



CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA
PRESIDENTE: Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi

TESI DI LAUREA

**“IL BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING COME STRUMENTO RIABILITATIVO
NEI PAZIENTI OPERATI DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO
ANTERIORE: REVISIONE DELLA LETTERATURA”**

**“BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING AS A REHABILITATIVE TOOL FOR
ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION PATIENTS: A LITERATURE
REVIEW”**

Relatore: Benatti Valeria
Correlatore: Rossi Alex

Laureando: Sperandio Simone

Anno accademico 2021/2022

INDICE

RIASSUNTO	
ABSTRACT	
INTRODUZIONE	pag. 1
CAPITOLO 1: IL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: RICOSTRUZIONE E RIABILITAZIONE	pag. 2
1.1 Epidemiologia	pag. 2
1.2 Intervento di ricostruzione	pag. 2
1.3 Riabilitazione del legamento crociato anteriore	pag. 2
1.4 Esercizi in catena cinetica aperta o chiusa?	pag. 3
1.5 Ritorno allo sport	pag. 4
CAPITOLO 2: IL BLOOD FLOW RESTRICTION	pag. 5
2.1 Origini	pag. 5
2.2 Effetti fisiologici	pag. 5
2.3 Metodologia di applicazione	pag. 7
2.4 Controindicazioni ed avvertenze	pag. 8
2.5 Utilizzo del BFR a seguito dell'intervento di ricostruzione LCA	pag. 9
CAPITOLO 3: MATERIALE E METODI	pag. 11
CAPITOLO 4: RISULTATI	pag. 14
CAPITOLO 5: DISCUSSIONE	pag. 24
CONCLUSIONI	pag. 29
BIBLIOGRAFIA	pag. 30

Vorrei fare un ringraziamento particolare ai fisioterapisti del centro Kine Fisioterapia e Analisi del Movimento di San Vendemiano (TV) per avermi fornito e illustrato il funzionamento dell'attrezzatura utilizzata nella stesura di questa tesi bibliografica.

Grazie alla loro disponibilità ho potuto sperimentare su me stesso l'allenamento ad occlusione vascolare, osservare il funzionamento del dispositivo da loro in possesso e documentare l'esecuzione del trattamento.

RIASSUNTO

Le lesioni del legamento crociato anteriore nella popolazione sportiva sono molto frequenti, ogni anno in Italia se ne verificano decine di migliaia, con un'incidenza ogni anno maggiore. La ricostruzione del legamento crociato anteriore tramite un innesto è l'intervento più comune per recuperare la funzione, seguono mesi di riabilitazione con una particolare attenzione alla prevenzione dell'atrofia ed al recupero della forza del muscolo quadricipite. Un approccio promettente che sembra non porre stress di taglio significativi sull'articolazione del ginocchio e sul legamento appena operato è il Blood Flow Restriction training (BFR), si utilizza un'occlusione vascolare controllata in combinazione con un allenamento di resistenza a basso carico. Alcuni studi hanno dimostrato che il BFR è in grado di fornire guadagni in forza simili all'allenamento contro resistenza ad alti carichi senza tuttavia irritare le strutture recentemente ricostruite.

L'ipotesi formulata è la seguente: l'allenamento di resistenza con occlusione vascolare (BFR-RT) può comportare un aumento del trofismo, della forza e una riduzione del dolore comparabile se non maggiore, al trattamento fisioterapico convenzionale nella popolazione sottoposta ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Consente guadagni in massa e forza senza creare danni rilevanti alle fibre muscolari provocati dagli esercizi con sovraccarichi elevati e inoltre data la possibilità di eseguire l'esercizio ad un'intensità ridotta si ha un conseguente stress inferiore sul neo-legamento.

È stata eseguita una revisione della letteratura tramite l'utilizzo dei motori di ricerca delle principali banche dati (PubMed, PEDro, Cochrane Library) includendo articoli degli ultimi 10 anni che hanno preso in considerazione BFR nella riabilitazione dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. I risultati ottenuti sono stati poi filtrati utilizzando dei criteri di inclusione ed esclusione nonché termini di ricerca booleani al fine di individuare la migliore evidenza scientifica possibile, per questo motivo si è scelto di utilizzare trial clinici randomizzati e revisioni sistematiche.

Ne è emerso che BFR-RT si è dimostrato efficace tanto quanto il HL-RT nell'incrementare la forza e più adatto nel migliorare la funzione fisica, nel ridurre il dolore e il gonfiore nei pazienti operati di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Si è visto che la sua applicazione risulta più adatta per il paziente durante le prime fasi di riabilitazione post-chirurgia, il che supporta il suo uso in riabilitazione.

Molti dei meccanismi fisiologici che si possono osservare non sono ancora del tutto spiegabili pertanto sono necessari ulteriori studi prima di poter implementare BFR nella pratica clinica.

ABSTRACT

Anterior cruciate ligament injuries in the sports population are very frequent, each year in Italy tens of thousands of them occur with a higher incidence every year.

The reconstruction of the anterior cruciate ligament using a graft is the most common tool to recover the function, months of rehabilitation follow with particular focus on preventing the atrophy and on recovering the strength of the quadriceps muscle.

A promising technique that does not place significant shear stress on the knee joint and on the newly operated ligament is Blood Flow Restriction training (BFR).

Controlled vascular occlusion is used in combination with low load resistance training; some studies have shown that it is capable of improving strength gains similar to heavy load resistance training but without irritating the recently repaired structures.

The hypothesis formulated is the following: resistance training with vascular occlusion (BFR-RT) can result in an increase in trophism and strength and a reduction in pain if compared to the conventional physiotherapy treatment in the population undergoing anterior cruciate ligament reconstruction. BFR can provide gains in mass and strength without creating significant damage to muscle fibers as opposed to exercises with high overloads and given the possibility of performing the exercise at a reduced intensity it can result in a lower stress on the neo-ligament.

A literature review has been performed using the main search engines databases (PubMed, PEDro, Cochrane Library) and including articles from the last 10 years that have considered the use of BFR in the rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction.

The results obtained were then filtered using inclusion and exclusion criteria and as well boolean search terms in order to find the best possible scientific evidence, for this reason it was decided to use randomized clinical trials and systematic reviews.

It turned out that BFR-RT was as effective as HL-RT in increasing strength and more suitable in improving physical function, reducing pain and swelling in anterior cruciate ligament reconstruction patients.

It has been seen that its application is more suitable for the patient during the early stages of post-surgery rehabilitation, this supports its use in rehabilitation.

Many of the physiological mechanisms that can be observed are not yet fully explainable therefore more studies are needed before BFR can be implemented in clinical practice.

INTRODUZIONE

L'interesse nel trattare questo argomento nella mia tesi di laurea è nato in primis dalla passione per il mondo del fitness e della palestra e dalla personale ricerca di tecniche nuove e più efficaci per progredire nei miei allenamenti. È proprio in una palestra che un giorno mi è capitato di osservare un allenamento particolare per il rinforzo del muscolo quadricipite in cui si utilizzavano delle bande elastiche non come resistenza ma bensì per comprimere la radice dell'arto. Mi è sembrato un approccio interessante e così mi sono chiesto se potesse avere un utilizzo anche in riabilitazione, ad esempio nel recupero della forza muscolare a seguito di un intervento chirurgico, di infortuni in ambito sportivo o in altre condizioni muscolo-scheletriche. Approfondendo ho trovato il nome della pratica: Blood Flow Restriction (BFR), una tecnica utilizzata in ambito sportivo che sta iniziando ad essere applicata anche in contesti riabilitativi e che consiste nell'applicazione di un dispositivo simile ad un laccio emostatico all'estremità prossimale di un arto.

Dopo averne studiato la meccanica e i principi, ho pensato che sarebbe stato utile analizzare in modo più minuzioso quale potesse essere l'utilizzo di questo strumento nei pazienti operati di ricostruzione del legamento crociato anteriore attraverso una tesi di tipo bibliografico.

Da queste osservazioni personali, nasce l'obiettivo di questo studio, ovvero analizzare la letteratura più recente al fine di verificare l'utilizzo e l'efficacia dell'allenamento BFR nella riabilitazione post-chirurgia del legamento crociato anteriore.

