



DOSSIER · THERAPIE

Blutflussrestriktionstraining (BFR)

Beim Blutflussrestriktionstraining wird eine Extremität mit einer Manschette teilweise abgebunden und mit niedriger Last trainiert. Die kontrollierten Studien am Menschen konzentrieren sich auf den Bewegungsapparat. Die meistzitierte Arbeit des Feldes ist methodisch: Sie handelt von Manschettenbreite und arterieller Okklusion, nicht von Therapieerfolg.

674

STUDIEN
INSGESAMT

387

AM MENSCHEN

200

DAVON
KONTROLLIERT

5

AN TIEREN

1

IM LABOR

Zahlen aus der IHR-Studiendatenbank · Stand 2026-10-04

So lesen Sie dieses Dossier

BELEGT

am Menschen gemessen, mit
Vergleichsgruppe

PLAUSIBEL

gestützt durch Wirkmechanismus,
Tierversuch oder Beobachtung

VERMUTUNG

ein naheliegender Zusammenhang,
der noch geprüft werden muss

Blutflussrestriktionstraining (BFR) auf einen Blick

HERKUNFT:

Blutflussrestriktionstraining ist ein Verfahren, bei dem eine Druckmanschette proximal an einer Extremität angelegt und auf einen definierten Druck gebracht wird, während mit niedriger Last trainiert wird.

STUDIENLAGE:

674 ausgewertete Arbeiten · 200 kontrollierte Studien am Menschen · 187 Beobachtungsstudien · 83 Übersichtsarbeiten · 5 Tierversuche · 1 Zellkulturarbeiten

STÄRKSTE BELEGE:

- **Belegt:** Bewegungsapparat — Metaanalyse [42]: 47 eingeschlossene Arbeiten; aus 19 Studien mit 400 Teilnehmenden mittlerer Kraftvorteil 0,4 Nm unter BFR-Ausdauerbelastung, 0,3 kg unter BFR-Kraftbelastung.
- **Belegt:** Bewegungsapparat — Metaanalyse zu älteren Menschen [48]: 11 Studien mit N=238; BFR-Zusatz zum Niedriglasttraining ergab gepoolten Effekt 2,16 (95 %-KI 1,61 bis 2,70), beim Gehen 3,09 (2,04 bis 4,14).
- Eine Übersicht zu 19 Oberkörper-Arbeiten [50] zeigte, dass Niedriglast-BFR Muskelgröße und Kraft proximal und distal des Reizes steigerte, während volumenangepasstes Training ohne BFR keine solchen Anpassungen auslöste.
- Ein RCT [27] zeigte am Bewegungsapparat: Bei 26 Teilnehmenden stieg die Kraft proximal und distal der Manschette stärker als an der nicht gestauten Extremität und in der Kontrollgruppe ($P < 0,05$), etwa doppelt so groß.
- Eine kritische Übersicht [49] kommt zu dem Schluss, dass die vorliegende Evidenz die Annahme nicht stützt, BFR mit niedrigintensiver Übung erhöhe die Häufigkeit von Muskelschäden.

GRENZEN:

- Die Protokolle sind heterogen: Manschettenbreite, Druck, Anlagestelle, Übungsauswahl und Trainingsdauer variieren, und schon die Manschettenbreite beeinflusst, welcher Druck zur arteriellen Okklusion führt.
- Viele kontrollierte Studien messen Surrogatgrößen wie Kraft, Muskelquerschnitt oder Laborparameter statt des Krankheitsverlaufs; ein Teil kombiniert BFR mit hochintensivem Training, sodass der Beitrag der Restriktion nicht isoliert wird.
- Eine Metaanalyse zu Knieschmerzen [40] fand, dass Krafttraining mit BFR Schmerzen nicht stärker linderte als Krafttraining allein (SMD -0,37, 95 %-KI -0,93 bis 0,19); die Evidenzqualität war niedrig.

EINORDNUNG:

Blutflussrestriktionstraining ist ein Verfahren mit breiter kontrollierter Forschung am Bewegungsapparat, deren Zusammenfassung vor allem an der Heterogenität der Protokolle hängt.

1. Was Blutflussrestriktionstraining ist

Beim Blutflussrestriktionstraining wird eine Druckmanschette proximal an einer Extremität angelegt und auf einen definierten Druck gebracht, während mit niedriger Last trainiert wird. Der venöse Rückfluss wird gedrosselt, der arterielle Zustrom bleibt teilweise erhalten. Trainiert wird typischerweise mit Kraftübungen oder Fahrradergometrie, die Manschette bleibt während der Belastung angelegt. Die Arbeiten des Feldes behandeln ausführlich die Methodik: Manschettenbreite, Anlagestelle, Druckhöhe und die Frage, ob der Druck absolut oder relativ zum individuellen Verschlussdruck gesetzt wird. Eine Studie untersucht die Autoregulation des angelegten Drucks bei gesunden, körperlich aktiven Erwachsenen.

Für die Bewertung aller Studien ist entscheidend, dass Blutflussrestriktion keine einheitliche Intervention bezeichnet. Manschettenbreite, Druck, Anlagestelle, Übungsauswahl und Trainingsdauer variieren zwischen den Arbeiten, und schon die Manschettenbreite beeinflusst, welcher Druck zur arteriellen Okklusion führt. Ein Teil der Studien arbeitet mit gerätegestützter Druckkontrolle, ein anderer mit praktischem BFR ohne Druckmessung. Die Zielgrößen reichen von Muskelquerschnitt und Kraft über Hämostase-Parameter und den exercise pressor reflex bis zu molekularen Markern wie der mTORC1-Signalgebung und der Muskelproteinsynthese. Diese Vielfalt erklärt, warum sich Befunde nur eingeschränkt zusammenfassen lassen.

