissensstand zur betreffenden Frage, auf Ergebnisse (outcomes), auf ethische Aspekte)?</p> <p>Die Studie war eine randomisierte kontrollierte Studie mit zwei Gruppen (BFRT, HL-RT). Es wurden Messungen zu mehreren Zeitpunkten erhoben und es erfolgte ein Vergleich zwischen den Gruppen. Die Untersuchenden waren der Gruppenzuteilung geblendet.</p> <p>Das Studiendesign ist schlüssig zur Forschungsfrage gewählt. Die untersuchten Outcomes lassen sich gut quantifizieren, ausserdem ermöglicht das Design den Vergleich der Wirksamkeit der beiden Interventionen.</p>

© Law et al 1998

Quantitative Review Form

1

	Spezifizieren Sie alle systematischen Fehler (Verzerrungen, bias), die vielleicht aufgetreten sein könnten, und in welche Richtung sie die Ergebnisse beeinflussen.	
STICHPROBE N = Wurde die Stichprobe detailliert beschrieben? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein Wurde die Stichprobengröße begründet? <input checked="" type="radio"/> ja sample size calculation <input type="radio"/> nein → bei $p < 0.05$ braucht es $n=24$, um Gruppen- <input type="radio"/> entfällt unterschiede festzustellen	Stichprobenauswahl (wer, Merkmale, wie viele, wie wurde die Stichprobe zusammengestellt?). Bei mehr als einer Gruppe: Waren die Gruppen ähnlich? Die Stichprobe besteht aus 28 Patienten und Patientinnen nach einer VKBR. Das Durchschnittsalter beträgt 29 Jahre. Beide Geschlechter sind vertreten, wobei mehr Männer als Frauen teilnehmen. Die Ausschlusskriterien werden ausführlich erläutert, die Einschlusskriterien sind nur indirekt angegeben. Die Gruppen bestehen beide aus jeweils 14 Teilnehmenden und sind sich betreffend wichtiger Faktoren ähnlich. Beschreiben Sie die Ethik-Verfahren. Wurde wohlinformierte Zustimmung eingeholt? Das Ethik-Verfahren wird beschrieben und alle Teilnehmenden stimmten einer Teilnahme schriftlich zu.	
Ergebnisse (outcomes) Waren die outcome Messungen zuverlässig (reliabel)? <input checked="" type="radio"/> ja Interklassenkorrelation für test-retest Reliabilität <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben Waren die outcome Messungen gültig (valide)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben	Geben Sie an, wie oft outcome Messungen durchgeführt wurden (also vorher, nachher, bei Nachbeobachtung(pre-, post- follow up)). Es wurden Messungen zu vier Zeitpunkten durchgeführt: Direkt vor sowie nach der Operation, ausserdem in der Mitte und am Ende der achtwöchigen Intervention. Outcome Bereiche (z.B. Selbstversorgung (self care), Produktivität, Freizeit) Listen Sie die verwendeten Messungen auf	Muskelkraft: - 10RM - isokinetische Kraft Muskeldicke Schmerz Schwellung leg press isokinetischer Dynamometer Ultraschall KOOS-Fragebogen (Themenbereich Schmerz) Umfangmessung mit Massband

<p>MASSNAHMEN</p> <p>Wurden die Maßnahmen detailliert beschrieben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p><input type="radio"/> nicht angegeben</p> <p>Wurde Kontaminierung vermieden?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p><input checked="" type="radio"/> nicht angegeben</p> <p><input type="radio"/> entfällt</p> <p>Wurden gleichzeitige weitere Maßnahmen (Ko-Intervention) vermieden?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input checked="" type="radio"/> nein</p> <p><input type="radio"/> nicht angegeben</p> <p><input type="radio"/> entfällt</p>	<p>Beschreiben Sie kurz die Maßnahmen (Schwerpunkt, wer führte sie aus, wie oft, in welchem Rahmen). Könnten die Maßnahmen in der ergotherapeutischen Praxis wiederholt werden?</p> <p>Alle Trainingseinheiten wurden unter Aufsicht eines ausgebildeten Mitglieds der Forschungsgruppe durchgeführt. Die Intervention begann zwei Wochen nach der Operation. Beide Gruppen führten ein identisches Trainingsprogramm durch: während acht Wochen fand zweimal wöchentlich ein Training statt. Die Kräftigungsübung für den Quadriceps bestand in einbeinigen leg press. Die HL-RT Gruppe führte 3x10 Repetitionen bei einem Gewicht von 70% des 1RM durch. Die BFRT Gruppe trainierte unter einem Okklusionsdruck von 80% bei 30% des 1RM und führte 4 Sätze durch (30, 15, 15, 15 Wiederholungen). Unklar bleibt, ob der BFR Stimulus in der BFR-Gruppe intermittierend oder kontinuierlich appliziert wurde und für welche Zeitdauer er wirkte.</p> <p>Zusätzlich zum Kräftigungstraining absolvierten alle Probanden beider Gruppen ein standardisiertes NHS Rehabilitationsprogramm, das an drei Tagen in der Woche selbstständig zu Hause durchgeführt wurde.</p>
<p>ERGEBNISSE</p> <p>Wurde die statistische Signifikanz der Ergebnisse angegeben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p><input type="radio"/> entfällt</p> <p><input type="radio"/> nicht angegeben</p> <p>War(en) die Analysemethode(n) geeignet?</p>	<p>Welches waren die Ergebnisse? Waren sie statistisch signifikant (d.h. $p < 0.05$)? Falls nicht statistisch signifikant: War die Studie groß genug, um einen eventuell auftretenden wichtigen Unterschied anzuzeigen? Falls es um viele Ergebnisse ging: Wurde dies bei der statistischen Analyse berücksichtigt?</p> <p>Nachdem die Daten auf Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität getestet wurden, erfolgte eine ANOVA, um Zeit- und Gruppenunterschiede festzustellen ($p < 0.05$). Diese Methoden sind sinnvoll gewählt.</p> <p>Ergebnisse: Von der präoperativen zur ersten postoperativen Messung vor dem Interventionsstart zeigten sich keine Gruppenunterschiede (GU). Durch das achtwöchige Training kam es zu folgenden signifikanten Ergebnissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - isokinetische Kraft: Abnahme bei 60°/s in beiden Gruppen, bei 180&300°/s nur Abnahme in Kontrollgruppe → sign. GU zugunsten BFRT bei 180&130°/s - Kraft 10RM: Zunahme in beiden Gruppen → keine sign. GU - Muskeldicke: Zunahme in beiden Gruppen → keine sign. GU