La tesi è stata suddivisa in due parti: nella prima parte ho approfondito il tema riguardante la ricostruzione del legamento crociato anteriore con un accento sull'aspetto riabilitativo, ho presentato la tecnica BFR e gli effetti descritti in letteratura; nella seconda parte sono riportati i risultati dell'analisi della letteratura e la loro successiva discussione, comprendente alcune considerazioni e spunti per la pratica clinica del fisioterapista.

CAPITOLO 1

IL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: RICOSTRUZIONE E RIABILITAZIONE

1.1 Epidemiologia

In Italia dal 2001 al 2015 sono stati effettuati 248'234 interventi di ricostruzione del legamento crociato anteriore. L'incidenza ogni 100'000 abitanti è passata da 21.7 nel 2001 a 33.6 nel 2015, un aumento incredibile che è destinato ad aumentare nel decennio successivo (2016-2025) secondo le previsioni statistiche effettuate. Il rapporto uomo/donna è di 4.54 e il tempo di ospedalizzazione è passato da 4.98 giorni nel 2001 a 2.09 nel 2015, mentre per quanto riguarda l'età la maggioranza delle ricostruzioni avviene in pazienti tra 15-39 anni. Come localizzazione geografica degli interventi chirurgici di ricostruzione del legamento crociato anteriore effettuati si riporta che: il 67,2% degli interventi è stato effettuato nel Nord Italia, il 15,2% al Centro Italia e il 17,6% nel Sud Italia. Il 95,2% delle operazioni effettuate sono state eseguite tramite il Servizio Sanitario Nazionale. ⁽¹⁾

1.2 Intervento di ricostruzione

La ricostruzione del legamento crociato anteriore (ALCR) mediante un innesto è l'opzione più comune per recuperare la funzione. L'intervento viene eseguito in artroscopia ed il neo-legamento può essere autologo (proviene dallo stesso paziente) oppure omologo (proviene da donatore cadavere). La durata dell'operazione è di circa 60-90 minuti e richiede un ricovero breve.

I principali innesti tendinei utilizzati sono quelli del gracile, semitendinoso e rotuleo.

Questo intervento richiede mesi di riabilitazione con un focus iniziale sulla prevenzione dell'atrofia del muscolo quadricipite e sul ripristino della sua forza al fine di recuperare la performance ed avere risultati funzionali a lungo termine. ⁽²⁾

1.3 Riabilitazione del legamento crociato anteriore

Non esistono ancora ad oggi delle linee guida di trattamento e gestione best practice né un protocollo riabilitativo validato per la riabilitazione del legamento crociato anteriore.

Viene pertanto eseguita una riabilitazione basata su criteri, mediante la programmazione di fasi e di raggiungimento di obiettivi intermedi. Il processo di recupero funzionale può essere suddiviso in 5 fasi: pre-operatoria, precoce-iniziale, intermedia, avanzata e ritorno allo sport. ⁽³⁾

Nella Tabella 1 sono sintetizzate le fasi riabilitative con i relativi obiettivi.

Fase riabilitativa	Obiettivi
Riabilitazione pre-operatoria	Preparare il paziente all'intervento Normalizzare il pattern del cammino e la funzionalità del ginocchio Minimizzare il versamento articolare Migliorare il reclutamento qualitativo del quadricipite
Fase iniziale	Controllare e ridurre il dolore e il gonfiore Recuperare la sufficiente mobilità articolare da permettere le ADL Migliorare la percezione e il reclutamento del quadricipite
Fase intermedia	Recuperare la forza muscolare Recuperare la qualità del movimento Recuperare la resistenza cardio-respiratoria
Fase avanzata	Trasferire le abilità e capacità create nelle fasi precedenti in termini sport-specifici
Ritorno allo sport	Rendere il paziente responsivo a stimoli variabili e distrattivi in contesti di gioco caotici e complessi (situazioni di problem solving per il sistema nervoso centrale)

Tabella 1 – le fasi riabilitative e gli obiettivi fase-specifici

1.4 Esercizi in catena cinetica aperta o chiusa?

Per quanto riguarda la scelta degli esercizi, nelle prime fasi della riabilitazione sembra che gli esercizi in catena cinetica chiusa arrechino meno complicanze, come dolore femoro-rotuleo e lassità, rispetto all'esecuzione di esercizi in catena cinetica aperta. A tale riguardo però le opinioni in letteratura sono tuttora contrastanti e gli effetti variano da studio a studio; la tipologia di innesto utilizzato nell'intervento cambia alcuni parametri della riabilitazione, alcuni rispondono meglio di altri alle sollecitazioni e alle forze di taglio generate (ad esempio l'innesto del tendine patellare risponde meglio agli esercizi in CCA rispetto a quello prelevato dai tendini della zampa d'oca).⁽⁴⁾

Dalla sesta alla dodicesima settimana post-intervento l'innesto è maggiormente vulnerabile, è possibile un allentamento della fissazione e un eccessivo allungamento a seguito di un carico in trazione esagerato, questo è causato dalla necrosi precoce e dal fatto che l'interfaccia osso-innesto

sia in fase di guarigione. In linea generale la letteratura ci consiglia di utilizzare esercizi in CCA dalla sesta settimana, facendo attenzione che il raggio di movimento al ginocchio sia ridotto tra i 45° e i 90°. ⁽⁵⁾

1.5 Ritorno allo sport

Quando tornare allo sport dopo una ricostruzione del legamento crociato anteriore?

Tornare ad alte richieste funzionali prima di 9 mesi espone a un rischio di recidiva fino a 7 volte superiore, superare i 9 mesi non impedisce le recidive se non sono stati rispettati test e parametri prima del ritorno.

La letteratura ci indica che per ridurre il rischio di re-infortunio, prima di ritornare all'attività sportiva, l'atleta deve rispettare i seguenti criteri ⁽⁶⁾:

- Differenza di forza tra i 2 quadricipiti non superiore al 10%
- Differenza non superiore al 10% tra i 2 arti nei 4 test Single Leg Hop
- T-Test Agility svolto in meno di 11 secondi
- Rapporto di forza quadricipiti e hamstring inferiore a 1,5:1

Riguardo al primo punto si è osservato che il 33% degli atleti che sono tornati allo sport con un valore inferiore ha subito un re-infortunio al ginocchio nei 2 anni successivi.

A seguito dell'operazione di ricostruzione la lassità al ginocchio risulta diminuita e il risultato ai test funzionali del ginocchio è migliore, il più grande deficit che permane però è l'atrofia del quadricipite che risulta significativamente maggiore se la gamba interessata è la destra.

CAPITOLO 2

IL BLOOD FLOW RESTRICTION (BFR)

2.1 Origini

Il BFR deriva dal Giappone dove è chiamato KAATSU training. È stato sviluppato a partire dal 1967, alla Tokio University, dallo studente di medicina Yoshiaki Sato che nel 1973 ne completa lo sviluppo e ne registra il marchio; negli anni successivi questo metodo di allenamento viene adottato da strutture mediche e università e nel 1994 viene brevettata la prima fascia occludente.

KAATSU significa in giapponese “aumento di pressione”, questo riflette il principio di base: l’occlusione momentanea dei vasi sanguigni muscolari, con conseguente aumento della pressione interna. Inizialmente era stato ideato per condizionare gli astronauti alla microgravità ma presto ha trovato un impiego più vasto nelle pratiche di bodybuilding, di dimagrimento e di riabilitazione.

BFR è stato successivamente utilizzato come alternativa di allenamento per gli individui impossibilitati nell’eseguire i tradizionali protocolli di esercizi aerobici o di resistenza, come pazienti che recuperano da un infortunio, che stanno eseguendo riabilitazione a seguito di un intervento chirurgico o allettati per un periodo di tempo prolungato. I benefici che si possono ottenere non sono esclusivi solo per persone in salute e giovani ma ne possono giovare anche persone di mezza età ed anziani. ⁽⁷⁾ Ulteriori studi negli anni successivi ne hanno dimostrato l’efficacia anche nelle popolazioni affette da diverse forme di infiammazione cronica e dolore come la sindrome della stanchezza cronica ⁽⁸⁾, la fibromialgia ⁽⁹⁾ e l’artrosi ⁽¹⁰⁾.