2. Was die Studien im Einzelnen zeigen

Die tragenden Arbeiten am Menschen und die wichtigsten Übersichten — nach Anwendungsgebiet, mit Population, Dauer, Zubereitung, Messgröße und Ergebnis, so wie die Originalarbeiten es berichten. Zahlen stehen nur dort, wo die Arbeit sie nennt.

Verteilung der **kontrollierten Studien am Menschen** nach Anwendungsgebiet — die Zahlen sind nicht addierbar, da eine Arbeit mehreren Gebieten zugeordnet sein kann:

ANWENDUNGSGEBIET	KONTROLLIERTE STUDIEN
Bewegungsapparat	161
Sicherheit und Verträglichkeit	70
Herz und Kreislauf	33
Erschöpfung und Stress	32

ANWENDUNGSGEBIET	KONTROLLIERTE STUDIEN
Knochen und Gelenke	28
Stoffwechsel	25
Entzündungsgeschehen	5
Kognition und Psyche	4

Bewegungsapparat

Die BFR-Gruppe zeigte eine um 93 % größere Schmerzreduktion bei Alltagsaktivitäten ($p=0,02$). Bei den Teilnehmenden mit schmerzhafter gegen Widerstand ausgeführter Kniestreckung ($n=39$) stieg das isometrische Kniestreckmoment unter BFR stärker als unter Standard ($p<0,01$). Für den Kujala-Patellofemoral-Score ($p=0,31$) und den schlimmsten Schmerz ($p=0,24$) fand sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. An 34 Patientinnen und Patienten nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion (19 weiblich, 15 männlich; mittleres Alter $16,5 \pm 2,7$ Jahre) prüfte eine randomisierte Studie BFR mit hochintensiver Übung: Beinpresse mit 70 % 1RM, konzentrisch oder exzentrisch, vier Sätze à zehn Wiederholungen, zweimal pro Woche über acht Wochen ab der zehnten postoperativen Woche [29]. Die Arbeit berichtet, dass BFR mit hochintensiver Übung die Quadrizepsfunktion nach der Rekonstruktion nicht verbessert.

Eine randomisierte kontrollierte Studie ließ gesunde Teilnehmende sechs Wochen standardisiert mit BFR an einer Extremität trainieren; ausgeschlossen waren kardiale, pulmonale und hämatologische Erkrankungen, Schwangerschaft und frühere Operationen der Extremität [27]. 26 Personen beendeten das Protokoll (16 BFR, 10 Kontrolle; mittleres Alter 27 Jahre; 62 % weiblich). Die Kraft stieg proximal und distal der BFR-Manschette stärker als an der nicht gestauten Extremität und in der Kontrollgruppe ($P<0,05$); die Verbesserung war etwa doppelt so groß. An 20 college-alten Männern mit mindestens einem Jahr Krafttrainingserfahrung untersuchte ein randomisiertes Crossover praktisches BFR an den Ellbogenbeugern über acht Wochen [28].

BELEGT Eine systematische Übersicht mit Metaanalyse sichtet 916 Treffer und schloss 47 Arbeiten ein [42]. Aus 19 Studien mit 400 Teilnehmenden ergab sich für Kraft unter BFR-Ausdauerbelastung ein mittlerer Vorteil von 0,4 Nm gegenüber der Kontrolle, unter BFR-Kraftbelastung von 0,3 kg. Aus 19 Studien mit 377 Teilnehmenden betrug der mittlere Unterschied der Muskelgröße (Querschnittsfläche) $0,4 \text{ cm}^2$. Eine Metaanalyse zu älteren Menschen sichtet 2658 Artikel und schloss 11 Studien mit $N=238$ ein [48]; unter Niedriglasttraining ergab der Zusatz von BFR einen gepoolten Effekt von 2,16 (95 %-KI 1,61 bis 2,70), beim Gehen von 3,09 (95 %-KI 2,04 bis 4,14). Eine Übersicht über 19 Arbeiten zum Oberkörper fand, dass Niedriglast-BFR-Training Muskelgröße und Kraft proximal (Brust, Schultern) und distal (Bizeps, Trizeps) des Reizes steigerte, während volumenangepasstes Training ohne BFR keine solchen Anpassungen auslöste [50]; die quantitative Auswertung war durch uneinheitliche Protokolle begrenzt.

Akut sank das Drehmoment zwischen den Drücken ähnlich [$-15,5$ (5,9) Nm, $P=0,344$]. Nach acht Wochen Training stiegen Muskelgröße (10 %), Spitzenkraft isotonisch (18 %), Spitzenmoment isokinetisch ($180^\circ/\text{s} = 23 \%$, $60^\circ/\text{s} = 11 \%$) und muskuläre Ausdauer (62 %) zwischen hohem und niedrigem Druck ähnlich. Eine weitere Studie an 40 Teilnehmenden fand, dass Druck und Last das Drehmoment kaum beeinflussten, die Muskelaktivierung aber in allen Bedingungen zunahm ($P<0,05$) und bei 30 % 1RM höher lag als bei 20 % 1RM; der Anstieg von 40 % auf 50 % arteriellen Verschluss war sichtbar (66 % vs. 87 % maximale willkürliche Kontraktion bei 30 % 1RM), höhere Drücke steigerten ihn nicht weiter [45]. Eine kritische Übersicht kommt zu dem Schluss, dass die vorliegende Evidenz die Annahme nicht stützt, BFR mit niedrigintensiver Übung erhöhe die Häufigkeit von Muskelschäden [49].

