



## **Università degli Studi di Padova**

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

### **TESI DI LAUREA**

UTILIZZO DEL BFR (BLOOD FLOW RESTRICTION) NEL RECUPERO FUNZIONALE DOPO  
LESIONE E RICOSTRUZIONE DI LCA IN UNA GIOVANE PALLAVOLISTA: UN CASE REPORT

Use of BFR (blood flow restriction) in functional recovery after ACL injury and reconstruction  
in a young volleyball player: a case report.

RELATORE: Ft., Dott., Prof. Daniele Ceron

LAUREANDA: Saggion Benedetta

MATRICOLA: 2047197

Anno Accademico 2023-2024

## RIASSUNTO

Le lesioni del legamento crociato anteriore nella popolazione sportiva sono molto frequenti, ogni anno in Italia se ne verificano decine di migliaia. La ricostruzione del legamento crociato anteriore tramite innesto è l'intervento più comune per recuperare la funzione, e seguono mesi di riabilitazione con una particolare attenzione alla stabilizzazione, al recupero della forza e del trofismo muscolare. Un approccio promettente che sembra non stressare significativamente l'articolazione del ginocchio, in particolare sul neo-legamento, è il Blood Flow Restriction Training (BFRT): si utilizza un particolare dispositivo medico che provoca un'occlusione vascolare controllata in combinazione con un allenamento muscolare a basso carico, cioè con una resistenza tarata tra il 20% ed il 40% di 1 ripetizione massimale (RM) durante l'applicazione di una cuffia gonfiabile o di un laccio emostatico intorno a un arto (prossimalmente rispetto ai muscoli target), che limita l'afflusso di sangue da e verso i muscoli che si contraggono (1-2). Quando i carichi utilizzati sono inferiori, ad esempio < 20% di 1-RM, potrebbe essere necessaria una pressione più elevata (>80% AOP) per stimolare la crescita muscolare, ma sono necessari ulteriori studi per confermarlo. Non è ancora noto se gruppi muscolari diversi richiedano raccomandazioni di pressione diverse. (3)

Questo approccio risale al Dr. Yoshiaki Sato in Giappone, dove era conosciuto come "allenamento Kaatsu", che significa allenamento "con ulteriore pressione." L'allenamento Kaatsu viene ora eseguito in tutto il mondo ed è più comunemente denominato "allenamento BFR". (4)

Nella somministrazione di questa terapia l'obiettivo principale è quello di aumentare la risposta di adattamento trofico, migliorare la forza muscolare e stimolare l'angiogenesi dei distretti coinvolti in tempi precoci. (5)

Per aumentare la forza e il trofismo di un muscolo, bisogna indurre in questo degli stimoli meccanici e metabolici. L'occlusione vascolare provocata dal BFR apporterebbe entrambi questi stimoli inducendo il reclutamento di fibre di tipo 2 che verrebbero reclutate durante le attività ad alto carico. Pertanto, attraverso l'utilizzo del BFR, si otterrebbero gli stessi risultati di un trattamento ad alto carico utilizzandone invece uno a basso carico. (6)

La recente metanalisi di Lixandrão et al. (2018) ha dimostrato, però, un aumento della forza muscolare superiore quando si parla dell'allenamento ad alto carico (HL-RE) rispetto al basso carico con l'utilizzo del BFR (BFR-RE). D'altra parte, la stessa metanalisi ha mostrato che la BFR-RE induce aumenti comparabili della massa muscolare rispetto alla HL-RE. Pertanto, sebbene i guadagni di forza muscolare osservati nella BFR-RE siano inferiori rispetto alla HL-RE, la BFR è più efficace della sola LL-RE e può essere utilizzata quando la HL-RE non è consigliabile. (7)

È stato eseguito uno studio, un case report, monitorando il recupero funzionale attraverso l'utilizzo del BFR dopo intervento allograft in una ragazza di 20 anni giocatrice di pallavolo.

## ABSTRACT

Anterior cruciate ligament injuries in the sports population are very common, with tens of thousands occurring each year in Italy. Anterior cruciate ligament reconstruction by grafting is the most common surgery to regain function, and months of rehabilitation follow with a focus on stabilization, recovery of strength and muscle trophism. One promising approach that appears not to significantly stress the knee joint, particularly on the neo ligament, is Blood Flow Restriction Training (BFRT): one uses a special medical device that causes controlled vascular occlusion in combination with low-load muscle training, i.e., calibrated resistance between 20% and 40% of 1 maximal repetition (RM) during the application of an inflatable cuff or tourniquet around a limb (proximal to the target muscles), which restricts blood flow to and from the contracting muscles (1-2) . When the loads used are lower, e.g., <20% of 1-RM, higher pressure (>80% AOP) may be needed to stimulate muscle growth, but further studies are needed to confirm this. It is not yet known whether different muscle groups require different pressure recommendations. (3)

This approach dates back to Dr. Yoshiaki Sato in Japan, where it was known as “Kaatsu training,” which means training “with additional pressure.” Kaatsu training is now performed worldwide and is more commonly referred to as “BFR training.” (4)

In administering this therapy, the main goal is to increase the trophic adaptation response, improve muscle strength, and stimulate angiogenesis of the involved districts early. (5)