2.2 Effetti fisiologici

Dagli studi effettuati è emerso che BFR può fornire uno stimolo importante per aumentare l’ipertrofia muscolare, alla base di tutti gli effetti fisiologici vi è l’ipossia che a sua volta determina una cascata di eventi:

1. Reclutamento di fibre muscolari

In condizioni normali, durante un esercizio, vengono coinvolte per prime le fibre di tipo 1 (lente e rosse), all’aumentare dell’intensità si ha un reclutamento progressivo delle fibre veloci (2a e 2b).

In condizione di ischemia invece vengono reclutate le fibre veloci anche se l’intensità è bassa.

2. Sintesi di GH

Fisiologicamente, l’allenamento con occlusione vascolare porta a diversi cambiamenti nel corpo umano, l’accumulo dei metaboliti sembrerebbe essere il principale meccanismo sottostante ai benefici di questa metodica. L’ipossia muscolare che si viene a creare genera prodotti di scarto come acido lattico e lattato ed il loro accumulo stimola la secrezione di ormoni anabolici come il GH.

3. Angiogenesi

L'ipossia stimola in modo marcato il processo di angiogenesi che ha il ruolo di migliorare la vascolarizzazione.

4. Inibizione della miostatina

L'ipossia porta all'attivazione di un meccanismo inibitorio della miostatina con conseguente rallentamento dell'anabolismo muscolare.

Riassumendo, l'allenamento con occlusione vascolare può incrementare il reclutamento di unità motorie, la produzione di ormoni anabolici e inibire i regolatori negativi della crescita muscolare. Inoltre non sono presenti gli effetti negativi dell'allenamento ad alta intensità come ad esempio i danni che avvengono alle fibre muscolari con sovraccarichi elevati e gli incrementi di ormoni catabolici sfavorevoli (cortisolo).⁽⁷⁾

2.3 Metodologia di applicazione

L'obiettivo dell'occlusione nel BFR-training è quello di bloccare completamente il circolo venoso e mantenere parzialmente aperto il flusso arterioso. Questa occlusione deve essere applicata prossimalmente al muscolo da trattare, per questo motivo può essere eseguita direttamente solo su braccia, cosce e gambe (figura 1). L'applicazione agli arti inferiori sembra essere la soluzione più efficace in quanto sono presenti importati masse muscolari.

L'occlusione può essere ottenuta utilizzando diverse tipologie di dispositivi esterni come ad esempio una fascia elastica, questo però non ci fornisce precisione sul quantitativo di compressione che stiamo eseguendo. Per essere più precisi è consigliato l'utilizzo di un dispositivo elettronico (Personalized Tourniquet System) in grado di tenere sotto controllo i parametri della pressione (figura 2).



Figura 1 – applicazione di BFR alla coscia



Figura 2 – Dispositivo occlusivo personalizzato

La compressione della circolazione prossimale al muscolo causa una riduzione della fornitura di ossigeno all'interno del tessuto muscolare, inoltre la diminuzione del flusso sanguigno venoso provoca un ristagno di sangue all'interno dei capillari occlusi risultando in un arrossamento della cute (figura 3). Maggiore è la compressione e maggiore è il ristagno del sangue; in aggiunta quando vengono eseguite delle contrazioni muscolari sotto BFR vi è un aggiuntivo aumento della pressione intramuscolare con ulteriore turbamento del flusso sanguigno.



Figura 3 – variazione di colore della cute dopo pochi minuti di BFR

BFR può essere applicato ad esercizi contro una resistenza esterna (BFR-RE), esercizi aerobici come ad esempio andare in bicicletta o il solo camminare, o anche passivamente senza eseguire alcun tipo di attività. ⁽¹¹⁾

2.4 Controindicazioni e avvertenze

L'applicazione di una pressione troppo elevata può causare diversi sintomi:

- Intorpidimento dell'arto
- Difficoltà nella contrazione e nel movimento
- Dolore muscolare
- Diminuzione delle pulsazioni
- Emorragia sottocutanea

Nel momento in cui si dovesse avvertire una di queste sensazioni è necessario diminuire la pressione applicata. Solitamente questi sintomi si possono presentare all'inizio di un programma di allenamento ma tendono a risolversi a poco a poco in quanto il paziente si adatta progressivamente allo stimolo presentato.

Le controindicazioni descritte in letteratura da considerare sono:

- Storia di trombosi venosa profonda
- Vene varicose
- Alta pressione sanguigna
- Cardiopatia

Nonostante queste controindicazioni, in un campione di 12.642 persone sottoposte ad un allenamento BFR, sono stati riscontrati solamente 7 casi di trombosi venosa (0,055%) e un caso di embolia polmonare (0,008%). Diversi studi sperimentali condotti non hanno dimostrato effetti negativi prodotti dal BFR sull'emostasi. ⁽¹¹⁾

2.5 Utilizzo del BFR a seguito dell'intervento di ricostruzione LCA

A seguito dell'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore, il paziente può avvertire una significativa perdita di forza all'arto inferiore a causa dell'atrofia muscolare e dell'inibizione iatrogena ⁽¹²⁾. La forza dei muscoli flessori ed estensori di ginocchio è notevolmente ridotta durante le prime 12 settimane post-intervento, questo impatta la funzionalità dell'arto inferiore e la qualità di vita. Inoltre si è visto che la debolezza muscolare può persistere per diversi anni ed è associata ad una riduzione cronica della funzione, un alto rischio di re-infortunio e degenerazione articolare. Diventa fondamentale perciò lavorare sull'aspetto della forza già nelle prime fasi della riabilitazione. ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

Come visto nel capitolo precedente l'obiettivo principale della riabilitazione dei pazienti ACLR è il ritorno al livello funzionale che si aveva precedentemente all'infortunio. Questo obiettivo deve essere raggiunto garantendo un basso rischio di recidiva e richiede il raggiungere nuovamente un buon livello di forza. ⁽¹⁵⁾

La priorità è il ripristino della forza del complesso estensorio del ginocchio, questo però risulta difficoltoso in quanto bisogna stare particolarmente attenti ai carichi a cui si sottopone l'articolazione. Carichi troppo elevati potrebbero danneggiare il neo-legamento, accentuare il dolore e il gonfiore e pertanto non risultare tollerabili.

Una tecnica che potrebbe essere promettente per ridurre l'atrofia al quadricipite e non gravare sulla guarigione del legamento da poco operato è il Blood Flow Restriction (BFR). BFR-RT può stimolare un maggiore livello di trofismo e un adattamento della forza maggiore nei pazienti con ACLR se comparati con allenamenti contro resistenza senza il BFR, e può fornire un'alternativa al HL-RT (heavy-load resistance training) nel recuperare la forza nei pazienti con carico compromesso. ⁽¹⁵⁾

L'utilizzo di BFR sembra inoltre ridurre il dolore percepito al ginocchio, questo perché viene abbinato all'utilizzo di una resistenza esterna di molto inferiore rispetto a quella utilizzata durante un lavoro di forza standard (30% 1RM contro 70% 1RM) determinando così un inferiore stress meccanico all'articolazione del ginocchio con conseguente minor gonfiore e dolore. ⁽¹⁶⁾

CAPITOLO 3

MATERIALI E METODI

L'obiettivo del progetto è di reperire tramite la letteratura scientifica le più recenti evidenze relativamente all'efficacia dell'allenamento con occlusione vascolare a basso carico nella riabilitazione post-chirurgia di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

L'ipotesi formulata è la seguente: l'allenamento di resistenza con occlusione vascolare (BFR-RT) può comportare un aumento del trofismo, della forza e una riduzione del dolore comparabile se non maggiore, al trattamento fisioterapico convenzionale nella popolazione sottoposta ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Consente guadagni in massa e forza senza creare danni rilevanti alle fibre muscolari provocati dagli esercizi con sovraccarichi elevati e inoltre data la possibilità di eseguire l'esercizio ad un'intensità ridotta si ha un conseguente stress inferiore sul neo-legamento.