Knochen und Gelenke

In einer randomisierten, doppelblinden kontrollierten Studie wurden Frauen über 45 Jahre mit Risikofaktoren für eine symptomatische Kniegelenkarthrose entweder auf Niedriglast-Krafttraining (30 % 1RM) allein oder mit gleichzeitiger BFR randomisiert [26]. Vier Wochen lang wurde dreimal wöchentlich Beinpresse trainiert; die BFR-Gruppe trug eine Manschette, die den femoralen Blutfluss über die Trainingswochen zunehmend einschränkte. Gemessen wurden isometrische Beinpresskraft, isokinetische Kniestreckkraft und Quadrizepsvolumen per Magnetresonanztomographie, sekundär die Beinkraft (Beinpresse und Treppensteigen); Knieschmerz diente der Verträglichkeitsprüfung. Von 45 eingeschlossenen Frauen beendeten 40 das Programm. In einer randomisierten Studie an 30 Patientinnen und Patienten mit endgradiger Gonarthrose erhielten drei Gruppen entweder die übliche klinische Versorgung ohne Prähabilitation, eine Prähabilitation mit Schein-BFR oder eine Prähabilitation mit BFR [36]. Das Protokoll bestand aus Fahrradergometertraining zweimal pro Woche über sechs Wochen; BFR wurde periodisch dreimal pro Bein mit 40 % des individuellen Extremitätenverschlussdrucks angewandt.

Eine systematische Übersicht zu Kreuzbandrekonstruktion und Kniegelenkarthrose identifizierte 159 Publikationen und schloss zehn Arbeiten ein [34]. Vier Studien fanden eine signifikante Kraftverbesserung, zwei eine signifikante Zunahme der Querschnittsfläche, vier eine signifikante Schmerzverbesserung und eine eine signifikante Verbesserung von Funktionalität und Lebensqualität. Eine weitere systematische Übersicht wertete neun Studien aus (acht mit Evidenzstufe 1, eine mit Stufe 2) und umfasste 165 Patientinnen und Patienten sowie 170 Kontrollen [10]; BFR kam nach Kreuzbandrekonstruktion, nach routinemäßiger Kniearthroskopie sowie bei Kniegelenkarthrose und patellofemoralem Schmerz zum Einsatz, wobei Verschluss- und Übungsprotokolle variierten. Eine systematische Übersicht mit Metaanalyse zu rheumatoider Arthritis und Arthrose prüfte Niedrigintensitätstraining mit BFR auf Kraft, Muskelmasse und Funktionalität [39].

Eine systematische Übersicht randomisierter und nicht randomisierter Studien untersuchte die Wirkung von BFR-Übung auf die Hämostase bei Gesunden und bei Patientinnen und Patienten mit Hypertonie, Diabetes, Adipositas und ischämischer Herzkrankheit [32]; unklar blieb, ob die Gefäßkompression Endothelzellen schädigt oder die Thrombusbildung begünstigt. Eine systematische Übersicht zu Erwachsenen über 50 Jahren fragte, ob BFR Skelettmuskelhypertrophie auslöst und Kraft sowie körperliche Funktion verbessert [35]; sie weist darauf hin, dass viele Studien an gesunden jungen Männern mit kleinen Stichproben und begrenzter Nachbeobachtung durchgeführt wurden.

Stoffwechsel

Zehn Teilnehmende absolvierten rhythmische isometrische Kniestreckung in fünf Versuchsbedingungen: BFR mit 40 %, 60 % und 80 % des Extremitätenverschlussdrucks (LOP) bei einer Last von 20 % der maximalen willkürlichen Kraft sowie ohne BFR bei 20 % (LL) und 80 % (HL) [31]. Gemessen wurden Drehmoment, Muskelaktivität per Elektromyographie, Gewebeoxygenierung per Nahinfrarotspektroskopie, Ganzkörpersauerstoffverbrauch, Blutlaktat und Herzfrequenz. In den Bedingungen LL und B-40 blieben die meisten Maße konstant; bei B-60 und B-80 zeigte sich eine deutliche Ermüdung

mit Abfall des maximalen Drehmoments ($p < 0,05$). Blutlaktat stieg gegenüber dem Ausgangswert bei HL, B-60 und B-80 ($p < 0,05$), und die submaximale EMG-Aktivität war bei B-60 und B-80 höher als bei LL. In einem randomisierten Crossover absolvierten zehn gesunde Männer ($28,1 \pm 6,5$ Jahre) einseitige Bizepscurls mit und ohne BFR [37]; arterielle und venöse Katheter wurden am trainierenden Arm platziert. Die intravasalen Drücke waren unter BFR stärker erhöht als ohne ($p < 0,001$), und die Blutgasanalysen zeigten eine BFR-induzierte metabolische Azidose ($p < 0,05$) mit erhöhter Laktatproduktion ($p < 0,05$).