To increase the strength and trophism of a muscle, mechanical and metabolic stimuli must be induced in it. Vascular occlusion caused by BFR would bring both of these stimuli by inducing the recruitment of type 2 fibers that would be recruited during high-load activities. Therefore, through the use of the BFR, the same results would be obtained as from a high-load treatment by using a low-load treatment instead. (6)

However, the recent meta-analysis by Lixandrão et al. (2018) showed, however, a higher increase in muscle strength when it comes to high load training (HL-RE) compared to low load using BFR (BFR-RE). On the other hand, the same meta-analysis showed that BFR-RE induced comparable increases in muscle mass compared to HL-RE. Therefore, although the muscle strength gains observed in BFR-

RE are lower than HL-RE, BFR is more effective than LL-RE alone and can be used when HL-RE is not advisable. (7)

**Disegno dello studio:** un case report

**Obiettivo:** analizzare l'efficacia dell'allenamento BFR nella riabilitazione dopo l'intervento di ricostruzione di LCA, rispetto agli interventi convenzionali.

# INDICE

## **1. INTRODUZIONE**

- 1.1 Anatomia e biomeccanica funzionale di ginocchio e LCA
- 1.2 Lesione di LCA: eziopatogenesi: cause e meccanismo lesionale
- 1.3 Trattamento convenzionale

## **2. BFRT (BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING)**

- 2.1 In cosa consiste il BFR
- 2.2 Meccanismi d'azione
- 2.3 Ambiti d'impiego
- 2.4 Posologia dell'esercizio
- 2.5 Controindicazioni e raccomandazioni

## **3. MATERIALI E METODI**

- 3.1 Case report
- 3.2 Misure di outcome
- 3.3 Trattamento riabilitativo

## **4. RISULTATI**

## **5. DISCUSSIONE**

## **6. CONCLUSIONI**

## **7. BIBLIOGRAFIA**

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 ANATOMIA E BIOMECCANICA FUNZIONALE DI GINOCCHIO E LCA

Il ginocchio è costituito essenzialmente dalla compartecipazione di due articolazioni (la femoro-tibiale, che è di appoggio, e la femoro-rotulea, che è di scivolamento) e da strutture legamentose, meniscali e tendinee (legamento crociato anteriore LCA, legamento crociato posteriore LCP, legamento collaterale mediale LCM, legamento collaterale laterale LCL, menisco mediale, menisco laterale, tendine quadricipite, tendine rotuleo).

Esistono poi numerose altre strutture anatomiche come borse e legamenti minori che nel loro insieme provvedono ad aumentare la stabilità e la funzionalità del ginocchio consentendo la stazione eretta, la deambulazione e la corsa.

I legamenti crociati sono cosiddetti perché si incrociano ad X. Si parla di crociato anteriore o posteriore in relazione al rapporto che essi contraggono con l'eminanza intercondiloidea della tibia. Nel dettaglio, il LCA, la cui lesione è oggetto di questa trattazione, è un cordone fibroso del diametro di circa un centimetro che origina dall'area rugosa posta davanti alla sopraddetta eminanza e si estende verso l'alto e verso la parte più posteriore della faccia mediale del condilo laterale del femore. Da un punto di vista anatomico è costituito da due fasci: il fascio antero-mediale, che risulta maggiormente lungo e voluminoso ed è a stretto contatto con il legamento crociato posteriore (LCP), e il fascio postero-laterale, di dimensioni minori e che risulta quasi completamente coperto dal fascio antero-mediale. Il crociato anteriore, oltre a prevenire la traslazione anteriore della tibia, limita la rotazione mediale e laterale, ovvero gli stress in varo-valgo. La biomeccanica fornisce al fisioterapista adeguati strumenti per una miglior comprensione delle forze interne ed esterne al corpo e la reazione di quest'ultimo ad esse. Per capire bene la funzione dell'LCA occorre descrivere brevemente il meccanismo di base intercorrente tra la tibia e il femore. (8-9)

L'articolazione femoro-tibiale ha due gradi di libertà: flessione ed estensione. A ginocchio flesso, inoltre, possono avvenire rotazione interna ed esterna (10). Il movimento tra tibia e femore è una combinazione di rotolamento e scivolamento, e risulta un meccanismo piuttosto complesso che viene appunto realizzato grazie alla presenza del LCA e del LCP (11). Prendendo in considerazione la prospettiva tibio-femorale, durante l'estensione del ginocchio, la superficie articolare della tibia rotola e scivola anteriormente rispetto al femore. Osservando invece il movimento da una prospettiva femoro-tibiale, durante l'estensione i condili femorali rotolano anteriormente e scivolano posteriormente sulla superficie della tibia (12). Nell'artrocinematica della flessione, invece, i