La ricerca bibliografica è stata condotta da Novembre 2021 ad Agosto 2022.

È stata effettuata una ricerca seguendo il modello PICO:

- Pazienti: pazienti operati di ricostruzione del legamento crociato anteriore
- Intervento: allenamento con restrizione del flusso sanguigno
- Controllo: trattamento fisioterapico standard oppure sham BFR
- Outcome: dolore, ipertrofia, forza, test funzionali

I database utilizzati sono i seguenti:

- PubMed
- PEDro
- Cochrane Library
- Letteratura reperita tramite referenza dagli articoli

I **criteri di inclusione** sono stati i seguenti:

- Studi in cui gli outcomes principali sono dolore, forza o ipertrofia
- Studi con utilizzo di BFR e bassi carichi
- Studi pubblicati negli ultimi 10 anni (2012-2022)
- Studi pubblicati in inglese
- RCT e revisioni sistematiche
- Popolazione adulta
- Utilizzo del BFR-RT post intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore

I **criteri di esclusione** hanno compreso:

- Studi che analizzano il BFR in altre condizioni cliniche oltre alla ricostruzione del legamento crociato anteriore
- Studi che analizzano solamente la parte metabolica o fisiologica acuta e non dolore, forza e dimensione del quadricipite
- Full text non reperibile gratuitamente
- Studi differenti da RCT o revisioni sistematiche

Gli studi scientifici che non presentavano un punteggio alla scala PEDro sono stati valutati personalmente, attribuendone il punteggio dopo la lettura integrale, tramite l'utilizzo di apposite scale.

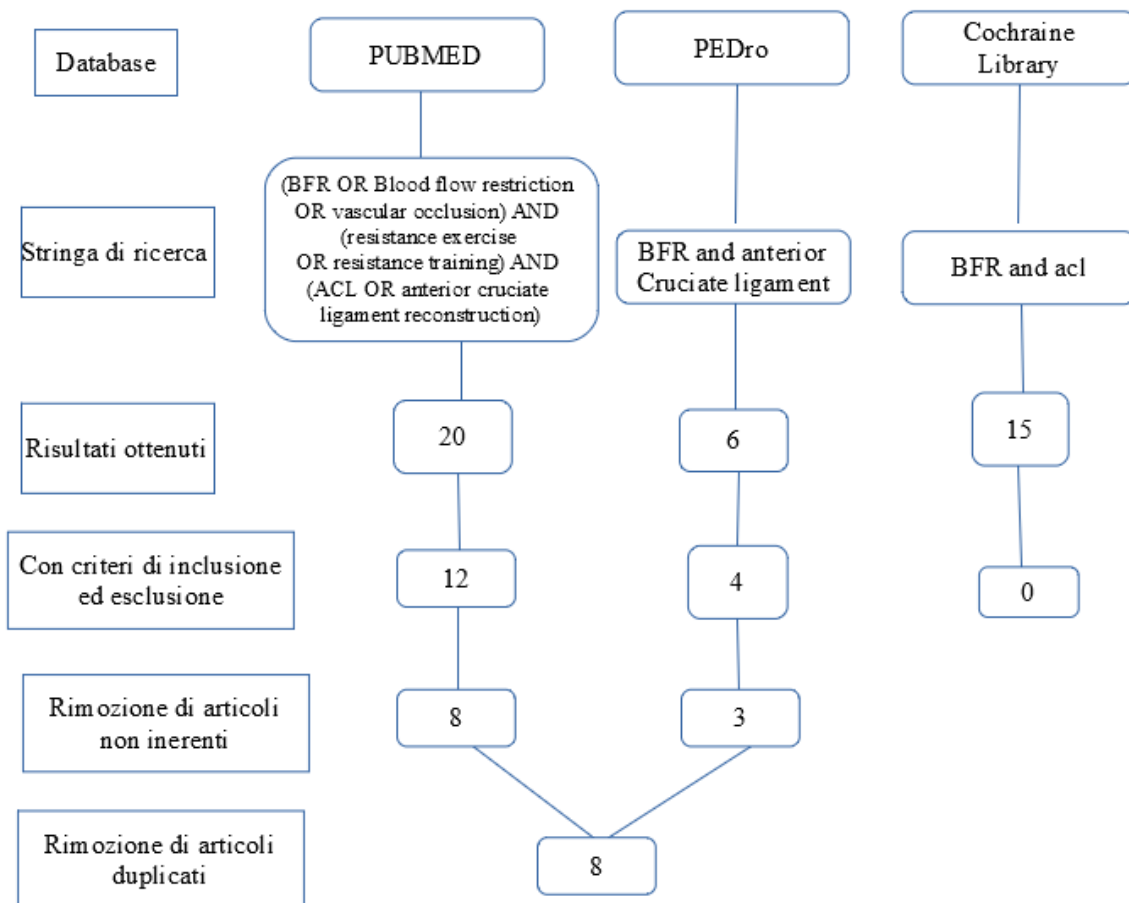
La ricerca degli articoli scientifici è stata eseguita utilizzando i database di PUBMED, PEDro e Cochraine library.

La stringa di ricerca per PUBMED è stata (BFR OR Blood flow restriction OR vascular occlusion) AND (resistance exercise OR resistance training) AND (ACL OR anterior cruciate ligament reconstruction) ed ha portato a 20 risultati che a seguito dell'applicazione dei criteri di inclusione ed esclusione si sono ridotti a 12. Dopo averne visionato gli abstract sono stati rimossi gli articoli non inerenti; un totale di 8 studi è risultato idoneo.

La stringa di ricerca utilizzata su PEDro è stata “BFR and anterior cruciate ligament” il che ha portato a 6 risultati, ridotti poi a 4 utilizzando i criteri di inclusione ed esclusione ed infine indagando singolarmente gli studi ne sono risultati idonei 3.

La ricerca su Cochraine Library ha utilizzato la stringa “BFR and acl”, sono stati evidenziati 15 risultati e a seguito dell’applicazione dei criteri di inclusione ed esclusione 0 studi si sono dimostrati idonei.

Come ultimo passaggio è stata attuata una rimozione degli articoli duplicati rilevati tramite PEDro e PUBMED, ne è emerso che gli articoli risultati idonei sono 8.



Tramite la letteratura consigliata è stato reperito un ulteriore articolo, rivelatosi idoneo dopo l’applicazione dei criteri di inclusione ed esclusione, per un totale di 9 articoli scientifici.

CAPITOLO 4: RISULTATI

Attraverso la ricerca sono stati reperiti 9 articoli che soddisfano i criteri di inclusione ed esclusione prima descritti (4 revisioni sistematiche e 5 trial clinici randomizzati); questi sono stati sintetizzati nella tabella sottostante per rendere la loro lettura e confronto più semplici (tabella 2).

Gli articoli sono stati posti in ordine cronologico dal più recente, la presentazione e l'analisi è iniziata dalle revisioni sistematiche per poi giungere successivamente agli RTC.

Per facilitare la successiva discussione dei risultati è stata riportata un'ulteriore tabella in cui si confrontano i singoli studi con i relativi outcomes esaminati (tabella 3).