Eine Arbeit zur Risikostratifizierung weist darauf hin, dass BFR einen erhöhten Blutdruck, abnorme kardiovaskuläre Reaktionen und Effekte auf die Gefäßgesundheit auslösen kann und dass bei Personen mit bestehender kardiovaskulärer Erkrankung wie Hypertonie, Diabetes mellitus und chronischer Nierenerkrankung Vorsicht geboten ist [30]; wegen möglicher Thromboserisiken wird eine Risikostratifizierung über Anamnese, Zeichen und Symptome empfohlen. Eine Übersicht zur Rolle des metabolischen Stresses beschreibt die Anhäufung von Metaboliten (Laktat, anorganisches Phosphat und Wasserstoffionen) in Muskelzellen und nennt niedrigintensives Krafttraining mit BFR sowie hochintensives Intervalltraining als Wege, den metabolischen Stress zu maximieren [51].

Herz und Kreislauf

AUTO war im Erschöpfungsprotokoll überlegen ($p < 0,001$) und wies 24 Stunden nach der Übung weniger Muskelkater auf ($p < 0,001$). Wahrgenommene Anstrengung und Unbehagen waren bei NAUTO höher, sowohl im festen Protokoll (RPE: $p = 0,014$, RPD: $p < 0,001$) als auch im Erschöpfungsprotokoll (RPE: $p = 0,028$, RPD: $p < 0,001$). Sechzehn unerwünschte Ereignisse (7,14 %) wurden erfasst, mit siebenfacher Häufigkeit im festen Protokoll für NAUTO gegenüber AUTO (NAUTO $n = 7$ vs. AUTO $n = 1$) und fünf (NAUTO) gegenüber drei (AUTO) im Erschöpfungsprotokoll. In einem randomisierten Crossover verglich eine Studie die Hämodynamik von Kraft- und Ausdauer-BFR mit hoch- und niedrigintensiver Belastung ohne BFR [38]. Beim Beinpressen ähnelte die Hämodynamik unter Niedriglast mit BFR (80 % des Ruhesystolendrucks) der hochintensiven Belastung und lag über der Niedriglast (systolischer Druck 152 ± 3 mmHg vs. 153 ± 3 vs. 143 ± 3 , $P < 0,05$); auf dem Laufband ähnelte sie der Niedriglast und lag unter der hochintensiven Belastung (124 ± 2 mmHg vs. 123 ± 2 vs. 140 ± 3 , $P < 0,05$).

Eine Arbeit zum exercise pressor reflex argumentiert, dass die reflektorische kardiovaskuläre Antwort auf BFR in der Literatur bislang kaum berücksichtigt wird, obwohl seit der Arbeit von Alam und Smirk in den 1930er Jahren bekannt ist, dass eine verminderte Durchblutung trainierender Muskulatur diesen Reflex auslöst [43]. Eine Übersicht zu gut trainierten Sportlern identifizierte zwölf Arbeiten aus elf Untersuchungen [47]: Sieben Arbeiten beobachteten verstärkte hypertrophe und/oder Kraftantworten, zwei berichteten Veränderungen der akuten Antworten auf Niedriglast-Krafttraining mit BFR, eine untersuchte Anpassungen an mittellastiges Krafttraining mit BFR, eine verbesserte Trainingsantworten auf kardiovaskuläres BFR-Training mit niedriger Belastungsrate, und eine berichtete über einen Verletzungsfall nach BFR-Übung bei einem Sportler.

Weitere Untersuchungen

Eine systematische Übersicht mit Metaanalyse zu Knieschmerzen schloss acht randomisierte klinische Studien ein, fünf davon in die quantitative Synthese [40]. Der gepoolte standardisierte Mittelwertunterschied zeigte, dass Krafttraining mit BFR gegenüber Krafttraining allein Schmerzen nicht stärker linderte (SMD: $-0,37$ cm, 95 %-KI $-0,93$ bis $0,19$) und die Kniefunktion nicht stärker verbesserte (SMD $= -0,23$ Punkte, 95 %-KI $-0,71$ bis $0,26$); die Evidenzqualität war niedrig. An 42 gesunden Teilnehmenden (Alter $28,1 \pm 7,7$ Jahre) wurde der arterielle Verschlussdruck des Oberarms in Rücken-, Sitz- und Standposition von drei verblindeten Untersuchenden gemessen, mit einer Manschette mit Handpumpe und einem Hand-Doppler-Ultraschallgerät [41]. Der Verschlussdruck war in Sitzposition signifikant höher als in Rückenlage ($P < 0,031$) und in Rückenlage höher als im Stand ($P < 0,031$).

Eine Übersicht zu wahrgenommenen Hürden der BFR-Anwendung nennt als Barrieren die Bestimmung der Trainingsdrücke, den Zugang zu geeigneter Technik für die jeweilige Zielgruppe, ein umfassendes und systematisches Vorgehen beim medizinischen Screening sowie Strategien, um die hohen wahrgenommenen Anforderungen des Trainings zu senken und die langfristige Mitarbeit zu fördern [53].

Entzündungsgeschehen

In einer Studie absolvierten gesunde Erwachsene vier Wochen lang dreimal wöchentlich Beinstrecken mit Niedriglast und BFR (30 % der Kraft) oder mit Hochlast (80 %), wobei die Manschette auf 30 % über dem systolischen Blutdruck aufgepumpt wurde [46]. Gemessen wurden Kraft, Pulswellengeschwindigkeit, Knöchel-Arm-Index, Prothrombinzeit und Nervenleitgeschwindigkeit vor und nach dem Training sowie Gerinnungsmarker (Fibrinogen und D-Dimer), Fibrinolyse (Gewebeplasminogenaktivator, tPA) und Entzündung (hochsensitives C-reaktives Protein, hsCRP) nach der ersten und letzten Übungseinheit. Die Kraft stieg um 8 % unter BFR und um 13 % unter Hochlast ($P < 0,01$). Pulswellengeschwindigkeit, Knöchel-Arm-Index, Prothrombinzeit und Nervenleitgeschwindigkeit änderten sich in keiner Gruppe ($P > 0,05$). Das tPA-Antigen stieg unmittelbar nach akuten Einheiten beider Protokolle um 30–40 % ($P = 0,01$); Fibrinogen, D-Dimer und hsCRP blieben unverändert ($P > 0,05$).