<input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben Wurde die klinische Bedeutung angegeben? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben	Auswertung des TAS-Scores fehlt, obwohl dieser als Messmethode vorgestellt wurde. Welches war die klinische Bedeutung der Ergebnisse? Waren die Unterschiede zwischen Gruppen (falls es Gruppen gab) klinisch von Bedeutung? Die klinische Bedeutung der signifikanten Ergebnisse wurden mittels des Cohen d Wertes angegeben, der die Effektstärke angibt. Der Wert fehlt bei den Gruppenunterschieden der isokinetischen Kraft bei 180&300°/s.
Wurden Fälle von Ausscheiden aus der Studie angegeben? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	Schieden Teilnehmer aus der Studie aus? Warum? (Wurden Gründe angegeben, und wurden Fälle von Ausscheiden angemessen gehandhabt?)
SCHLUSSFOLGERUNGEN UND KLINISCHE IMPLIKATIONEN Waren die Schlussfolgerungen angemessen im Hinblick auf Methoden und Ergebnisse der Studie? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	Zu welchem Schluss kam die Studie? Welche Implikationen haben die Ergebnisse für die ergotherapeutische Praxis? Welches waren die hauptsächlichsten Begrenzungen oder systematischen Fehler der Studie? Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie sind: 1. BFRT und HL-RT führen zu vergleichbaren Zunahmen in der Muskelmasse und Muskelkraft 2. BFRT führt zu grösseren Reduktionen des Schmerzes und der Schwellung Dies impliziert, dass BFR-RT möglicherweise angebrachter als HL-RT ist in den frühen Rehabilitationsphasen nach einer VKBR.

Folgende Limitationen für die Studie müssen unter anderem berücksichtigt werden:

- fehlende Blindung der Teilnehmenden
- der Zuwachs der Muskelmasse wurde ausschliesslich in einer Ebene gemessen
- relativ kleine Stichprobe, beinhaltet spezifische Subgruppe in bestimmter Phase der Rehabilitation --> limitiert Generalisierbarkeit der Resultate

Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien

© Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M., 1998
McMaster-Universität

TITEL:

Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 115–118.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>

Kommentare

<p>ZWECK DER STUDIE</p> <p>Wurde der Zweck klar angegeben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Skizzieren Sie den Zweck der Studie. Inwiefern bezieht sich die Studie auf Ergotherapie und/oder Ihre Forschungsfrage?</p> <p>Der Zweck der Studie besteht darin, den Effekt eines BFRT nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKBR) bei Athleten und Athletinnen zu evaluieren. Dies bezieht sich auf unsere Forschungsfrage, da es zu einem Einsatz des BFRT nach einer Operation am Kniegelenk sowie zu Outcome Messungen am Quadriceps kommt.</p>
<p>LITERATUR</p> <p>Wurde die relevante Hintergrund-Literatur gesichtet?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Geben Sie an, wie die Notwendigkeit der Studie gerechtfertigt wurde.</p> <p>Es wurde zum damaligen Zeitpunkt erst ein RCT veröffentlicht, das den Einsatz des BFRT in Kombination mit LL-RT nach VKBR thematisieren. Die Forschungslücke bestand darin, dass die Intervention noch nicht mit einer sportlich aktiven Population durchgeführt worden ist.</p>
<p>DESIGN</p> <p><input checked="" type="radio"/> randomisierte kontrollierte Studie (RCT)</p> <p><input type="radio"/> Kohortenstudie</p> <p><input type="radio"/> Einzelfall-Design</p> <p><input type="radio"/> Vorher-Nachher-Design</p> <p><input type="radio"/> Fall-Kontroll-Studie</p> <p><input type="radio"/> Querschnittsstudie</p> <p><input type="radio"/> Fallstudie</p>	<p>Beschreiben Sie das Studiendesign. Entsprach das Design der Studienfrage (z.B. im Hinblick auf den Wissensstand zur betreffenden Frage, auf Ergebnisse (outcomes), auf ethische Aspekte)?</p> <p>Die Studie war eine randomisierte kontrollierte Studie mit zwei Gruppen (BFRT-Gruppe, Kontrollgruppe). Es wurden Messungen zu mehreren Zeitpunkten erhoben und es erfolgte ein Vergleich zwischen den Gruppen. Die Untersuchenden waren der Gruppenzuteilung geblindet. Das Studiendesign ist schlüssig zur Forschungsfrage gewählt. Das untersuchte Outcomes lässt sich gut quantifizieren, ausserdem ermöglicht das Design den Vergleich der Wirksamkeit der beiden Interventionen.</p>