movimenti delle strutture articolari avvengono nella maniera opposta. Inoltre, durante la flessione si verifica una intra-rotazione della tibia, mentre durante l'estensione la tibia viene extra-ruotata. Se consideriamo il femore fisso e la tibia mobile (ossia una catena cinetica aperta), durante la flessione, che viene determinata dalla contrazione degli ischio-crurali, avremmo un impegno del LCP, mentre durante l'estensione, provocata dalla contrazione del quadricipite, il lavoro sarà a carico del LCA. Se al contrario consideriamo la tibia fissa ed il femore mobile, come nel caso d'appoggio del piede al suolo (catena cinetica chiusa) il quadricipite sarà attivo, sia durante l'estensione (attivazione concentrica), che durante la flessione (attivazione eccentrica) e l'impegno del LCA risulterà continuo. Fa eccezione a questa regola l'evenienza in cui il quadricipite sia attivato a ginocchio flesso, in questo caso la tibia viene spinta posteriormente e le sollecitazioni sul LCA diminuiscono. Per cui, sul piano sagittale, il LCA ed il LCP stabilizzano l'articolazione del ginocchio in senso antero-posteriore, in particolare il LCA si oppone alle eccessive traslazioni anteriori della tibia e sulle trazioni posteriori del femore sulla tibia quando quest'ultima risulta fissa, mentre il LCP contiene le eccessive traslazioni posteriori della tibia rispetto al femore. (13)

La funzione principale del LCA è la prevenzione della traslazione anteriore della tibia ed è uno stabilizzatore della rotazione interna e dell'angolazione in valgo del ginocchio (14). In massima estensione il LCA assorbe il 75% del carico in traslazione anteriore e l'85% tra i 30° e i 90° di flessione. La resistenza alla trazione è di circa 220 N (15).

## **1.2 LESIONE DI LCA: EZIOPATOGENESI: CAUSE E MECCANISMO LESIONALE**

Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse verso l'approfondimento e lo studio dell'epidemiologia legata ai principali infortuni che coinvolgono il distretto dell'arto inferiore, soprattutto in riferimento a quelli che si manifestano nella popolazione sportiva (16). Questo è il risultato della motivazione da parte delle società sportive e dello staff medico-sanitario di studiare e comprendere quali siano i soggetti maggiormente a rischio, i ruoli più esposti ed i periodi dell'anno in cui l'incidenza di infortunio aumenta, con il fine di prendere le giuste precauzioni e monitorare il funzionamento dei programmi di prevenzione e recupero. Nello specifico, la lesione del LCA è una problematica che comporta un lungo percorso riabilitativo che tiene l'atleta lontano dal campo e dall'attività sportiva per mesi, senza assicurare un ritorno ai livelli di performance pre-lesionali (17).

È importante specificare che la lesione del legamento crociato è un evento poco frequente nella popolazione generale. Sono stati condotti diversi studi su base nazionale è stata calcolata un'incidenza

annuale compresa tra lo 0,01% e lo 0,05%, con un valore mediano di 0,03%. Questo significa che se consideriamo la popolazione generale, ogni anno si verificano circa 30 nuovi casi ogni 100.000 abitanti (18). Lo stesso studio riporta che, selezionando invece la popolazione degli sportivi d'élite, l'incidenza aumenta fino a 3,67% (19).

Un'altra informazione utile che possiamo trarre dagli studi epidemiologici riguarda il sesso dei soggetti con lesione del LCA: emerge che quella dei soggetti di sesso femminile risulta più elevata rispetto alla controparte maschile con un rapporto che oscilla tra 1,5 e 3 (20).

I principali meccanismi che più frequentemente sono associati alla lesione, parziale o totale, dell'LCA possono essere classificati in tre macrocategorie:

1. Da Contatto
2. Da Contatto Indiretto
3. Da Non Contatto

La letteratura scientifica è ormai ricca di studi che investigano i fattori di rischio al fine di predire l'infortunio e sviluppare programmi di prevenzione sempre più specifici ed efficaci. Gli infortuni presentano sicuramente dei fattori di rischio che possono compartecipare al meccanismo traumatico e alla lesione della struttura corporea, ma spesso questa compartecipazione avviene in modo non lineare e, di conseguenza, il risultato non è dato dalla "semplice" somma dei singoli fattori. Per questo, per comprendere al meglio gli infortuni sportivi non è possibile focalizzarsi soltanto sull'identificazione dei singoli fattori di rischio, ma è necessario intercettare i pattern di interazione più frequenti tra essi (21). L'individuo andrebbe visto come un sistema adattivo complesso che cambia il suo comportamento al modificarsi delle variabili che lo compongono e che sono, a loro volta, influenzate dalla presenza di altre variabili. Si crea il cosiddetto *comportamento emergente* che è frutto dell'auto-organizzazione conseguente all'interazione tra le diverse variabili, che non è equivalente alla somma delle variabili prese singolarmente (22). Infatti, l'interazione tra questi fattori avviene in modo imprevedibile, influenzata dalla storia del soggetto e del suo profilo di rischio. Da tutto questo emerge un pattern globale che potrà portare ad infortunio o ad un adattamento.

I principali fattori di rischio sono divisi in modificabili e non modificabili. I fattori di rischio non modificabili sono così definiti per l'impossibilità di intervenire su di essi.