Articolo	Anno	Tipo di studio	Partecipanti	Intervento	Risultati	Valutazione	Citazione
Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : A Systematic Review ⁽¹⁷⁾	2022	Revisione Sistematica	6 studi: - Hughes (2019a) - Hughes (2019b) - Hughes (2018) - Iversen (2014) - Ohta (2003) - Takarada (2000)	Utilizzo di BFR e bassi carichi a seguito di ACLR.	L'allenamento LL-BFR dopo ACLR sembrerebbe essere adeguato nel migliorare la forza e la massa muscolare del quadricipite, nel ridurre il dolore all'articolazione del ginocchio se comparato ad un allenamento non BFR. Sembrerebbe inoltre non avere effetti negativi sulla lassità dell'innesto usato per la ricostruzione del LCA.	Livello di evidenza 2a	Baris B Koc, Alexander Truyens, Mario J L F Heymans, Edwin J P Jansen, Martijn G M Schotanus. DOI:10.26603/001c.33151
The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis ⁽¹⁸⁾	2022	Revisione Sistematica e meta-analisi	11 studi valutati tramite "Cochrane risk of bias summary tool"	8 esaminano BFR-LL post-chirurgia LCA 2 BFR-LL pre-chirurgia LCA 1 BFR a seguito di artroscopia Tennent (2017)	L'utilizzo di BFR nel periodo post-operatorio a seguito di chirurgia al ginocchio può migliorare la massa muscolare del quadricipite se comparato ad un gruppo di controllo. Per trarre conclusioni invece per il pre-condizionamento sono necessari più studi con	Livello di evidenza 4	Lawrence Wengle, Filippo Migliorini, Timothy Leroux, Jaskarndip Chahal, John Theodoropoulos, Marcel Betsch DOI:10.1177/03635465211027296

					<p>protocolli di durata e frequenza maggiori. I protocolli con BFR devono essere maggiormente approfonditi nelle ricerche future al fine di determinare i più efficaci per i pazienti.</p>		
<p>Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction (19)</p>	2020	Revisione Sistemática	<p>6 studi: Zargi (2018) Hughes (2018) Grapar Zargi (2016) Iversen (2016) Ohta (2003) Takarada (2000)</p>	<p>2 studi esaminano BFR a basso carico come intervento pre-chirurgia (Zargi 2018 e Grapar Zargi 2016). 4 studi esaminano BFR a basso carico come intervento post-chirurgia.</p>	<p>Dei 2 studi pre-chirurgia, 1 ha ottenuto un significativo aumento nella resistenza muscolare isometrica, elettromiografia di superficie del vasto mediale e afflusso sanguigno al muscolo vasto laterale al follow up finale se comparato al gruppo sham BFR. I 4 studi post-chirurgia hanno riportato benefici significativi per quanto riguarda l'ipertrofia muscolare (sezione trasversa), forza e nelle misurazioni soggettive come il dolore al ginocchio. L'occlusione sanguigna varia tra i 3 e i 5 minuti con periodi di riposo tra</p>	Livello di evidenza 2	<p>Yining Lu, Bhavik H. Patel, Craig Kym, Benedict U. Nwachukwu, Alexander Beletksy, Brian Forsythe, Jorge Chahla, DOI:10.1177/2325967120906822</p>

					i 45 secondi e i 3 minuti.		
A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction (20)	2020	Revisione Sistemática	4 studi che secondo la scala di valutazione GRADE (Grading of Recommendation s, Assessment, Development and Evaluations) hanno qualità “moderata” Takarada (2000) Ohta (2003) Iversen (2014) Lambert (2019)	Utilizzo del BFR training abbinato a bassi carichi a seguito dell’intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore	L’allenamento con BFR e bassi carichi può avere un effetto positivo nel limitare la perdita di dimensione dell’area trasversa del quadricipite a seguito di ACLR.	Livello di evidenza 3a	Derek Charles, Ryan White, Caleb Reyes, Drew Palmer DOI:10.26603/ijsp20200882
Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction (21)	2022	RCT	32 pazienti sottoposti all’intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore mediante innesto del tendine patellare, suddivisione in 2 gruppi: - gruppo di controllo di 15 pazienti - gruppo BFR di 17 pazienti	Eseguito un programma riabilitativo di 12 settimane (2 sessioni a settimana) dopo 7 giorni dall’intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Il gruppo BFR ha eseguito gli esercizi con un’occlusione arteriosa	In comparazione con la condizione pre-intervento il gruppo di controllo ha ottenuto una diminuzione della massa magra agli arti inferiori sia a 6 settimane che a 12; la massa ossea è risultata minore nella 6° e 12° settimana solo nel gruppo di controllo. Misure della funzionalità sono risultate simili tra i due gruppi ma il ritorno allo sport risulta più veloce	6/10 Scala PEDro	Robert A. Jack II, MD, Bradley S. Lambert, PhD, Corbin A. Hedt, DPT, Domenica Delgado, BS, Haley Goble, MHA, and Patrick C. McCulloch, MD DOI:10.1177/19417381221101006

				<p>dell'80% nella gamba operata. Resistenza impostata a 20% 1 RM della gamba controlaterale a quella operata, eseguiti 4 set da 30-15-15-15 ripetizioni con 30 secondi di pausa per ogni set. Gli esercizi seguono una progressione settimanale e ne sono presenti 8 di diversi.</p>	<p>nel gruppo BFR rispetto al gruppo di controllo. Nessun evento avverso.</p>		
Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament	2019	RCT	<p>28 pazienti sottoposti ad intervento unilaterale di ricostruzione del legamento crociato anteriore (innesto dal bicipite femorale) casualmente collocati in 2 gruppi: 1) 14→ HL-RT (heavy-load</p>	<p>Entrambi i gruppi hanno eseguito 2 sessioni settimanali per 8 settimane di leg-press unilaterale per ogni arto. Occlusione stabilità all'80% ed in entrambi gli arti. Ricevuto inoltre</p>	<p>Nessun evento avverso. Il dolore al ginocchio è risultato minore nel gruppo BFR-RT durante e nelle 24 successive all'allenamento per tutte le sessioni rispetto al gruppo HL-RT. Il dolore muscolare risulta significativamente maggiore nel gruppo BFR-RT rispetto al HL-</p>	7/10 scala PEDro	<p>Luke Hughes, Stephen David Patterson, Fares Haddad, Benjamin Rosenblatt, Conor Gissane, Daniel McCarthy, Thomas Clarke, Graham Ferris, Joanna Dawes, Bruce Paton. DOI:10.1016/j.ptsp.2019.06.014</p>

reconstruction patients: A UK National Health Service trial ⁽²²⁾			resistance training) utilizzando come carico 70% 1 RM 2)14 nel gruppo BFR-RT con utilizzo di un carico pari al 30% 1RM 4 Partecipanti hanno abbandonato lo studi: 2 per motivi personali, 1 senza fornire un motivo, 1 per un intervento chirurgico non programmato.	anche il trattamento standard.	RT in tutte le sessioni (5.5 +- 2.5 vs 1.9+-1.5). RPE è rimasto invariato in entrambi i gruppo.		
Comparing the Efectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament	2019	RCT	28 pazienti sottoposti ad intervento unilaterale di ricostruzione del legamento crociato anteriore (innesto dal bicipite femorale) casualmente collocati in 2 gruppi: 1) 14→ HL-RT utilizzando come carico 70% 1 RM	Entrambi i gruppi hanno eseguito 2 sessioni settimanali per 8 settimane di leg-press unilaterale per ogni arto. Occlusione stabilità all'80%. 0°-90° di ROM, il 10RM è stato calcolato e poi	Nessun evento avverso. La massima forza isotonica nel 10RM è aumentata significativamente nell'arto infortunato e in quello sano in entrambi i gruppi senza differenze. Aumenti significativi nella massa muscolare e nell'angolo di pennazione in entrambi i gruppi senza differenze.	7/10 scala PEDro	Luke Hughes, Benjamin Rosenblatt, Fares Haddad, Conor Gissane, Daniel McCarthy, Thomas Clarke, Graham Ferris, Joanna Dawes, Bruce Paton, Stephen David Patterson. DOI:10.1007/s40279-019-01137-2

<p>Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial ⁽²³⁾</p>			<p>2) 14 nel gruppo BFR-RT con utilizzo di un carico pari al 30% 1 RM. 4 partecipanti hanno abbandonato lo studio: 1 per un intervento chirurgico non programmato e 3 per ragioni non correlate allo studio.</p>	<p>successivamente e utilizzato per misurare 1RM (altamente predittivo $r=0.98$) Il carico allenante è stato innalzato del 10% ogni volta che il paziente riusciva a completare tutte le ripetizioni in 2 sessioni consecutive. Ricevuto inoltre anche il trattamento standard</p>	<p>Incrementi significativi e rilevabili clinicamente nelle misure dei livelli di funzionalità soggettivi, nel Y balance test, nel ROM e nella riduzione del dolore e gonfiore al ginocchio nel gruppo BFR-RT se comparato al gruppo HL-RT.</p>		
--	--	--	--	---	---	--	--