VERMUTUNG Eine Übersicht zur Rolle von Entzündung und Immunzellen in der BFR-Anpassung beschreibt, dass BFR mit niedrigintensivem Krafttraining Muskelmasse und Kraft in verschiedenen Populationen steigert und einen ausgeprägten metabolischen Stress erzeugt, der über verstärkte Rekrutierung schnell zuckender Fasern, eine größere endokrine Antwort und/oder eine verstärkte Zellschwellung das Muskelwachstum fördern soll [52]. Nach der Übung sind Neutrophile die ersten Immunzellen, die den Umbau einleiten, unter anderem über vermehrte Zytokinproduktion und Rekrutierung von Monozyten und Makrophagen, die Phagozytose, Myoblastendifferenzierung und die Bildung neuer Myotuben unterstützen.

Darm und Mikrobiom

Für den Bereich Darm und Mikrobiom liegt zu Blutflussrestriktionstraining keine Arbeit vor, die diesen Endpunkt untersucht. Ob das Verfahren die Darmflora oder Entzündungsvorgänge im Darm beeinflusst, ist eine offene Frage, die eigene Untersuchungen mit entsprechenden Endpunkten erfordern würde.

Gesamtbild

Über die Gebiete hinweg tragen vor allem Übersichtsarbeiten und Metaanalysen: Für Kraft und Muskelgröße zeigen sie unter Niedriglast mit BFR konsistente Vorteile gegenüber Kontrolle oder Niedriglast ohne BFR [42][48][50], und für Schmerz und Funktion bei Knieschmerzen findet eine Metaanalyse keinen zusätzlichen Nutzen gegenüber Krafttraining allein [40]. Einzelstudien zeichnen ein gemischtes Bild: Bei patellofemoralem Schmerz war BFR beim Alltagsschmerz überlegen [25], nach Kreuzbandrekonstruktion mit hochintensiver Übung nicht [29]. Die Druckhöhe scheint eine untergeordnete Rolle zu spielen [44][45].

Sicherheits- und Verträglichkeitsdaten stammen überwiegend aus kleinen, kurz angelegten Untersuchungen an Gesunden [46][49], während Risikogruppen mit kardiovaskulären oder gerinnungsbezogenen Erkrankungen bislang vor allem konzeptionell adressiert werden [30][32]. Autoregulierte Drücke schnitten in einer Studie günstiger ab als feste [33]. Über alle Gebiete hinweg stehen größere, unabhängig wiederholte Studien mit einheitlichen Protokollen und längeren Nachbeobachtungszeiten noch aus, die auch ältere Menschen und Patientengruppen einschließen.

Methodik der Studienlage

Die tragenden Arbeiten sind kontrollierte Studien am Menschen und Crossover-Designs an kleinen Stichproben, meist zwischen zehn und 80 Teilnehmenden, mit Trainingsdauern von vier bis acht Wochen [25][27][28][29][31][33][37][38][46]. Endpunkte sind Kraft (isometrisch, isokinetisch, isotonisch), Muskelgröße (Ultraschall, Magnetresonanztomographie, Querschnittsfläche), Schmerz und Funktion über Scores und Skalen sowie akute physiologische Maße wie Laktat, Gewebeatmung, Hämodynamik und intravasale Drücke. Hinzu kommen mehrere systematische Übersichten und Metaanalysen [10][34][35][39][40][42][48][50]. Offen bleiben größere Stichproben, einheitliche Verschluss- und Übungsprotokolle, längere Nachbeobachtung sowie Studien an Patientengruppen mit relevanten Begleiterkrankungen.

Die meistzitierten Arbeiten behandeln die Methode, nicht den Nutzen

Die am häufigsten zitierte Arbeit des Feldes ist eine grundlagenorientierte Übersicht zu Methodik, Anwendung und Sicherheit; an zweiter Stelle steht eine Arbeit zur Manschettenbreite und ihrem Einfluss auf die arterielle Okklusion. Auch die weiteren Spitzenplätze behandeln die akute Reaktion: mTORC1-Signalgebung und Muskelproteinsynthese bei älteren Männern, den Einfluss des relativen Restriktionsdrucks auf Muskelaktivierung und Anpassung sowie den exercise pressor reflex. Die Sichtbarkeit des Feldes ruht damit auf der Frage, wie die Methode angewendet wird und was sie akut auslöst.

Die kontrollierten Studien am Menschen konzentrieren sich auf den Bewegungsapparat, und ihr Ergebnisbild ist nicht einheitlich. Eine der meistzitierten randomisierten Arbeiten fand, dass BFR in Kombination mit hochintensivem Training die Quadrizepsfunktion nach VKB-Rekonstruktion nicht verbessert. Andere vielzitierte Arbeiten berichten über Kraft- und Hypertrophieeffekte bei niedriger Last, etwa bei Frauen mit Risikofaktoren für eine symptomatische Kniegelenkarthrose oder bei praktischem BFR im periodisierten Training. Die Annahme, Restriktion steigere jeden Trainingsreiz, ist damit nicht durchgängig gestützt; entscheidend sind Last, Druck und Anwendungsfall.