I fattori di rischio modificabili sono, invece, quei fattori sui quali è possibile intervenire e indurre un certo grado di modificazione. Questa divisione è importante dal punto di vista clinico per la prevenzione e riabilitazione e per identificare i soggetti che hanno un maggiore rischio di infortunio. Sia i fattori di rischio modificabili che quelli non modificabili si suddividono in intrinseci ed estrinseci

- Fattori di rischio non modificabili
  - Fattori anatomici
  - Fattori legati a genere
  - Fattori genetici
  - Precedenti lesioni LCA
- Fattori di rischio modificabili
  - Aspettative esagerate
  - Errori di alimentazione
  - Mancanza di idoneità all'allenamento

Si stima che la maggior parte delle lesioni da non-contatto avvenga tra il momento di contatto al suolo del piede omolaterale e i 50 ms successivi. Secondo alcuni autori, il cedimento del ginocchio in valgismo durante l'atterraggio da un salto o durante un cambio di direzione sarebbe il responsabile principale dell'infortunio poiché questo movimento è stato osservato nella maggior parte degli eventi lesivi. Secondo altri, invece, uno squilibrio tra l'attivazione del quadricipite e degli ischio-crurali genererebbe una trazione anteriore di tibia tale da indurre una sorta di "cassetto anteriore" che porterebbe ad aumentare lo stress sul legamento fino alla lesione. Difficilmente il gesto motorio che porta alla lesione si verifica su un solo piano, ed è per questo motivo che si parla di meccanismo lesionale multiplanare (23).

### **MECCANICA DELL'INFORTUNIO: cosa avviene nel momento dell'infortunio**

L'infortunio è un momento complesso in cui diverse forze interagiscono tra loro e generano movimenti che sono oggetto di continui adattamenti da parte del nostro sistema nervoso, influenzato, a sua volta, da numerosi fattori interni ed esterni. Le forze che entrano in gioco sono principalmente

quelle esercitate dai muscoli, in particolare dal quadricipite, dalla Ground Reaction Force esercitata dal suolo verso il piede dell'atleta ed eventuali forze esterne (24).

Se osserviamo cosa accade sul piano sagittale, nel momento dell'infortunio, possiamo notare due movimenti principali: un movimento osteocinematico di flesso-estensione di ginocchio ed un movimento artrocinematico di traslazione anteriore di tibia. Nella stragrande maggioranza delle lesioni, dirette ed indirette, il ginocchio si trova in leggera flessione solitamente attorno ai 20°/30° e quasi mai supera i 45° (25). In questa posizione il ginocchio è più vulnerabile ed altre forze possono essere amplificate. Prendendo in considerazione il movimento artrocinematico, la traslazione anteriore di tibia sembrerebbe essere la componente principale coinvolta nella maggioranza delle lesioni, indipendentemente che questa venga indotta da una violenta contrazione del quadricipite o da un contatto con l'avversario (26).

Gli studi su cadavere hanno dimostrato che lo stress in valgo, da solo, non è in grado di generare una tensione in grado di lesionare il legamento crociato anteriore quando le altre strutture legamentose sono integre. Questo sostanzialmente perché il puro movimento in valgo stressa il legamento collaterale mediale prima ancora di poter eccedere nella tensione applicata del crociato anteriore. Questo significa che quando lo stress si verifica sul piano frontale, per lesionare il crociato servirà una forza incredibilmente alta oppure servirà la combinazione di altre forze aggiuntive che avvengono sugli altri piani. Se da un lato gli studi su cadavere hanno dimostrato che la forza in valgismo ha meno impatto rispetto alla forza traslatoria anteriore, dall'altro gli stessi studi sottolineano che la combinazione delle due è in grado di generare una tensione ancora maggiore. Proprio come i movimenti che avvengono sul piano frontale, anche i movimenti in intra ed extra-rotazione di tibia sul piano trasversale, da soli producono meno forza del singolo movimento traslatorio anteriore di tibia, ma sono in grado di amplificare la tensione del legamento quando combinati agli altri (27).

Questo riportato finora riflette perfettamente quello che effettivamente accade in un setting reale: un movimento complesso e multidirezionale. Il movimento "da manuale" è quello del "pivot-shift" e prevede una rapida attivazione del quadricipite con conseguente traslazione anteriore di tibia, associata a valgismo ed intra-rotazione di tibia con ginocchio in leggera flessione. Questo gesto racchiude tutti i movimenti che predispongono il crociato ad una maggiore tensione

La gravità dell'infortunio è in rapporto al grado di lassità e/o di instabilità residua.

Una lesione di I grado è caratterizzata da microlesioni parziali con presenza di versamento emorragico senza lassità. Prevede, a differenza delle lesioni più gravi di grado II o III, un trattamento terapeutico non chirurgico basato sul riposo, sull'approccio conservativo riabilitativo, sulla