<p>Effectivity of blood flow restriction training for gains in strength and trophism in patients with ACL injuries (24)</p>	<p>2018</p>	<p>RCT</p>	<p>20 pazienti poi ridotti a 10 per i criteri di inclusione ed esclusione. Dovevano aver ricevuto un intervento al legamento crociato anteriore da almeno 3 mesi ma da meno di 3 anni, non dovevano aver effettuato alcun tipo di fisioterapia o attività sportiva. 1 gruppo di 5 persone è stato assegnato al BFR-LL 1 gruppo di 5 persone è stato assegnato al HL (70% 1 RM).</p>	<p>6 settimane di allenamento con 3 sessioni settimanali, 3 serie di leg extension e 3 di leg curl per 10 ripetizioni al 30% 1RM. Pressione controllata a 150 mmhg prossimalmente alla coscia per non più di 30 minuti.</p>	<p>Tutti i partecipanti al gruppo BFR-LL ha ottenuto un incremento nel valore misurato con il dinamometro superiore al gruppo HL. Il gruppo HL ha ottenuto dei risultati leggermente maggiori per quanto riguarda le misurazioni con il metro a 10 cm e 20 cm dalla patella. Per 1 RM il gruppo BFR-LL ha ottenuto incremento maggiore del carico spostato rispetto al gruppo di controllo</p>	<p>6/10 scala PEDro</p>	<p>Fernandez Reyes Alejandra Marissa DOI:10.15406/mojor.2018.10.00452</p>
---	-------------	------------	---	---	--	-------------------------	---

<p>Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations ⁽²⁵⁾</p>	<p>2018</p>	<p>RCT</p>	<p>30 pazienti di cui 20 sottoposti ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore (innesto dal bicipite femorale) suddivisi in 3 gruppi: 1) 10 soggetti sani che attuano un allenamento BFR con bassi carichi 2) 10 pazienti ACLR che attuano BFR-RT 3) 10 pazienti ACLR che attuano un allenamento con carichi pesanti (ACLR-HL) I pazienti operati in media hanno atteso 21 giorni dall'operazione prima di eseguire l'intervento.</p>	<p>I 2 gruppi BFR hanno eseguito una sessione di leg-press unilaterale per ogni arto con l'occlusione stabilità all'80%. 5 minuti di riscaldamento su bicicletta e una serie a carico libero e successivamente e 5 minuti di pausa. 4 serie di 30,15,15,15 ripetizioni con 30 secondi di pausa, ROM 0-90°. Il gruppo ACLR-HL ha eseguito 3 serie da 10 ripetizioni con 30 secondi di pausa in un ROM compreso tra 0°-90°.</p>	<p>Nessun evento avverso. La percezione dello sforzo è risultata maggiore e comparabile nei due gruppi ACLR rispetto al gruppo non infortunato. Il dolore muscolare è risultato significativamente maggiore nel gruppo ACLR-BFR rispetto al NI-BFR e ACLR-HL. Il dolore articolare è risultato significativamente minore nel gruppo ACLR-BFR rispetto al gruppo ACLR-HL subito dopo la sessione e nelle successive 24 ore.</p>	<p>8/10 scala PEDro</p>	<p>Luke Hughes, Bruce Paton, Fares Haddad, Bnejamin Rosenblatt, Conor Gissane, Stephen David Patterson DOI:10.1016/j.ptsp.2018.07.002</p>
---	-------------	------------	--	---	---	-------------------------	--

Tabella 2 - sintesi dei risultati

Studio	Outcomes Misurati
Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review ⁽¹⁷⁾	Forza del quadricipite Massa muscolare del quadricipite Dolore articolare al ginocchio Lassità del neo-legamento
The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis ⁽¹⁸⁾	Massa muscolare del quadricipite
Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction ⁽¹⁹⁾	Forza del quadricipite Massa muscolare del quadricipite
A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction ⁽²⁰⁾	Massa muscolare del quadricipite Forza del quadricipite
Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction ⁽²¹⁾	Massa magra Massa ossea Misure di funzionalità (test clinici) Tempo di ritorno allo sport
Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial ⁽²²⁾	Dolore articolare al ginocchio Dolore muscolare RPE (percezione dello sforzo)
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 ⁽²³⁾	Massima forza isotonica nel 10RM Massa muscolare e angolo di pennazione Livelli di funzionalità soggettivi (Y balance test) ROM Dolore e gonfiore al ginocchio
Effectivity of blood flow restriction training for gains in strength and trophism in patients with ACL injuries ⁽²⁴⁾	Forza muscolare del quadricipite e degli hamstring tramite dinamometro e 1RM Misurazioni della massa muscolare, con il metro da sarta, a 10 cm e 20 cm dalla rotula.
Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations ⁽²⁵⁾	RPE (percezione dello sforzo) Dolore muscolare Dolore articolare al ginocchio

Tabella 3 - Sintesi dei risultati per outcomes

CAPITOLO 5

DISCUSSIONE

In questo capitolo verranno analizzati e confrontati i risultati ottenuti nel capitolo precedente. Per rendere la discussione più fluida verranno ripresi gli outcomes della tabella 3, verrà eseguita una discussione in modo critico a cui verranno aggiunte le opinioni degli Autori.

Gli studi analizzati si presentano eterogenei per vari aspetti:

- Il tipo di innesto varia, sono stati utilizzati il tendine del muscolo gracile ⁽¹⁷⁾, degli hamstring ^(22, 23, 25), patellare ⁽¹⁷⁾.
- Il tipo di dispositivo utilizzato per l'applicazione del BFR, elettronico automatizzato ^(22,23,25), lacci emostatici o bande occlusive (Takarada 2000).
- Il quantitativo di pressione applicata, valore fisso ⁽²⁴⁾ e Ohta 2003) o valore personalizzato all'individuo ^(22,23,25).
- La durata del protocollo applicato, una sessione singola ⁽²⁵⁾ o multiple sessioni ^(22,23,24) nel corso di settimane.
- Il volume allenante e la scelta degli esercizi sia nel gruppo BFR che nel gruppo di controllo. I principali esercizi scelti nei vari protocolli sono stati: leg press, leg extension, leg curls.
- Il tempo di applicazione di BFR e i tempi di recupero tra una serie e l'altra
- Il tempo trascorso dall'intervento chirurgico: nella maggior parte dei casi il protocollo riabilitativo è iniziato 2 settimane dopo la chirurgia, ad eccezione dello studio condotto da Takarada (2000) con inizio a 3 giorni dall'operazione e dello studio condotto da Fernandez Reyes Alejandra Marissa⁽²⁴⁾ il quale analizzava pazienti operati da almeno di 3 mesi.

La tipologia di pazienti osservata in questi studi è limitata in quanto in diversi RTC sono presenti dei criteri di inclusione ed esclusioni molto selettivi, pertanto è possibile che i risultati ottenuti non siano generalizzabili su pazienti di età diverse, con stili di vita differenti o in presenza di altre condizioni patologiche e co-morbidità.

Dolore articolare al ginocchio e gonfiore

Il dolore articolare al ginocchio ed il gonfiore sono analizzati come outcomes in 1 revisione sistematica ⁽¹⁷⁾ e in 3 RCT ⁽²²⁻²³⁻²⁵⁾. Il dolore articolare durante le sessioni allenanti è risultato minore nel gruppo ACLR-BFR rispetto al gruppo di controllo con carico pesante (HL-RT). Ciò potrebbe trovare una spiegazione nell'utilizzo di carichi inferiori con conseguente minori forze di taglio e compressione che agiscono a livello dell'articolazione.

Anche il dolore percepito nelle 24 ore successive al trattamento è risultato inferiore, Hughes ⁽²²⁻²³⁻²⁵⁾ ipotizza che l'utilizzo del BFR possa aumentare l'effetto ipo-algesico dell'esercizio contro resistenza. L'ischemia e il dolore muscolare indotto dalla pressione sono spesso utilizzati come stimolo condizionante per la modulazione del dolore, inoltre sono stati dimostrati in grado di alterare la sensibilità al dolore in soggetti sani.