	Spezifizieren Sie alle systematischen Fehler (Verzerrungen, bias), die vielleicht aufgetreten sein könnten, und in welche Richtung sie die Ergebnisse beeinflussen.	
<p>STICHPROBE</p> <p>N =</p> <p>Wurde die Stichprobe detailliert beschrieben?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p>Wurde die Stichprobengröße begründet?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input checked="" type="radio"/> nein</p> <p><input type="radio"/> entfällt</p>	Stichprobenauswahl (wer, Merkmale, wie viele, wie wurde die Stichprobe zusammengestellt?). Bei mehr als einer Gruppe: Waren die Gruppen ähnlich? Die Stichprobe besteht aus 24 Athleten&Athletinnen nach einer VKBR. Das Durchschnittsalter beträgt 27 Jahre (BFRT-Gruppe 25, Kontrollgruppe 29). Beide Geschlechter sind vertreten, wobei mehr Männer als Frauen teilnehmen. Einschlusskriterien für die Stichprobe werden kurz aufgeführt, auf Ausschlusskriterien wird nicht weiter eingegangen. Die Gruppen bestehen beide aus jeweils zwölf Teilnehmenden und sind sich betreffend wichtiger Faktoren ähnlich. Beschreiben Sie die Ethik-Verfahren. Wurde wohlinformierte Zustimmung eingeholt? Das Ethik-Verfahren wird beschrieben und alle Teilnehmenden stimmten einer Teilnahme schriftlich zu.	
<p>Ergebnisse (outcomes)</p> <p>Waren die outcome Messungen zuverlässig (reliabel)?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p><input checked="" type="radio"/> nicht angegeben</p> <p>Waren die outcome Messungen gültig (valide)?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p><input checked="" type="radio"/> nicht angegeben</p>	Geben Sie an, wie oft outcome Messungen durchgeführt wurden (also vorher, nachher, bei Nachbeobachtung(pre-, post- follow up)). Messungen der anatomischen Querschnittsfläche (ACSA) wurden zwei Tage vor der Operation sowie 16 Tage nach der Operation durchgeführt. Outcome Bereiche (z.B. Selbstversorgung (self care), Produktivität, Freizeit)	Listen Sie die verwendeten Messungen auf
	anatomische Querschnittsfläche (ACSA)	MRI

<p>MASSNAHMEN</p> <p>Wurden die Maßnahmen detailliert beschrieben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben <p>Wurde Kontaminierung vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt <p>Wurden gleichzeitige weitere Maßnahmen (Ko-Intervention) vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt 	<p>Beschreiben Sie kurz die Maßnahmen (Schwerpunkt, wer führte sie aus, wie oft, in welchem Rahmen). Könnten die Maßnahmen in der ergotherapeutischen Praxis wiederholt werden?</p> <p>Alle Trainingseinheiten wurden nach einer Einführung selbstständig zu Hause durchgeführt. Die Intervention begann zwei Tage nach der Operation. Beide Gruppen führten ein identisches Trainingsprogramm durch: während zwei Wochen fand zweimal täglich ein Training statt. Das Training bestand aus Quadricepsübungen wie isometrische Kontraktionen, leg extensions sowie straight leg-raises. Beide Gruppen führten fünf Sätze an je 20 Wiederholungen aus. Die BFR-RT Gruppe trainierte unter einem Okklusionsdruck von 120mmHg, der im Verlauf der zwei Wochen bis auf 180mmHg gesteigert wurde. Der BFR-Stimulus wurde intermittierend angewendet (3min Pause), wobei die Zeit unter BFR bei 5x5min (5min pro Satz à 20 Wiederholungen einer Übung) resultiert.</p> <p>Da die Übungen ohne zusätzliche Gewichte durchgeführt wurden, bleibt unklar, mit welchem load somit trainiert wurde. Nicht erläutert wird ausserdem, ob bei jedem Training alle drei Übungen absolviert wurden oder ob diese entsprechend einer Progression aufeinander aufbauten. Nicht schlüssig erscheint auch die Angabe, dass unter einem fünfminütigen BFR-Stimulus lediglich 20 Wiederholungen einer Übung absolviert wurden.</p> <p>Ein Kritikpunkt, der auch als Limitation der Studie angegeben wird, betrifft die fehlende Individualisierung des Okklusionsdruckes. Alle Teilnehmenden der BFR-Gruppe erhielten denselben Druck in mmHg, was jedoch bei jedem Teilnehmendem in einer unterschiedlich starken Blutflussrestriktion resultiert.</p>
<p>ERGEBNISSE</p> <p>Wurde die statistische Signifikanz der Ergebnisse angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> entfällt <input type="radio"/> nicht angegeben <p>War(en) die Analysemethode(n) geeignet?</p>	<p>Welches waren die Ergebnisse? Waren sie statistisch signifikant (d.h. $p < 0.05$)? Falls nicht statistisch signifikant: War die Studie groß genug, um einen eventuell auftretenden wichtigen Unterschied anzuzeigen? Falls es um viele Ergebnisse ging: Wurde dies bei der statistischen Analyse berücksichtigt?</p> <p>Für die Analyse wurden anhand eines parametrischen, unabhängigen t-tests die Veränderungen des ACSA in den beiden Gruppen verglichen. Diese Wahl ist nachvollziehbar, jedoch bleibt unklar, ob die nötige Normalverteilung vorlag, da weder 30 Teilnehmende rekrutiert wurden noch ein Test auf Normalverteilung oder eine sample size calculation durchgeführt worden war. Es fehlt eine Festlegung des Signifikanzniveaus.</p> <p>Ergebnisse: - in beiden Gruppen statistisch signifikante Reduktion der ACSA des Quadriceps --> kein sign. Gruppenunterschied Möglicherweise war die Stichprobe jedoch nicht gross genug gewählt, um einen auftretenden Unterschied aufzuzeigen. Dies hätte vorab mit einer sample size calculation berechnet werden müssen.</p>
<p>© Law et al 1998</p>	<p>Quantitative Review Form 3</p>