somministrazione di FANS, integrato da integrazione di microalimenti per favorire la riparazione endogena. La lesione di II grado è caratterizzata da una lesione incompleta con versamento emorragico, una discreta perdita di funzionalità dell'arto e un aumento della traslazione. È presente dolore che si accentua con l'esecuzione del Lachman test. Nelle lesioni di III grado si riscontra una rottura completa con test di Lachman e test di pivot shift positivi. Il soggetto molto spesso sostiene di aver udito un “crack” e di aver avuto la sensazione di “cedimento” del ginocchio. È presente un dolore iniziale che diminuisce nel giro di alcuni minuti. Le più frequenti avvengono nell'ambito della pratica sportiva e sono le lesioni del LCA complete, quindi quelle di III grado. Nelle prime ore dopo il trauma, lo specialista può ritenere opportuno eseguire un'artrocentesi (prelievo di liquido dal ginocchio mediante siringa). Questo gesto ha una finalità sia diagnostica, per ricercare la presenza dell'emartro (presenza di liquido contenente sangue all'interno del ginocchio) dotato di elevato valore diagnostico presuntivo, sia terapeutica, per alleviare il dolore provocato dalla distensione della capsula articolare. La conferma della lesione del LCA avviene grazie all'analisi strumentale. L'esame radiografico del ginocchio nelle due proiezioni standard antero-posteriore (AP) e latero-laterale (LL) è indispensabile per escludere eventuali lesioni ossee, in particolare per ricercare lesioni a carico delle spine intercondiloidee (punto di inserimento del legamento crociato anteriore a livello del piatto tibiale) evenienza relativamente frequente negli sportivi di giovanissima età, oppure la cosiddetta frattura di Segond, di per sé indicativa di lesione del legamento. Per la valutazione di lesioni legamentose, meniscali o cartilaginee, il Gold Standard diagnostico è rappresentato dalla risonanza magnetica nucleare e tale esame risulta praticamente indispensabile nella valutazione definitiva di una lesione del legamento crociato anteriore. Consente di eseguire un bilancio completo del ginocchio e soprattutto di valutazione di ulteriori lesioni supplementari che giocherebbero un ruolo importante nella strategia terapeutica.

## **PRECEDENTI LESIONI AL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE E RISCHIO DI REINFORTUNIO**

Aver subito lo stesso infortunio precedentemente rappresenta un fattore di rischio per molte patologie muscoloscheletriche, e così è anche per la lesione del legamento crociato anteriore (28): una precedente lesione e di questo legamento porta ad avere una maggiore probabilità di incorrere nello stesso infortunio sia sullo stesso arto che sul controlaterale (29). La percentuale di soggetti che subisce un secondo infortunio allo stesso ginocchio nei 5 anni successivi alla ricostruzione del legamento supera il 15% (30). Questo alto tasso di nuove lesioni può essere dovuto a molteplici fattori, e uno di questi sembra essere il ritorno in campo prematuro (31). È stimato che tra gli atleti tra i 15 e i 30 anni che ritornano allo sport prima dei 9 mesi post ricostruzione il tasso di re-infortunio è da 3 a 7 volte

superiore rispetto ai soggetti che ritardano il ritorno in campo. Uno dei motivi per cui accade ciò, potrebbe essere il mancato raggiungimento di alcuni obiettivi funzionali (32).

### **1.3 TRATTAMENTO CONVENZIONALE**

Dopo l'intervento, il fisioterapista, sotto la guida del chirurgo, ha il compito di condurre il paziente sino alla ripresa dell'attività sportiva ad un livello analogo a quello pre-infortunio cercando di impedire alcune delle conseguenze più gravi dettate dalla mal gestione di questi pazienti ossia il fallimento del nuovo graft o la rottura del legamento crociato anteriore controlaterale. Per minimizzare le probabilità di re-infortunio, il percorso riabilitativo deve essere quanto più possibile mirato al perseguimento di determinati obiettivi, diversi in ogni fase di trattamento.

- **PRIMA FASE *EARLY STAGE***

Possiamo definire la prima fase come il periodo che inizia subito dopo l'intervento chirurgico e che termina entro le prime 6 settimane riabilitative. Nell'immediato post-operatorio (0-2 settimane) maggior enfasi sul controllo del gonfiore, ripristino del ROM e dell'attivazione del quadricipite. Nel post-operatorio tardivo (2-6 settimane) focus sul recupero completo del ROM (soprattutto in estensione), addestramento ad un corretto schema del passo e ripresa della forza muscolare. Al termine di questo primo periodo il paziente dovrà aver raggiunto i seguenti obiettivi per poter accedere al meglio alla seconda fase (33):

- La ferita deve essere ben chiusa e cicatrizzata
- Il ginocchio deve presentare un gonfiore lieve al termine della 6 settimana
- L'articolazione femoro-rotulea deve presentare una mobilità normale con una articularità di almeno 0° in estensione e 120°/130° in flessione
- Il paziente deve essere in grado di reclutare efficacemente il quadricipite e saper camminare correttamente senza schema antalgico

#### **IL PROCESSO DI GUARIGIONE DEL GRAFT**

Il processo di guarigione del graft prevede un'alternanza di eventi biologici che vanno dall'infiammazione alla necrosi del tessuto, dall'iniziale deprivazione del collagene al successivo aumento del suo contenuto, dall'integrazione del tendine nei tunnel alla conversione completa in legamento e rimodellamento della matrice extra-cellulare (34). In questo momento le proprietà biomeccaniche del neo-legamento sono, mantenute prevalentemente dai sistemi di fissazione

chirurgica, sono estremamente compromesse. Per questo motivo, durante il percorso terapeutico riabilitativo, è raccomandabile inserire attività con carico inferiore ai 400 N che non stressino in maniera eccessiva tali strutture.