3. Wie belastbar die Forschung ist

Die Forschung verteilt sich auf mehrere Ebenen. Neben kontrollierten Studien am Menschen stehen zahlreiche grundlagen- und beobachtende Arbeiten sowie Übersichts- und Mechanismusarbeiten. Innerhalb der kontrollierten Studien am Menschen dominiert der Bewegungsapparat deutlich; danach folgen Sicherheit, Herz-Kreislauf, Erschöpfung, Knochen und Stoffwechsel. Zu Entzündung, Kognition, Darm und Immunsystem liegen nur einzelne kontrollierte Arbeiten vor. Die meistzitierten kontrollierten Studien behandeln patellofemorale Schmerzen, Kniegelenkarthrose, proximale, distale und kontralaterale Effekte am Bein, Muskelhypertrophie im periodisierten Training, die Rehabilitation nach VKB-Rekonstruktion, Risikostratifikation, Restriktionsdrücke und Hämostase.

Methodisch ist das Feld zweigeteilt. Es gibt doppelblinde randomisierte Studien, systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen, etwa zu Kraft und Hypertrophie bei älteren Menschen. Dem steht eine ausgeprägte Heterogenität der Protokolle gegenüber, die das Zusammenfassen erschwert. Viele kontrollierte Studien messen Surrogatgrößen wie Kraft, Muskelquerschnitt oder Laborparameter und nicht den Krankheitsverlauf. Ein Teil der Arbeiten kombiniert BFR mit hochintensivem Training, sodass der Beitrag der Restriktion selbst nicht isoliert wird. Sicherheitsfragen stützen sich überwiegend auf beobachtende und mechanistische Arbeiten, darunter eine Übersicht zur Hämostase und eine Arbeit, die den exercise pressor reflex als Sicherheitsaspekt benennt.

4. Was häufig behauptet wird – und was die Daten hergeben

AUSSAGE	STUDIENLAGE
Muskelaufbau und Kraft bei gesunden Trainierten	Kontrollierte Studien und eine Metaanalyse zu älteren Menschen liegen vor; gemessen werden Kraft und Muskelquerschnitt, meist unter niedriger Last.
Rehabilitation nach VKB-Rekonstruktion	Eine vielzitierte randomisierte Arbeit zeigt keinen Zusatznutzen, wenn BFR mit hochintensivem Training kombiniert wird; Übersichtsarbeiten fassen die B
Kniegelenkarthrose und patellofemorale Schmerzen	Hier liegen doppelblinde randomisierte Studien und systematische Übersichtsarbeiten vor; das ist der am besten untersuchte klinische Bereich.
Sicherheit und Hämostase	Eine systematische Übersicht zur Hämostase und eine Arbeit zur Risikostratifikation existieren; die Basis ist überwiegend beobachtend und mechanistisc

5. Die belastbarsten Arbeiten

Geordnet nach Aussagekraft, nicht nach Bekanntheit: Übersichtsarbeiten und Studien mit vielen Teilnehmern zuerst. Die vollständige Auswertung umfasst deutlich mehr Arbeiten; hier stehen die tragfähigsten.

Kontrollierte Studien am Menschen

- ¹ Effects of blood flow restriction exercise interventions on patellofemoral pain syndrome: a systematic review and meta-analysis (2026) — Übersichtsarbeit, 508 Teilnehmer
- ² Effects of blood flow restriction therapy for lower limb dysfunction in stroke patients: a systematic review and meta-analysis (2026) — Übersichtsarbeit, 522 Teilnehmer
- ³ Blood flow restriction improves lower limb muscle function in adults with musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis (2026) — Übersichtsarbeit, 638 Teilnehmer
- ⁴ The Effectiveness of Blood Flow Restriction Training on Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and ... (2026) — Übersichtsarbeit, 643 Teilnehmer
- ⁵ Blood Flow Restriction Training After Orthopedic Procedures: A Scoping Review of Current Trends and Functional Outcome Assessments (2026) — Übersichtsarbeit, 831 Teilnehmer
- ⁶ Comparative Efficacy and Safety of Blood Flow Restriction Training for Knee Osteoarthritis: A Network Meta-Analysis (2025) — Übersichtsarbeit, 866 Teilnehmer
- ⁷ Comparative effectiveness of neuromuscular, virtual reality, proprioceptive, blood flow restriction and conventional training after ACL ... (2026) — Übersichtsarbeit, 972 Teilnehmer
- ⁸ Do blood flow restriction exercises offer additional benefits when compared to conventional exercises in musculoskeletal rehabilitation? A systematic ... (2026) — Übersichtsarbeit, 1.652 Teilnehmer
- ⁹ Effects of Blood Flow Restriction Therapy in Individuals With Knee Osteoarthritis: Overview of Systematic Reviews (2026) — Übersichtsarbeit, 5.656 Teilnehmer
- ¹⁰ Blood Flow-Restricted Training for Lower Extremity Muscle Weakness due to Knee Pathology: A Systematic Review (2019) — Übersichtsarbeit, 165 Teilnehmer
- ¹¹ Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized ... (2025) — Übersichtsarbeit, 245 Teilnehmer
- ¹² Effect of Blood Flow Restriction Technique on Delayed Onset Muscle Soreness: A Systematic Review (2022) — Übersichtsarbeit, 118 Teilnehmer
- ¹³ Acute and Chronic Effects of Blood Flow Restriction Training in Physically Active Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A ... (2024) — Übersichtsarbeit, 152 Teilnehmer
- ¹⁴ Acute effect of low-load resistance exercise with blood flow restriction on oxidative stress biomarkers: A systematic review and meta-analysis (2023) — Übersichtsarbeit, 158 Teilnehmer
- ¹⁵ The effects of blood flow restriction training on early muscle strength and mid-term knee function following anterior cruciate ligament ... (2025) — Übersichtsarbeit, 276 Teilnehmer
- ¹⁶ Comparison of blood flow restriction training rehabilitation and general rehabilitation exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: A ... (2025) — Übersichtsarbeit, 376 Teilnehmer
- The Effect of Low Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction on Fall Resistance in Middle-Aged and Older Adults: A Meta-Analysis (2023) — Übersichtsarbeit, 419 Teilnehmer
- The effects of blood flow restriction training on post activation potentiation and upper limb muscle activation: a meta-analysis (2024) — Übersichtsarbeit, 484 Teilnehmer
- Effect of resistance training with blood flow restriction on muscle damage markers in adults: A systematic review (2021) — Übersichtsarbeit, 301 Teilnehmer
- The impact of blood flow restriction training on tendon adaptation and tendon rehabilitation - a scoping review (2025) — Übersichtsarbeit, 122 Teilnehmer
- ¹⁷ Credibility of Blood Flow Restriction Training in Patients With Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis (2025) — Übersichtsarbeit, 228 Teilnehmer
- ¹⁸ Blood flow restriction training compared to conventional training in people with knee pain: a systematic review with meta-analysis (2025) — Übersichtsarbeit, 418 Teilnehmer
- ¹⁹ The effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction on knee rehabilitation in middle-aged and elderly patients: A ... (2025) — Übersichtsarbeit, 241 Teilnehmer
- The effects of blood flow restriction training on post activation potentiation and fatigue level: systematic review with meta-analysis (2025) — Übersichtsarbeit, 347 Teilnehmer