<p> <input checked="" type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben </p> <p>Wurde die klinische Bedeutung angegeben?</p> <p> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben </p>	<p>Welches war die klinische Bedeutung der Ergebnisse? Waren die Unterschiede zwischen Gruppen (falls es Gruppen gab) klinisch von Bedeutung?</p> <p>Die klinische Schlussfolgerung lautet, dass BFRT nicht zur Reduktion einer Quadriceps-Atrophie in den ersten 16 Tagen nach einer VKBR bei Athleten und Athletinnen führt. Es fehlt jedoch eine Berechnung der klinischen Relevanz / Effektstärke.</p>
<p>Wurden Fälle von Ausscheiden aus der Studie angegeben?</p> <p> <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein </p>	<p>Schieden Teilnehmer aus der Studie aus? Warum? (Wurden Gründe angegeben, und wurden Fälle von Ausscheiden angemessen gehandhabt?)</p> <p>In der Studie wird nicht auf verzeichnete Dropouts eingegangen.</p>
<p>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND KLINISCHE IMPLIKATIONEN</p> <p>Waren die Schlussfolgerungen angemessen im Hinblick auf Methoden und Ergebnisse der Studie?</p> <p> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein </p>	<p>Zu welchem Schluss kam die Studie? Welche Implikationen haben die Ergebnisse für die ergotherapeutische Praxis? Welches waren die hauptsächlichsten Begrenzungen oder systematischen Fehler der Studie?</p> <p>Die Autoren der Studie kommen zum Schluss, dass ein BFRT in den ersten 14 Tagen nach einer VKBR bei Athleten und Athletinnen zu keiner Reduktion der Quadricepsatrophie führt.</p>

Folgende Limitationen der Studie sind zu berücksichtigen:

- Veränderungen der Muskelmasse wurden anhand eines MRI beurteilt, wobei jedoch die Messung des Muskelvolumens akkurater wäre, um die Muskelmasse zu bestimmen
- die Stichprobe ist relativ klein und es besteht eine grosse Variation in der Ausprägung der Atrophie
- fehlende Individualisierung des Okklusionsdruckes
- unklarer Load, der möglicherweise zu gering war, um einer Atrophie entgegenzuwirken

Mason et al. (2021)

Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien

© Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M., 1998

McMaster-Universität

TITEL:

Mason, J. S., Crowell, M. S., Brindle, R. A., Dolbeer, J. A., Miller, E. M., Telemeco, T. A., & Goss, D. L. (2021). The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(1), 77–84. <https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0518>

Kommentare

<p>ZWECK DER STUDIE</p> <p>Wurde der Zweck klar angegeben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Skizzieren Sie den Zweck der Studie. Inwiefern bezieht sich die Studie auf Ergotherapie und/oder Ihre Forschungsfrage?</p> <p>Wie beeinflusst BFR-Training eine klassische Reha bezüglich subjektiver Einschätzung, Umfang und Oberschenkelkraft nach Meniskus oder Knorpeloperationen mit Teilbelastung?</p>
<p>LITERATUR</p> <p>Wurde die relevante Hintergrund-Literatur gesichtet?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Geben Sie an, wie die Notwendigkeit der Studie gerechtfertigt wurde.</p> <p>niemand untersuchte bis anhin die Effekte von BFR Training nach Meniskusoperationen oder Knorpelrekonstruktionen</p>
<p>DESIGN</p> <p><input checked="" type="radio"/> randomisierte kontrollierte Studie (RCT)</p> <p><input type="radio"/> Kohortenstudie</p> <p><input type="radio"/> Einzelfall-Design</p> <p><input type="radio"/> Vorher-Nachher-Design</p> <p><input type="radio"/> Fall-Kontroll-Studie</p> <p><input type="radio"/> Querschnittsstudie</p> <p><input type="radio"/> Fallstudie</p>	<p>Beschreiben Sie das Studiendesign. Entsprach das Design der Studienfrage (z.B. im Hinblick auf den Wissensstand zur betreffenden Frage, auf Ergebnisse (outcomes), auf ethische Aspekte)?</p> <p>passend, da zwei Behandlungsmethoden miteinander verglichen werden</p>

	Spezifizieren Sie alle systematischen Fehler (Verzerrungen, bias), die vielleicht aufgetreten sein könnten, und in welche Richtung sie die Ergebnisse beeinflussen.	
STICHPROBE N = 22 randomisiert 17 ausgewertet Wurde die Stichprobe detailliert beschrieben? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein Wurde die Stichprobengröße begründet? <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> entfällt	Stichprobenauswahl (wer, Merkmale, wie viele, wie wurde die Stichprobe zusammengestellt?). Bei mehr als einer Gruppe: Waren die Gruppen ähnlich? Aktive Soldaten und Soldatinnen (21 Männer und 1 Frau), 18-50j. Ein- und Ausschlusskriterien beschrieben Grosse Effektgrösse wäre laut a priori power analyse ab 24 Teilnehmenden möglich, effektive Gruppengrösse wurde jedoch nicht begründet. Aufgrund COVID-Restriktionen wurde nicht die berechnete Anzahl an Teilnehmenden erreicht. Zusammenstellung der Stichprobe beschrieben. Gruppen waren anfangs ähnlich. Beschreiben Sie die Ethik-Verfahren. Wurde wohlinformierte Zustimmung eingeholt? ja, alle Teilnehmenden hatten das schriftliche Einverständnis gegeben	
Ergebnisse (outcomes) Waren die outcome Messungen zuverlässig (reliabel)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben Waren die outcome Messungen gültig (valide)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben	Geben Sie an, wie oft outcome Messungen durchgeführt wurden (also vorher, nachher, bei Nachbeobachtung(pre-, post- follow up)). Umfang: baseline, 6, 12, 24 Wochen danach Kraft: nur 12 und 24 Wochen danach Outcome Bereiche (z.B. Selbstversorgung (self care), Produktivität, Freizeit) Listen Sie die verwendeten Messungen auf	
	Umfang isokinetische Messung Quadriceps	Massband. Hohe Reliabilität beschrieben Dynamometer, keine Reliabilität beschrieben