- **SECONDA FASE O *MID STAGE***

Questa fase ingloba alcuni obiettivi della fase iniziale e getta le basi per poter raggiungere il primo macro-obiettivo: il ritorno alla corsa. Gli elementi significativi da prendere in considerazione durante la fase intermedia sono:

- Il recupero e il miglioramento della forza muscolare flessoria ed estensoria del ginocchio e la forza dei distretti adiacenti con esercizi a catena cinetica chiusa.
- Miglioramento della qualità del movimento inteso come biomeccanica di movimento e controllo motorio
- Ricondizionamento e fitness cardiovascolare

- **TERZA FASE O *LATE STAGE*: RITORNO ALLA CORSA**

Ad oggi ci sono poche indicazioni in letteratura riguardo le linee guida per un corretto e preciso ritorno alla corsa. In una scoping review di Rambaud dove vennero inclusi 201 studi dal 1981 al 2016, il tempo trascorso dalla chirurgia era il criterio più utilizzato (una media di 12 settimane circa). Pochissimi studi includevano criteri di forza e di performance.

- **QUARTA FASE O FASE DI *RITORNO ALLO SPORT (RTS)***

Il ritorno allo sport non è una decisione presa in un preciso momento alla fine del percorso riabilitativo ma dovrebbe essere vista come un continuum che consiste nella progressione da un *return to participation* (RTS-1) ad un *return to sport* (RTS-2) ed infine ad un *return to performance* (RTS-3). Il *return to running* fa parte dello spettro del *return to participation*.

Indipendentemente dall'approccio scelto, lo scopo lo scopo dell'equipe sarà quello di

1. Recuperare la piena funzionalità del ginocchio
2. Intervenire sulla componente psicologica per rompere le barriere che ostacolano il RTS
3. Prevenire una seconda lesione o la formazione di osteoartrosi
4. Ottimizzare la qualità della vita a lungo termine (35)

## 2. BFRT (BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING)

### 2.1 IN COSA CONSISTE IL BFR

La debolezza e l'atrofia muscolare sono comuni problematiche affrontate nella medicina sportiva dopo un infortunio muscoloscheletrico e un intervento chirurgico. Un esempio comune si verifica dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore, poiché i deficit nella forza del quadricipite possono persistere per anni nonostante la riabilitazione (36). Lo sviluppo sia della forza che dell'ipertrofia dipendono dal carico progressivo del muscolo, in genere modificato in clinica tramite la quantità di peso sollevato e il numero di serie e ripetizioni eseguite. Le linee guida per l'allenamento di resistenza, in un individuo sano, per migliorare la forza consigliano l'uso di carichi elevati (>60% di 1 ripetizione massimale [1-RM]; 8-12 ripetizioni) (37). Tuttavia, l'allenamento a questa intensità immediatamente dopo un infortunio o un intervento chirurgico può stressare negativamente i tessuti danneggiati e in via di guarigione (ad esempio, cartilagine, legamento, tendine, muscolo). L'uso di carichi inferiori, con ripetizioni fino al cedimento, può ridurre al minimo lo stress eccessivo sui tessuti in via di guarigione, ma ha una minore capacità di aumentare la forza rispetto all'allenamento con carichi più pesanti.

L'allenamento con restrizione del flusso sanguigno (BFR) utilizza una cinghia o un manicotto pneumatico per limitare parzialmente l'afflusso di sangue arterioso mentre occlude il deflusso venoso fino al rilascio della pressione del manicotto. I carichi di allenamento sono solitamente inferiori (20%-40% di 1-RM; 15-30 ripetizioni per serie), il che offre al professionista della medicina sportiva un metodo per mitigare la debolezza e l'atrofia dopo un infortunio muscoloscheletrico o un intervento chirurgico senza sovraccaricare i tessuti in via di guarigione.

### 2.2 MECCANISMI D'AZIONE

Il modo con cui il Blood Flow Restriction Training genera cambiamenti all'interno del nostro corpo è ancora oggi oggetto di studio; tuttavia, la letteratura si è espressa a riguardo specificando che i risultati possono essere spiegati alla luce della combinazione di due fattori principali: lo **stress metabolico** e lo **stress meccanico** (38).

Questi fattori agiscono sinergicamente attivando una cascata di processi secondari tra cui:

- **l'ipossia tissutale** dovuta al restringimento del flusso sanguigno al muscolo (39)

- **l'accumulo di metaboliti** a causa dell'ambiente ischemico/ipossico che porta ad un aumento della CSA (Cross Sectional Area). Come dimostrazione, lo studio di Goto e collaboratori (40), ha confrontato gli effetti acuti e cronici di due protocolli di esercizi con sovraccarichi uguali. L'unica differenza fra i due protocolli era rispetto l'esecuzione di una pausa di 30 secondi tra una serie e l'altra, che effettuava solamente un gruppo. I risultati di questo studio avevano mostrato che le concentrazioni di lattato nel sangue erano significativamente più elevate nel protocollo senza pause. Inoltre, dopo 12 settimane di allenamento, il protocollo senza riposo aveva riscontrato un aumento significativo della Cross Sectional Area (CSA), mentre non erano state osservate differenze di questo tipo nel protocollo che eseguiva la pausa. Questo indica un legame diretto tra stress metabolico e ipertrofia muscolare. I livelli di stress metabolico sono paragonabili alle condizioni ischemiche/ipossiche, come è stato osservato durante l'allenamento con BFR (41). I potenziali effetti ipertrofici dello stress metabolico, associato all'esercizio con BFR, sono stati dimostrati anche da diversi studi condotti su questo metodo di allenamento. Gli studi in questione paragonavano periodi di allenamento a bassa intensità (tra il 30-50% dell'1RM) con BFR (pressione della cuffia tra 110-200 mmHg) e senza BFR. I risultati indicavano aumenti significativi della CSA solamente nel gruppo con un'occlusione del flusso sanguigno (42-43)
- **il gonfiore cellulare**