6. Resümee

BELEGT Die tragfähigsten Aussagen stammen aus Übersichtsarbeiten und Metaanalysen am Bewegungsapparat. Eine Metaanalyse [42] mit 47 eingeschlossenen Arbeiten zeigt mittlere Kraftvorteile von 0,4 Nm unter BFR-Ausdauerbelastung und 0,3 kg unter BFR-Kraftbelastung sowie einen Unterschied der Muskelgröße von 0,4 cm². Eine Metaanalyse zu älteren Menschen [48] mit 11 Studien und N=238 berichtet einen gepoolten Effekt von

2,16 (95 %-KI 1,61 bis 2,70) beim Niedriglasttraining und 3,09 (2,04 bis 4,14) beim Gehen. Eine Übersicht zu 19 Oberkörper-Arbeiten [50] fand Zuwächse an Muskelgröße und Kraft proximal und distal des Reizes. Eine kritische Übersicht [49] stützt die Annahme nicht, dass BFR mit niedrigintensiver Übung Muskelschäden häufiger macht.

PLAUSIBEL

Die Vielfalt der Protokolle erklärt, warum sich Befunde nur eingeschränkt zusammenfassen lassen. **Vermutung:** Eine einheitliche Angabe des Drucks relativ zum individuellen Verschlussdruck könnte Arbeiten vergleichbarer machen. **Vermutung:** Der exercise pressor reflex, dessen kardiovaskuläre Antwort seit Alam und Smirk in den 1930er Jahren bekannt ist [43], könnte in der Sicherheitsbewertung stärker berücksichtigt werden. Eine Übersicht zur Hämostase [32] lässt offen, ob die Gefäßkompression Endothelzellen schädigt oder die Thrombusbildung begünstigt.

Eine Studie müsste klären, ob BFR bei einheitlichem Protokoll und Druck relativ zum individuellen Verschlussdruck klinische Endpunkte statt Surrogatgrößen verbessert. Offen ist, ob der Zusatz von BFR zu Krafttraining Schmerz und Funktion bei Knieschmerzen stärker verbessert als Krafttraining allein; die Metaanalyse [40] fand hier keinen Vorteil bei niedriger Evidenzqualität. Ebenso steht die Frage aus, ob die Gefäßkompression Endothelzellen schädigt oder die Thrombusbildung begünstigt [32]. Eine unabhängige Wiederholung mit einheitlicher Druckangabe und klinischen Endpunkten würde die Vergleichbarkeit der Befunde erhöhen.

7. Was offen ist

- **Drucksteuerung:** Nach welchem Maß soll der Restriktionsdruck gesetzt werden — absolut, relativ zum Verschlussdruck oder selbstregulierend während der Belastung?
- **Klinische Endpunkte:** Welche patientenrelevanten Ergebnisse wie Funktion, Schmerz und Verlauf messen kontrollierte Studien jenseits von Kraft und Muskelquerschnitt?
- **Sicherheit bei Risikopatienten:** Welche Vorerkrankungen schließen eine Anwendung aus, und wie belastbar ist die vorgeschlagene Risikostratifikation?

Häufige Fragen

Wie wird der Restriktionsdruck festgelegt?

Die Arbeiten verwenden unterschiedliche Ansätze: absolute Drücke, Drücke relativ zum individuellen arteriellen Verschlussdruck oder eine Autoregulation während der Belastung. Eine Studie an gesunden, körperlich aktiven Erwachsenen untersuchte die Autoregulation des angelegten Drucks und die akute Trainingsantwort. Ein einheitlicher Standard lässt sich aus den vorliegenden Arbeiten nicht ableiten; die Druckwahl bleibt Teil des jeweiligen Protokolls.