<p>MASSNAHMEN</p> <p>Wurden die Maßnahmen detailliert beschrieben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben <p>Wurde Kontaminierung vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt <p>Wurden gleichzeitige weitere Maßnahmen (Ko-Intervention) vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt 	<p>Beschreiben Sie kurz die Maßnahmen (Schwerpunkt, wer führte sie aus, wie oft, in welchem Rahmen). Könnten die Maßnahmen in der ergotherapeutischen Praxis wiederholt werden?</p> <p>12 Wochen PT / 2-3x pro Woche, nach 4-Phasen Rehabilitationsplan. Beide Gruppen machten dieselben Übungen, BFRT-Gruppe mit Okklusion. Pausen bei der Okklusion wurden beschrieben. 30/15/15/15 für jede Übung. Progression und Degression beschrieben.</p> <p>Phase I: Q-Kontraktionen --> straight leg raises Phase II: Phase I + knee extensions Phase III: Phase I und II + hamstring curls Phase IV: double limb squats, single leg press. Load nicht beschrieben.</p> <p>Nach 12 Wochen haben die Teilnehmenden die Übungen weitergemacht bis keine PT mehr indiziert war. Ab der 12. Woche verwendeten beide Gruppen kein BFR mehr.</p>
<p>ERGEBNISSE</p> <p>Wurde die statistische Signifikanz der Ergebnisse angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> entfällt <input type="radio"/> nicht angegeben <p>War(en) die Analysemethode(n) geeignet?</p>	<p>Welches waren die Ergebnisse? Waren sie statistisch signifikant (d.h. $p < 0.05$)? Falls nicht statistisch signifikant: War die Studie groß genug, um einen eventuell auftretenden wichtigen Unterschied anzuzeigen? Falls es um viele Ergebnisse ging: Wurde dies bei der statistischen Analyse berücksichtigt?</p> <p>Vor Analyse: auf Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärität getestet. ANOVA und Cohen d. Woche 24 selten im Text erläutert, nur tabellarisch ersichtlich</p> <p>Umfang: LSI berechnet, Unterschiede bei 12 und 24 Wo angegeben. Unterschied bei 6 Wochen nur in Tabelle ersichtlich. Sign. Zeiteffekte bei beiden Gruppen, kein Gruppenunterschied. Wo 12 potenziell klinisch relevanter Unterschied für BFRT-Gruppe. Ähnliche Entwicklung von Wo12-Wo24.</p> <p>Kraft: LSI berechnet, nach 12 und 24 Wochen angegeben. Keine sig. Gruppenunterschiede. Potenziell klinisch relevant für BFRT-Gruppe bei Wo 12.</p>

<input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben Wurde die klinische Bedeutung angegeben? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben	Welches war die klinische Bedeutung der Ergebnisse? Waren die Unterschiede zwischen Gruppen (falls es Gruppen gab) klinisch von Bedeutung? ja, Umfang und Kraft: bei Wo 12 potenziell kl. relevanter Unterschied für BFRT-Gruppe
Wurden Fälle von Ausscheiden aus der Studie angegeben? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	Schieden Teilnehmer aus der Studie aus? Warum? (Wurden Gründe angegeben, und wurden Fälle von Ausscheiden angemessen gehandhabt?) 22 randomisiert, 5 haben nicht 80% der Therapiesessions absolviert oder/und waren nicht am follow-up bei Wo24 und wurden aus Analyse ausgeschlossen.
SCHLUSSEFOLGERUNGEN UND KLINISCHE IMPLIKATIONEN Waren die Schlussfolgerungen angemessen im Hinblick auf Methoden und Ergebnisse der Studie? <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	Zu welchem Schluss kam die Studie? Welche Implikationen haben die Ergebnisse für die ergotherapeutische Praxis? Welches waren die hauptsächlichsten Begrenzungen oder systematischen Fehler der Studie? ähnliche Resultate in beiden Gruppen. Klinisch relevante Resultate für Umfang und isokinetische Kraft zugunsten BFRT-Gruppe, laut Diskussionsteil jedoch nur potenziell klinisch relevant. Limitationen: - geringer Load (unter 20-30% 1RM) --> daher evtl. geringe Unterschiede - kleine Stichprobe, einzigartige Population - nicht so viele Teilnehmende wie es laut a priori power Analyse benötigt hätte - Blindung nicht möglich, waren so weit wie möglich nicht in Kontakt mit Personen aus anderer Gruppe - MRI wäre genauere Methode um Muskelgrößenänderung herauszufinden - evtl. Bias da zwei Teilnehmende ausschieden und vom Militärdienst freigesprochen wurden und anschliessend finanzielle Entschädigung erhielten --> könnte den Eindruck wecken, dass schlechte Resultate bei Tests finanzielle Vorteile bringt - Load ist nicht beschrieben

Tennent et al. (2017)

Formular zur kritischen Besprechung quantitativer Studien

© Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L., Bosch, J. und Westmorland, M., 1998
 McMaster-Universität

TITEL:

Tennent, D. J., Hylden, C. M., Johnson, A. E., Burns, T. C., Wilken, J. M., & Owens, J. G. (2017). Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. Clinical Journal of Sport Medicine, 27(3), 245–252. https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000377

Kommentare

<p>ZWECK DER STUDIE</p> <p>Wurde der Zweck klar angegeben?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Skizzieren Sie den Zweck der Studie. Inwiefern bezieht sich die Studie auf Ergotherapie und/oder Ihre Forschungsfrage?</p> <p>Der Zweck der Studie besteht darin im Herausfinden, inwiefern zusätzliches Training unter BFR nach nicht-rekonstruktiven Kniearthroskopien die Kraft, Hypertrophie, funktionelle Fähigkeiten und subjektives Ermessen beeinflusst.</p>
<p>LITERATUR</p> <p>Wurde die relevante Hintergrund-Literatur gesichtet?</p> <p><input checked="" type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Geben Sie an, wie die Notwendigkeit der Studie gerechtfertigt wurde.</p> <p>Relevante Hintergrundliteratur wird erläutert. Die konkrete Forschungslücke wird nicht aufgezeigt.</p>
<p>DESIGN</p> <p><input checked="" type="radio"/> randomisierte kontrollierte Studie (RCT)</p> <p><input type="radio"/> Kohortenstudie</p> <p><input type="radio"/> Einzelfall-Design</p> <p><input type="radio"/> Vorher-Nachher-Design</p> <p><input type="radio"/> Fall-Kontroll-Studie</p> <p><input type="radio"/> Querschnittsstudie</p> <p><input type="radio"/> Fallstudie</p>	<p>Beschreiben Sie das Studiendesign. Entsprech das Design der Studienfrage (z.B. im Hinblick auf den Wissensstand zur betreffenden Frage, auf Ergebnisse (outcomes), auf ethische Aspekte)?</p> <p>RCT ist passend da Behandlungsmöglichkeiten verglichen werden</p>