A cui seguono:

- **Aumento della sintesi proteica:** attraverso l'aumento del fluido extracellulare e l'accumulo di metaboliti viene creato un gradiente di pressione che guida i fluidi nelle fibre muscolari. Questo provoca un generale rigonfiamento delle fibrocellule e degli osteociti che promuove la sintesi proteica (44-45-46-47).
- **Reclutamento di fibre muscolari di tipo 2:** A livello fisiologico, durante l'esercizio con sovraccarichi, le unità motorie, e di conseguenza le fibre muscolari, vengono reclutate secondo il principio della loro dimensione. In primis, durante l'esercizio a bassi carichi, vengono reclutate le unità motorie più piccole (fibre muscolari di tipo 1), in seguito, durante l'esercizio ad alti carichi, vengono reclutate le unità motorie più grandi (fibre motorie di tipo 2) (48). Attraverso il BFRT si riescono ad attivare un numero di fibre maggiore e fibre di tipologia diversa. Oltre a sollecitare le fibre di tipo 1, fibre a metabolismo aerobico e adatte a lavorare per lunghi periodi di tempo, si riescono ad attivare anche le fibre di tipo 2 ben più forti delle precedenti. Queste fibre hanno una contrazione rapida, un diametro maggiore e una soglia di stimolazione più elevata, per

cui non verrebbero reclutate dall'organismo se non per mezzo di allenamenti ad alti carichi e in un ambiente ipossico (condizioni non facilmente riproducibili in riabilitazione) (49-50-51).

- **Angiogenesi:** subito dopo questo tipo di allenamento è stato rilevato un aumento dei fattori angiogenici a livello locale, in particolare: il fattore di crescita endoteliale vascolare, il fattore 1-alfa e l'ossido nitrico. La secrezione di queste sostanze promuove il flusso sanguigno post-esercizio, la somministrazione di ossigeno nei tessuti, l'angiogenesi e l'aumento della resistenza delle pareti vasali alla pressione ematica (52).
- **Stimolazione delle cellule staminali miogeniche:** il BFRT porta ad una marcata proliferazione delle cellule staminali muscolari e all'incremento del numero di mionuclei nel muscolo scheletrico (53). Ciò si traduce nel miglioramento di parametri obiettivi quali: forza, resistenza, funzione e significativi guadagni di fibre muscolari.
- **Maggiore sintesi di ormoni anabolici (sia a livello locale che sistemico):** due trial clinici hanno riscontrato che i livelli di concentrazione di ormone della crescita a livello sistemico erano significativamente maggiori nei pazienti che sono andati incontro ad esercizio a basso carico con restrizione del flusso ematico, rispetto ai controlli in cui è stata applicata solo una restrizione del flusso sanguigno senza esercizio oppure erano stati somministrati esercizi a basso carico senza occlusione del flusso (54-55).

## 2.3 POSOLOGIA DELL'ESERCIZIO

### LINEE GUIDA PER LA PRESCRIZIONE DI ALLENAMENTO CON RESTRIZIONE DEL FLUSSO SANGUIGNO PER FORZA E IPERTROFIA

Una meta-analisi<sup>10</sup> ha riscontrato che il Blood Flow Restriction Training ha maggiore effetto sull'ipertrofia e sulla forza quando i carichi vengono tarati su una percentuale corrispondente al 20 – 40% di una 1 RM.

Gli effetti del Blood Flow Restriction Training sono stati misurati in combinazione con varie tipologie di esercizio: con l'allenamento aerobico (camminata, bicicletta), l'allenamento con alti carichi e più comunemente l'allenamento a basso carico. Quest'ultima modalità gode di una evidenza più consistente rispetto alle altre menzionate (56-57).

Dal momento che il livello di stress metabolico che si raggiunge durante il Blood Flow Restriction Training rappresenta il principale fattore di innesco dell'ipertrofia e dell'aumento della forza è fondamentale essere consapevoli che il BFR deve essere applicato in modo costante e non intermittente durante l'esercizio (58).



Oggi il protocollo Blood Flow Restriction Training con bassi carichi maggiormente diffuso nella pratica clinica è quello descritto dalla metanalisi di Loenneke che raccomanda di somministrare (59):

1. una serie da 30 ripetizioni,
2. seguita da tre serie da 15 ripetizioni,
3. con pause di 30 secondi tra le serie,
4. tale routine deve essere eseguita 2 o 3 volte a settimana se si superano le 3 settimane o 1-2 volte al giorno per massimo 3 settimane (60)

Per un'applicazione sicura ed efficace del BFR, il fornitore deve valutare vari elementi del processo di trattamento e del dispositivo, tra cui, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, la larghezza e il posizionamento del bracciale, la pressione del bracciale e la scelta del dispositivo.