Implicazioni cliniche: si può dedurre che BFR-RT nelle prime fasi riabilitative non accentui l'infiammazione dei tessuti e ciò permette di eseguire un maggiore volume allenante.

Dolore muscolare

Il dolore muscolare viene analizzato in 2 RCT ⁽²²⁻²⁵⁾ ed è risultato maggiore nei gruppi che utilizzano BFR rispetto a quelli di controllo HL-RT (70% 1RM), questo potrebbe derivare dall'accumulo di metaboliti e dall'ipossia causati dalla compressione dei vasi sanguigni.

Hughes ⁽²²⁻²⁵⁾ pone come possibile causa di questo maggior dolore muscolare il quantitativo di volume allenante e l'aver posto una progressione all'esercizio con incremento dei carichi graduale. Il volume allenante in kg x ripetizioni è risultato eterogeneo tra i gruppi il che potrebbe aver condizionato i risultati, il gruppo BFR ha ottenuto un volume maggiore rispetto al gruppo di controllo.

Implicazioni cliniche: nonostante il maggior dolore muscolare percepito, i pazienti sono comunque riusciti a portare a termine le sessioni d'allenamento e non si sono registrate variazioni nell'aderenza ai programmi rispetto ai gruppi di controllo.

Forza del quadricipite

La forza del quadricipite è analizzata in 3 revisioni sistematiche ⁽¹⁷⁻¹⁹⁻²⁰⁾ e in 2 RTC ⁽²³⁻²⁴⁾. I dati riportati in questi studi sono concordi con quanto riportato nella letteratura. L'utilizzo di BFR con bassi carichi a seguito della ricostruzione del legamento crociato anteriore può portare a guadagni in forza maggiori e significativi rispetto ad un approccio non BFR.

Nei vari RCT, considerando anche quelli presenti nelle revisioni sistematiche, sono stati utilizzati diversi gruppi di controllo:

- I gruppi di controllo di 2 RCT ⁽²³⁻²⁴⁾ sono costituiti da pazienti a cui era richiesto l'utilizzo di carichi pesanti (70% 1RM) senza l'applicazione di BFR. I guadagni in forza ottenuti dal gruppo BFR-LL (30%1RM) sono risultati comparabili a quelli ottenuti dal gruppo HL-RT, sono state rilevate minime differenze non significative.
- Gruppo di controllo (Ohta 2003 e Iversen 2014) in cui era richiesto l'utilizzo di bassi carichi ma senza l'applicazione di BFR, ne è risultato che il gruppo BFR-LL nel primo studio ha ottenuto un guadagno in forza maggiore mentre nel secondo studio i risultati sono stati comparabili. Una nota da considerare è che lo stesso autore (Iversen 2014) ha dichiarato di aver utilizzato un'intensità sub-ottimale inoltre erano presenti diversi rischi di bias, per questo non è considerabile molto attendibile.

Tutti gli autori sono concordi, i risultati ottenuti negli studi sono in linea con quelli reperibili in letteratura, precisamente quelli che comparano l'allenamento BFR-LL con LL-RT e HL-RT.

La letteratura ci indica che gli aumenti di forza riscontrati nelle prime settimane sono dovuti ad un adattamento di natura nervosa, vi è una maggior efficienza da parte del sistema nervoso centrale nel reclutare le fibre muscolari, solo successivamente l'aumento di forza è dovuto ad una maggiore dimensione del muscolo.

Implicazioni cliniche: BFR-RT e HL-RT sono egualmente efficaci nell'incrementare la forza muscolare. I vantaggi di BFR-RT rispetto a HL-RT sono una maggior riduzione del dolore e del gonfiore senza però condizionare negativamente l'ipertrofia e la forza.

Trofismo del quadricipite

Il trofismo del quadricipite è presente come outcome in tutte e 4 le revisioni sistematiche ⁽¹⁷⁻¹⁸⁻¹⁹⁻²⁰⁾ e in 3 RTC ⁽²¹⁻²³⁻²⁴⁾. I risultati ottenuti sono in linea con la letteratura presente, LL-BFR sembrerebbe portare più benefici alla massa del quadricipite se comparato con il solo utilizzo dell'allenamento a bassi carichi, se comparato invece con l'allenamento di resistenza ad alto carico i benefici coincidono.

Tutti gli Autori ad eccezioni di uno (Iversen 2014) sono concordi nel dichiarare che l'allenamento LL-BFR possa essere più efficace nell'aumentare la massa muscolare del quadricipite se comparato con l'allenamento a basso carico senza BFR ed equamente efficace se comparato con l'allenamento ad alto carico.

Lo studio di Iversen del 2014 non ha trovato differenze nei due gruppi questo perché metodologicamente aveva diverse lacune, è stato utilizzato un carico sub-ottimale, la banda

occludente si è rivelata troppo larga perdendo quindi la maggior parte dell'effetto, il quantitativo di pressione applicato era il medesimo tra i pazienti perdendo così il fattore di individualizzazione del trattamento.

Un fattore determinante nell'ottenere un aumento di trofismo del quadricipite è la durata del protocollo, le evidenze attuali raccomandano una durata delle sessioni di allenamento di almeno 6-12 settimane per intravedere i primi risultati di crescita muscolare. Un altro fattore da tenere in considerazione in questo caso è la pressione posta sull'arto, i risultati migliori si sono ottenuti con dispositivi automatici e personalizzati che occludevano l'80% del flusso sanguigno, una pressione troppo bassa rende meno efficaci se non nulli gli effetti fisiologici del BFR mentre una pressione troppo alta causa dolore ed impedisce/altera l'esecuzione degli esercizi.

Implicazioni cliniche: La combinazione di BFR e l'utilizzo di bassi carichi potrebbe avere un effetto benefico nel mantenimento della massa muscolare a seguito dell'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Fattore fondamentale è l'individualizzazione del trattamento rispetto alla progressione dei carichi e della pressione occlusiva.

Percezione dello sforzo

2 RTC ^(22, 25) hanno indagato la percezione dello sforzo, i due gruppi messi a confronto sono BFR-LL (30% 1RM) e HL-RT (70% 1RM). L'applicazione di BFR aumenta in modo significativo l'impegno richiesto per spostare i carichi allenanti, lo sforzo percepito è risultato equiparabile tra i due gruppi nonostante le differenze importanti di intensità rispetto 1RM (30% vs 70%), si ha una conferma che HL-RT e BFR-RT con un'occlusione di 80% abbiano livelli simili di RPE.

Il maggiore sforzo percepito dal gruppo BFR-ACLR potrebbe derivare da un maggiore impegno richiesto al sistema nervoso centrale nell'attivare i tessuti che sono stati intaccati dall'intervento chirurgico, nonostante questa fatica data dall'occlusione, i pazienti sono riusciti comunque a completare l'allenamento e i tassi di aderenza sono rimasti invariati.

Implicazioni cliniche: l'applicazione di BFR aumenta la percezione dello sforzo nell'esecuzione degli esercizi, maggiore è la pressione maggiore è la fatica percepita.

Misure di funzionalità e ritorno allo sport

Nello studio di Hughes ⁽²³⁾ sono stati utilizzati la scala SEBT (Star Excursion Balance Test) e questionari di auto-valutazione della funzione. Si è potuto osservare che i punteggi ottenuti dal gruppo BFR-RT fossero significativamente superiori al gruppo di controllo HL-RT, questo aumento

di performance potrebbe derivare da un minore gonfiore e dolore percepito dai pazienti a seguito dell'utilizzo di carichi allenanti inferiori e dell'effetto di ipoalgesia di BFR.

Nello studio di Robert ⁽²¹⁾ i test funzionali sono stati eseguiti dopo 8 settimane di riabilitazione.

I risultati dei 2 gruppi sono risultati comparabili, quello che è cambiato invece è il tempo richiesto per tornare allo sport che nel gruppo BFR è di circa un mese e mezzo più veloce. Da notare però che i criteri per il RTS erano definiti dal chirurgo tramite il completamento di test specifici di funzionalità per il legamento crociato anteriore.