	Spezifizieren Sie alle systematischen Fehler (Verzerrungen, bias), die vielleicht aufgetreten sein könnten, und in welche Richtung sie die Ergebnisse beeinflussen. BFRT-Gruppe führte drei zusätzliche Übungen aus, welche Kontrollgruppe nicht absolvierte--> evtl. Bias zugunsten BFRT-Gruppe	
STICHPROBE N = 17 Wurde die Stichprobe detailliert beschrieben? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein Wurde die Stichprobengröße begründet? <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> entfällt	Stichprobenauswahl (wer, Merkmale, wie viele, wie wurde die Stichprobe zusammengestellt?). Bei mehr als einer Gruppe: Waren die Gruppen ähnlich? Patienten und Patientinnen nach nicht-rekonstruktiven Kniearthroskopien. Gruppengröße wurde nicht begründet, ebenfalls nicht die Ungleichheit der Gruppengröße (BFRT-Gruppe n=10, Kontrollgruppe n=7). Nur die Ausschlusskriterien wurden explizit beschrieben, die Einschlusskriterien nicht. Keine signifikanten Gruppenunterschiede anfangs, BFRT-Gruppe hatte aber generell tiefere Werte Beschreiben Sie die Ethik-Verfahren. Wurde wohlinformierte Zustimmung eingeholt? Ein Ausschlusskriterium ist die Zustimmungsunfähigkeit, Zustimmungsdetails wurden nicht angegeben	
Ergebnisse (outcomes) Waren die outcome Messungen zuverlässig (reliabel)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben Waren die outcome Messungen gültig (valide)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben	Geben Sie an, wie oft outcome Messungen durchgeführt wurden (also vorher, nachher, bei Nachbeobachtung(pre-, post- follow up)). 2x, pre und posttest Outcome Bereiche (z.B. Selbstversorgung (self care), Produktivität, Freizeit)	Listen Sie die verwendeten Messungen auf Umfang Umfangmessungen 6 und 12cm oberhalb Patellaspitze funktionelle Kraft STS5, TSA in Militärpopulation valide Schmerzwahrnehmung KOOS isokinetische Kraft Quadriceps Dynamometer

<p>MASSNAHMEN</p> <p>Wurden die Maßnahmen detailliert beschrieben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben <p>Wurde Kontaminierung vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt <p>Wurden gleichzeitige weitere Maßnahmen (Ko-Intervention) vermieden?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <input type="radio"/> entfällt 	<p>Beschreiben Sie kurz die Maßnahmen (Schwerpunkt, wer führte sie aus, wie oft, in welchem Rahmen). Könnten die Maßnahmen in der ergotherapeutischen Praxis wiederholt werden?</p> <p>Beide Gruppen folgten dem gleichen postoperativen Protokoll. Die Übungen, welche von beiden Gruppen durchgeführt wurden, wurden nicht beschrieben.</p> <p>BFRT Gruppe führte in 12 Physiotherapiesitzungen zusätzlich drei Übungen unter Okklusion aus: leg press, leg extension und reverse press. Dosierung: 4 Sets von 40/15/15/15 Wiederholungen. 30 Sekunden Pause zwischen den Sets, zwischen einzelnen Übungen 1 Minute Pause. In Pausen wurde Druck aufrechterhalten. Maximale Okklusionsdauer beträgt 5 Minuten.</p> <p>Wie lange die Okklusionspause nach 5 Minuten Okklusion dauert, bleibt unklar. Ebenfalls bleibt unklar, ob die Übungen dann trotzdem weitergemacht werden, einfach ohne Okklusion. Progressions- und Degressionsmöglichkeiten wurden nicht beschrieben.</p>
<p>ERGEBNISSE</p> <p>Wurde die statistische Signifikanz der Ergebnisse angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> entfällt <input type="radio"/> nicht angegeben <p>War(en) die Analysemethode(n) geeignet?</p>	<p>Welches waren die Ergebnisse? Waren sie statistisch signifikant (d.h. $p < 0.05$)? Falls nicht statistisch signifikant: War die Studie groß genug, um einen eventuell auftretenden wichtigen Unterschied anzuzeigen? Falls es um viele Ergebnisse ging: Wurde dies bei der statistischen Analyse berücksichtigt?</p> <p>Umfang: keine sign. Zeiteffekte in Kontrollgruppe, sign. Gruppenunterschied zugunsten BFRT-Gruppe</p> <p>KOOS: Zunahme des KOOS-Scores bei beiden Gruppen ohne sign. Gruppenunterschiede</p> <p>STS5: sign. Zeiteffekte bei beiden Gruppen, keine sign. Gruppeneffekte</p> <p>TSA: keine sign. Zeiteffekte in Kontrollgruppe, sign. Gruppenunterschied zugunsten BFR</p>