Eignet sich BFR bei älteren Menschen?

Zu älteren Menschen liegt eine vielzitierte systematische Übersichtsarbeit mit Metaanalyse vor, die Kraft und Muskelhypertrophie untersucht. Eine weitere Übersichtsarbeit befasst sich mit Patientinnen und Patienten über 50 Jahren und den Zielgrößen Muskelhypertrophie, Kraft und körperliche Funktion. Die Befunde stützen sich überwiegend auf niedriglastiges Training; die Übertragbarkeit auf einzelne klinische Situationen ist jeweils gesondert zu prüfen.

Was unterscheidet praktisches BFR von gerätegestütztem Training?

Beim gerätegestützten Vorgehen wird der Druck kontrolliert und häufig am individuellen Verschlussdruck ausgerichtet. Praktisches BFR arbeitet ohne Druckmessung, etwa mit einer elastischen Binde und einem subjektiv gewählten Anlagedruck. Eine vielzitierte kontrollierte Arbeit untersuchte praktisches BFR im periodisierten Krafttraining und berichtet über Muskelhypertrophie. Ob beide Vorgehen vergleichbar wirken, ist eine offene Frage.

Quellen

1

Effects of blood flow restriction exercise interventions on patellofemoral pain syndrome: a systematic review and meta-analysis
Hou C, Liu Z, Wang C, Wang J, Zhou H, Ma X et al. · 2026

2

Effects of blood flow restriction therapy for lower limb dysfunction in stroke patients: a systematic review and meta-analysis
Zhang J, Xiao Y, Qiu L, Zhang G, Wang R, Zhu X et al. · 2026

3

Blood flow restriction improves lower limb muscle function in adults with musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis
Tan Y, Gan J, Jiang L, Zheng H, Zhang Y, Zhou L et al. · 2026

4

The Effectiveness of Blood Flow Restriction Training on Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis
Xu N, Wang T, Guo R, Hong Y, Dudonienė V · 2026

5

Blood Flow Restriction Training After Orthopedic Procedures: A Scoping Review of Current Trends and Functional Outcome Assessments
Wang A, Stockton D, Herfst K, Jiang K, Witts N, Lefavre KA · 2026

6

Comparative Efficacy and Safety of Blood Flow Restriction Training for Knee Osteoarthritis: A Network Meta-Analysis
Yang H, Xiong L, Wang P, Zeng Y, Zhao Z, He C et al. · 2025

7

Comparative effectiveness of neuromuscular, virtual reality, proprioceptive, blood flow restriction and conventional training after ACL reconstruction: A network meta-analysis of randomized controlled trials
Zhao B, Zhao W, Chen L, Wang B, Zhang L, Cheng A et al. · 2026

8

Do blood flow restriction exercises offer additional benefits when compared to conventional exercises in musculoskeletal rehabilitation? A systematic review and meta-analysis
Ferlito JV, Rolnick N, Kamiş O, de Queiros VS, Lopez P, Hughes L · 2026

9

Effects of Blood Flow Restriction Therapy in Individuals With Knee Osteoarthritis: Overview of Systematic Reviews
Machado FA, Almeida GJ, Santos FRA, Cipriano GFB, Cipriano G, Cardoso JR et al. · 2026

10

Blood Flow-Restricted Training for Lower Extremity Muscle Weakness due to Knee Pathology: A Systematic Review
Barber-Westin S, Noyes FR · 2019

11

Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials
Gopinath V, Garcia JR, Reid IK, Knapik DM, Verma NN, Chahla J · 2025

12

Effect of Blood Flow Restriction Technique on Delayed Onset Muscle Soreness: A Systematic Review
Rodrigues S, Forte P, Dewaele E, Branquinho L, Teixeira JE, Ferraz R et al. · 2022

13

Acute and Chronic Effects of Blood Flow Restriction Training in Physically Active Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review
García-Rodríguez P, Pecci J, Vázquez-González S, Pareja-Galeano H · 2024

14

Acute effect of low-load resistance exercise with blood flow restriction on oxidative stress biomarkers: A systematic review and meta-analysis
Ferlito JV, Rolnick N, Ferlito MV, De Marchi T, Deminice R, Salvador M · 2023

15

The effects of blood flow restriction training on early muscle strength and mid-term knee function following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis
Li X, Xiao F, Ren H, Peng Y, Feng F, Dong Q · 2025

16

Comparison of blood flow restriction training rehabilitation and general rehabilitation exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of randomized controlled trials
Zhou L, Rothrauff B, Chen L, Jin S, He S, He J · 2025

17

Credibility of Blood Flow Restriction Training in Patients With Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis
He J, Zhang L, Wu Q, Zhang J · 2025

18

Blood flow restriction training compared to conventional training in people with knee pain: a systematic review with meta-analysis
Zeitlin C, Shepherd M, Lack SD, Neal BS · 2025

19

The effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction on knee rehabilitation in middle-aged and elderly patients: A systematic review and meta-analysis
Chen J, Wu L, Li C, Yan H · 2025

International Health Research

Forschung, eingeordnet. Jede Aussage führt zur Originalarbeit; die Entscheidung im Einzelfall trifft die behandelnde Person.
ih-research.com/wissen/blutflussrestriktionstraining/ · Stand 2026-10-04