Implicazioni cliniche: l'allenamento con BFR potrebbe essere uno strumento efficace per ridurre il dolore e il gonfiore con conseguente miglioramento della funzionalità dell'arto inferiore. L'utilizzo più ottimale sarebbe nelle prime fasi della riabilitazione e in particolare nei pazienti con elevati gradi di gonfiore e dolore.

Lassità del neo-legamento

Analizzata in una revisione sistematica ⁽¹⁷⁾, non è stata osservata alcuna differenza nell'allentamento dell'innesto nei due gruppi BFR-LL e non BFR. Possiamo quindi affermare che questa tipologia di allenamento non abbia alcun effetto negativo sull'integrità del neo legamento.

È importante segnalare che non si sono verificati eventi avversi rilevanti, è stato riportato solamente qualche caso di leggero intorpidimento all'arto inferiore che poi si è auto-risolto in breve tempo

Prospettive future

Questa revisione bibliografica si concentra sugli effetti dell'allenamento ad occlusione vascolare a seguito dell'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore, nonostante questo nel corso della ricerca è stato ritrovato un articolo eseguito con rigore metodologico che ne analizza gli effetti precedentemente la chirurgia. L'articolo in questione è un RCT svolto da Tina Zargi et al. ⁽²⁶⁾, a cui è stato conferito un valore 9/10 utilizzando la scala PEDro. È il primo studio a dimostrare che il pre-condizionamento tramite BFR-LL ha effetti positivi significativi riguardo alla resistenza muscolare del quadricipite femorale, la sua attivazione e perfusione sanguigna.

Dato che la resistenza muscolare risulta essere un fattore predittivo molto forte per la debolezza muscolare a seguito di ricostruzione del legamento crociato anteriore, si aprono nuovi spunti di ricerca riguardo al pre-condizionamento eseguito tramite BFR-LL, questo potrebbe rivelarsi uno strumento utile da aggiungere al programma fisioterapico standard in fase preoperatoria.

CONCLUSIONI

Questa revisione della letteratura ha portato a delle considerazioni interessanti.

BFR-RT si è dimostrato efficace tanto quanto il HL-RT nell'incrementare la forza e più adatto nel migliorare la funzione fisica, nel ridurre il dolore e il gonfiore nei pazienti operati di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

Il solo allenamento con carichi bassi (senza BFR) potrebbe ridurre il dolore se confrontato con HT-RT ma non sarebbe sufficiente nello stimolare l'adattamento della forza e della funzione.

L'utilizzo di BFR è consigliato quando non è possibile l'utilizzo di carichi elevati, più precisamente nelle prime fasi della riabilitazione a seguito dell'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Il suo utilizzo permette quindi di mantenere e successivamente incrementare la massa muscolare e la forza del soggetto da poco operato in preparazione alle fasi successive della riabilitazione.

Successivamente recuperata la forma fisica è consigliato il passaggio all'allenamento ad alto carico, più efficace nel condizionare i tendini rispetto a BFR e alle attività sport-specifiche per il paziente.

L'allenamento occlusivo non può a tutt'oggi essere considerato sostitutivo agli altri metodi di riabilitazione ma deve essere ritenuto un'integrazione, inoltre richiede una certa formazione prima di essere attuato dal professionista in quanto l'abuso di questa metodica può comportare dei seri rischi per la salute.

Molti dei meccanismi fisiologici che si possono osservare non sono ancora del tutto spiegabili pertanto sono necessari ulteriori studi prima di poter implementare BFR nella pratica clinica, inoltre i campioni di popolazione esaminati si sono rivelati molto selettivi e possono non rappresentare adeguatamente la realtà osservabile nella pratica clinica.

L'analisi della letteratura non è stata eseguita con un metodo molto rigoroso in quanto la quantità di letteratura disponibile è scarsa essendo un argomento nuovo, gli studi esaminati possedevano outcomes diversi e i protocolli eseguiti si presentano molto eterogenei. Per questo le considerazioni emerse non sono delle affermazioni certe sull'argomento trattato, ma degli spunti di riflessioni che necessitano di un approfondimento futuro.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Umile Giuseppe Longo et al. “Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery in Italy: A 15-Year Nationwide Registry Study” *Journal of Clinical Medicine* 2021 Jan; 10(2):223.
- 2) M. Lindström et al. “Functional and muscle morphometric effects of ACL reconstruction. A prospective CT study with 1 year follow-up” *Scandinavian journal of medicine and science in sports* 2013 Aug; 23(4):431-42.
- 3) Matthew Buckthorpe et al. “Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction” *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 2020 Apr;50(4):657-678.
- 4) Tolga Saka “Principles of postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation” *World journal of orthopedics* 2014 Sep 18; 5(4):450-9.
- 5) Alyssa Perriman et al. “The Effect of Open- Versus Closed-Kinetic-Chain Exercises on Anterior Tibial Laxity, Strength, and Function Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis” *The journal of orthopaedic and sports physical therapy* 2018 Jul; 48(7):552-566.
- 6) Kyritsis, Polyvios, et al. “Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture” *British journal of sports medicine* 50.15 (2016): 946-951
- 7) Jeremy Paul Loenneke et al. “The Use of Occlusion Training to Produce Muscle Hypertrophy” *Department of Health, Human Performance, and Recreation, Southeast Missouri State University, Cape Girardeau, Missouri, Volume 31, Number 3, page 77-84.*
- 8) Kevin K. McCully et al. “Muscle metabolism with blood flow restriction in chronic fatigue syndrome” *J Appl Physiol.* 2004 Mar;96(3):871-878.
- 9) Vasileios Korakakis et al. “Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial” *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 2018 Nov;34:121-128.
- 10) Stian Langgard Jorgensen et al. “Efficacy of low-load blood flow restricted resistance EXercise in patients with knee osteoarthritis scheduled for total knee replacement (EXKnee): protocol for a multicentre randomised controlled trial” *BMJ Open* 2020 Oct 1;10(10):e034376.
- 11) Stephen D. Patterson et al. “Blood Flow Restriction Exercise Position Stand: Considerations Of Methodology, Application And Safety” *Frontiers in physiology* 2019 May 15;10:553.
- 12) Abbey C Thomas et al. “Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction” *Journal of science and medicine in sport* 2016 Jan;19(1):7-11.
- 13) Luke Perraton et al. “Impaired voluntary quadriceps force control following anterior cruciate ligament reconstruction: relationship with knee function” *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA* 2017 May;25(5):1424-1431.

- 14) T Grapar Zargi et al. "Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12 weeks following anterior cruciate ligament reconstruction" *The Knee* 2017 Mar;24(2):319-328
- 15) Lee Herrington et al. "Task based rehabilitation protocol for elite athletes following Anterior Cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary" *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 2013 Nov;14(4):188-98.
- 16) Luke Hughes et al. "Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis" *British journal of sports medicine* 2017 Jul;51(13):1003-1011.
- 17) Baris B Koc et al. "Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review" *International journal of sports physical therapy* 2022 Apr 1;17(3):334-346.
- 18) Lawrence Wengle et al. "The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis" *The American journal of sports medicine* 2022 Aug;50(10):2824-2833.
- 19) Yining Lu et al. "Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction" *Orthopaedic journal of sports medicine* 2020 Mar 25;8(3):2325967120906822.
- 20) Derek Charles et al. "A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction" *International journal of sports physical therapy* 2020 Dec;15(6):882-891.
- 21) Robert A. Jack et al. "Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction" *Sports health* 2022 Jun 27:19417381221101006.
- 22) Luke Hughes et al. "Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial" *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 2019 Sep;39:90-98.
- 23) Luke Hughes et al. "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 (Auckland, N.Z.)* 2019 Nov;49(11):1787-1805.
- 24) Fernandez Reyes Alejandra Marissa "Effectivity of blood flow restriction training for gains in strength and trophism in patients with ACL injuries" *Orthopedics and Rheumatology* 2018;10(6):371-375.
- 25) Luke Hughes et al. "Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations" *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 2018 Sep;33:54-61.

26) Tina Zargi et al. “Short–Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” *Frontiers in physiology* 2018 Aug 24;9:1150.