<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input checked="" type="radio"/> nicht angegeben <p>Wurde die klinische Bedeutung angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> nicht angegeben 	<p>Kraft: sign. Zeiteffekte in beiden Gruppen. Keine Gruppenunterschiede wenn Ausreisser inkludiert Wenn pro Gruppe ein Ausreisser aus Analyse ausgeschlossen wird: sign. Gruppenunterschied zugunsten BFRT-Gruppe</p> <p>Welches war die klinische Bedeutung der Ergebnisse? Waren die Unterschiede zwischen Gruppen (falls es Gruppen gab) klinisch von Bedeutung? Signifikanzlevel in Tabelle ersichtlich, meistens auch im Text. Unterschiede wurden hervorgehoben, auch wenn diese nicht signifikant waren. Klinische Bedeutsamkeit in Diskussion besprochen, da Pilotstudie aber noch keine def. Aussage</p>
<p>Wurden Fälle von Ausscheiden aus der Studie angegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein 	<p>Schieden Teilnehmer aus der Studie aus? Warum? (Wurden Gründe angegeben, und wurden Fälle von Ausscheiden angemessen gehandhabt?) 24 Teilnehmende wurden randomisiert, 17 ausgewertet. Drei Teilnehmende haben Therapie nicht begonnen, Gründe wurden nicht für alle Dropouts angegeben. Analyse-Handhabung unklar</p>
<p>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND KLINISCHE IMPLIKATIONEN</p> <p>Waren die Schlussfolgerungen angemessen im Hinblick auf Methoden und Ergebnisse der Studie?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein 	<p>Zu welchem Schluss kam die Studie? Welche Implikationen haben die Ergebnisse für die ergotherapeutische Praxis? Welches waren die hauptsächlichen Begrenzungen oder systematischen Fehler der Studie? signifikante Veränderungen: Kraft, Umfang und TSA. Über alle Outcomes hatte BFRT-Gruppe eher stärkere Veränderungen.</p> <p>Limitationen: kleine Stichprobe, BFRT-Gruppe hatte evtl. Gefühl von intensiveren Therapie (Verzerrung der Resultate zugunsten BFRT-Gruppe), Blindung nicht möglich</p>

PEDro

Skala inklusive Erläuterungen

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
5. Alle Probanden waren geblendet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblendet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblendet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem „Expertenkonsens“, und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

Hinweise zur Handhabung der PEDro scale:

- Für alle Kriterien **Punkte werden nur vergeben, wenn ein Kriterium eindeutig erfüllt ist.** Falls beim genauen Lesen einer Arbeit die Möglichkeit besteht, dass ein Kriterium nicht erfüllt wurde, sollte kein Punkt für dieses Kriterium vergeben werden.
- Kriterium 1 Dieses Kriterium gilt als erfüllt, wenn berichtet wird, wie die Probanden rekrutiert wurden, und wenn eine Liste mit Kriterien dargestellt wird, die genutzt wurde, um zu entscheiden, wer geeignet war an der Studie teilzunehmen.
- Kriterium 2 Wenn in einem Artikel steht, dass die Zuordnung zu den Gruppen randomisiert erfolgte, so wird dies von der Studie angenommen. Die genaue Methode der Randomisierung muss dabei nicht näher spezifiziert sein. Methoden wie Münz- oder Würfelwürfe sollten als Randomisierung angesehen werden. Quasi-randomisierte Zuordnungsverfahren wie die Zuordnung durch Krankenaktennummern im Krankenhaus, Geburtsdatum, oder alternierende Zuordnungen, erfüllen dieses Kriterium nicht.
- Kriterium 3 *Verborgene Zuordnung* bedeutet, dass die Person, die entschieden hat ob der jeweilige Proband für eine Teilnahme geeignet war oder nicht, zum Zeitpunkt dieser Entscheidung nicht wissen konnte, welcher Gruppe der jeweilige Proband zugeordnet werden würde. Für dieses Kriterium wird auch dann ein Punkt vergeben, wenn über eine verdeckte Zuordnung nicht berichtet wird, aber in dem Bericht zum Ausdruck kommt, dass die Zuordnung mit Hilfe blickdichter Briefumschläge erfolgte, oder dass die Allokation über Kontaktaufnahme mit einem unabhängigen Verwalter des Allokationsplans, der sich ‚nicht am Ort der Studiendurchführung‘ befand oder ‚nicht anderweitig an der Studie beteiligt‘ war, erfolgte.
- Kriterium 4 In Studien, die therapeutische Interventionen untersuchen, muss jeweils vor Beginn der Intervention mindestens eine Messung hinsichtlich des Schweregrades des zu behandelnden Zustandes, und mindestens ein anderes *zentrales Outcome* beschrieben werden (Eingangsmessungen). Der Gutachter muss ausreichend davon überzeugt sein, dass sich klinisch signifikante Unterschiede in den Gruppen-Outcomes nicht allein schon aufgrund von Unterschieden in den prognostischen Variablen zu Beginn der Studie (also zum Baseline-Zeitpunkt) erwarten ließen. Dieses Kriterium gilt auch dann als erfüllt, wenn nur Baseline-Daten für diejenigen Probanden beschrieben werden, welche bis zum Ende an der Studie teilgenommen haben.
- Kriterien 4,7-11 *Zentrale Outcomes* sind jene Outcomes, welche das primäre Maß für eine Effektivität (oder eine fehlende Effektivität) der Therapie darstellen. In den meisten Studien wird mehr als eine Variable zur Outcome-Messung verwendet.
- Kriterien 5-7 *Blindung* bedeutet, dass die betreffende Person (Proband/In, Therapeut/In oder Untersucher/In) nicht gewusst hat, welcher Gruppe der Proband zugeordnet worden ist. Außerdem wird eine Bindung von Probanden und Therapeuten nur dann als gegeben angenommen, wenn davon ausgegangen werden kann, dass sie nicht in der Lage gewesen wären, zwischen den Behandlungen, die in den verschiedenen Gruppen ausgeführt wurden, zu unterscheiden. In Studien, in denen *zentrale Outcomes* von den Probanden selbst angegeben werden (z.B. Visuelle Analog Skala oder Schmerztagebücher), gilt der Untersucher als geblindet, wenn der Proband geblindet war.
- Kriterium 8 Dieses Kriterium gilt nur dann als erfüllt, wenn die Studie *sowohl* über die Anzahl der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden, *als* auch über die Anzahl der Probanden, von denen tatsächlich zentrale Outcomes festgehalten werden konnten, Auskunft gibt. Bei Studien mit Outcome-Messungen zu mehreren Messzeitpunkten, muss mindestens ein *zentrales Outcome* bei mehr als 85% der Probanden zu einem dieser Zeitpunkte gemessen worden sein.
- Kriterium 9 Eine *Intention to treat* Analyse bedeutet, dass in den Fällen, in denen Probanden die zugeordnete Behandlung (oder Kontrollanwendung) nicht erhalten haben und in denen Ergebnismessungen möglich waren, die Messwerte so analysiert werden, als ob die Probanden die zugeordnete Behandlung (oder Kontrollanwendung) erhalten hätten. Wird eine Analyse nach der ‚Intention to treat‘ Methode nicht erwähnt, gilt dieses Kriterium dennoch als erfüllt, falls explizit zum Ausdruck kommt, dass alle Probanden die Behandlungen oder Kontrollanwendungen wie zugeordnet erhalten haben.
- Kriterium 10 Ein *Zwischen-Gruppen-Vergleich* beinhaltet einen statistischen Vergleich einer Gruppe mit einer anderen Gruppe. Abhängig vom jeweiligen Studiendesign kann es sich dabei um den Vergleich von zwei oder mehr verschiedenen Behandlungen, oder auch um den Vergleich einer Behandlung mit einer Kontrollanwendung (z.B. Placebo-Behandlung, Nicht-Behandlung, Scheinbehandlung) handeln. Die Analyse kann als einfacher Vergleich der Outcomes zwischen den Gruppen erfolgen, die nach einer durchgeführten Behandlung gemessen wurden, oder auch als Vergleich der Veränderungen in einer Gruppe mit den Veränderungen in einer anderen Gruppe (wurde eine faktorielle Varianzanalyse durchgeführt, um die Daten zu analysieren, so wird dies im letzteren Fall häufig als eine ‚Gruppe x Zeit Interaktion‘ berichtet). Der Vergleich kann als Hypothesentestung (die einen ‚p‘-Wert liefert, der die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dass der Unterschied zwischen den Gruppen rein zufällig entstanden ist) oder als Schätzung (z.B. der Differenz des Medians oder des arithmetischen Mittels, der Unterschiede in den Prozentanteile, oder der Number Needed to Treat, oder des relativen Risikos oder der ‚Hazard Ratio‘¹) mit einem dazugehörigen Konfidenz-Intervall durchgeführt werden.
- Kriterium 11 Ein *Punktmaß* ist ein Maß der Größe des Behandlungseffekts. Der Behandlungseffekt kann als Differenz in den Outcomes zwischen zwei Gruppen beschrieben werden, oder auch als Outcome in jeder der Gruppen. *Streuungsmaße* können sein: Standardabweichungen, Standardfehler, Konfidenzintervalle, Interquartilsabstände (oder andere Quantilsabstände), und Ranges. Punktmaße und/oder Maße der Streuung können graphisch dargestellt sein (z.B. können Standardabweichungen als Balkendiagramm dargestellt werden), so lange diese Darstellungen eindeutig sind (z.B. so lange klar ist ob die Fehlerbalken Standardabweichungen oder Standardfehler darstellen). Für kategoriale Outcomes (nominal- oder ordinalskaliert) gilt dieses Kriterium als erfüllt, wenn die Anzahl der Probanden für jede Kategorie in jeder Gruppe angegeben ist.

¹ Der Begriff Hazard Ratio („Risikoeintrittsquotient“) wird auch in der deutschen medizinischen Fachliteratur verwendet. Die Hazard Ratio ist der Quotient aus den Eintrittswahrscheinlichkeiten (Ereignisdichten) in den zu vergleichenden Gruppen.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.
Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

Hughes et al. (2019)

PEDro-skala – Deutsch

- | | |
|--|---|
| 1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.1 |
| 2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet) | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.3 |
| 3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.3 |
| 4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 3.1 |
| 5. Alle Probanden waren geblendet | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.3 |
| 6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblendet | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.3 |
| 7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblendet | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 2.3 |
| 8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 3.1 |
| 9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: keine Angabe |
| 10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 3 |
| 11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome | nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo: Kapitel 3 |
-

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem "Expertenkonsens", und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.

Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

Iversen et al. (2016)

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert nein ja wo: **Kapitel 2.1**
 2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet) nein ja wo: **Kapitel 2.2**
 3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen nein ja wo: **Kapitel 2.2**
 4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich nein ja wo: **Kapitel 2.2**
 5. Alle Probanden waren geblindet nein ja wo: **keine Angabe**
 6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet nein ja wo: **keine Angabe**
 7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet nein ja wo: **Kapitel 2.3**
 8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen nein ja wo: **keine Angabe**
 9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert nein ja wo: **keine Angabe**
 10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet nein ja wo: **Kapitel 3**
 11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome nein ja wo: **Kapitel 3**
-

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem „Expertenkonsens“, und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Participants
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Procedures
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Procedures
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Table 2
5. Alle Probanden waren geblendet	nein <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/>	wo: Outcome Measures
6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblendet	nein <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/>	wo: Outcome Measures
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblendet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Outcome Measures
8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Statistical Analyses
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert	nein <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/>	wo: keine Angabe
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem „Expertenkonsens“, und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.
Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

Tennent et al. (2017)

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Methods
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Methods
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Methods
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results
5. Alle Probanden waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Discussion
6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: keine Angabe
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Thigh Girth
8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: keine Angabe
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/>	wo: Results

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem „Expertenkonsens“, und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer.

Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.