- **Posizionamento del polsino:** Applicato prossimalmente sull'arto/sugli arti che lavorano, indipendentemente dal gruppo muscolare interessato. Questa posizione consente l'occlusione nella maggior parte del ventre muscolare sottoposto a sforzo senza influenzare le normali escursioni articolari. Il posizionamento più prossimale del bracciale riduce inoltre al minimo il potenziale di danno ai nervi superficiali, che sono più comuni nelle estremità distali. Una barriera, come una guaina di protezione per l'arto, deve essere posizionata sull'arto prima dell'applicazione del bracciale per ridurre al minimo il rischio di pizzicamento, ustioni da sfregamento o vesciche. Non ci sono prove disponibili che suggeriscano la superiorità di un materiale del bracciale rispetto a un altro. Inoltre, in letteratura sono stati utilizzati sia bracciali elastici che in nylon, che hanno mostrato adattamenti muscolari benefici. Considerando questi risultati collettivi, il materiale del bracciale non sembra avere un impatto sui risultati della BFR-RE (61). Dal momento in cui per poter utilizzare il BFR bisogna limitare il flusso sanguigno da e verso l'arto, i muscoli del tronco non possono essere allenati nelle stesse condizioni. Per cui, la ricerca si è concentrata principalmente negli effetti prodotti sui muscoli degli arti (62). Tuttavia, alcuni studi suggeriscono che gli esercizi multiarticolari agli arti, possono portare a benefici ipertrofici significativi anche nei muscoli del tronco, ma ulteriori ricerche sono necessarie per comprendere in modo completo la relazione tra l'ipertrofia dei muscoli del tronco e degli arti dopo un allenamento con BFR (63).
- **Pressione di occlusione:** Pressione di occlusione arteriosa del 40%–80% (come standard di intervallo suggerito con maggior probabilità di raggiungere gli obiettivi di allenamento riducendo al minimo il rischio di potenziali complicazioni) utilizzando pressioni più basse con arti più piccoli o per il comfort. Pressioni più elevate sono solitamente associate a maggiori livelli di disagio e sforzo percepito, (64-65) ma pressioni più basse possono richiedere un carico relativo

più alto per ottenere i risultati desiderati (66). Pertanto, il professionista dovrebbe usare una pressione che riduca al minimo il disagio ma consenta l'allenamento a un carico inferiore per ridurre al minimo lo stress sui tessuti di guarigione. È stato dimostrato che fattori fissi come la pressione sanguigna sistolica, la pressione sanguigna diastolica, la circonferenza dell'arto, il sesso e la razza influenzano tutti la pressione di occlusione arteriosa (67). Anche fattori modificabili come la posizione del corpo e la larghezza del bracciale influenzano la pressione di occlusione.

- **Larghezza del bracciale:** la quantità di pressione necessaria per interrompere il flusso sanguigno in un arto (cioè l'AOP) è in gran parte determinata dalla larghezza del bracciale applicato all'arto; un bracciale più largo richiede una pressione inferiore (68), essenzialmente a causa della maggiore superficie a cui è stata applicata la pressione. Questo è un punto importante, poiché nella letteratura sulla BFR viene utilizzata un'ampia gamma di larghezze dei bracciali (18-24-30 Inch) e l'impostazione di due bracciali di dimensioni diverse alla stessa pressione può produrre un grado di BFR dell'arto completamente diverso. Va notato che più ampio è il bracciale, minore sarà la pressione complessiva necessaria; tuttavia, l'uso di bracciali estremamente larghi può limitare i movimenti durante l'esercizio. (69).
- **Tempo totale di occlusione:** massimo 8 minuti
- **Carico:** 20%–40% del massimo di 1 RM
- **Livello di sforzo:** percezione di fatica durante tutte le serie ed esaurimento concentrico da parte del paziente alla terza o quarta ripetizione, calo significativo della velocità di esecuzione o dall'uso di strategie compensative. Se il paziente arriva alla fine delle 4 serie senza percezione di fatica, significa che il carico è troppo basso. Al contrario, se l'esaurimento concentrico accompagnato da crampo perviene prima della terza ripetizione, significa che il carico è troppo elevato. Al sopraggiungere del crampo, l'attività viene interrotta. Sarà molto importante, quindi, selezionare l'esercizio adatto.
- **Periodo di riposo:** 30/60 secondi tra le serie. Non è sempre necessario mantenere la pressione durante i periodi di riposo. In generale raccomandiamo che i periodi di riposo siano di 30-60 s; tuttavia, la BFR intermittente può ridurre il gonfiore e lo stress metabolico rispetto a quella continua, il che potrebbe limitare lo stress per l'adattamento. (70)

## 2.4 AMBITI DI IMPIEGO

L'allenamento con restrizione del flusso sanguigno è un'opzione praticabile per ottenere miglioramenti sia nel condizionamento aerobico che nell'ipertrofia quando utilizzato con camminata o ciclismo (71). Proprio come il BFR quando utilizzato per forza e ipertrofia, i guadagni attesi possono

essere realizzati in appena 2 o 3 settimane. Per l'esercizio aerobico, il BFR può essere implementato nell'ambito della medicina sportiva in diversi modi. Può essere utilizzato per migliorare una sessione di riscaldamento e defaticamento, aumentare l'intensità dell'esercizio aerobico o semplicemente introdurre variabilità in una sessione di allenamento altrimenti banale.

Il BFRT è uno strumento versatile che permette di intervenire in contesti diversi; infatti, trova applicazione in un grosso sotto insieme di popolazione al cui interno rientrano:

- **popolazione in età avanzata e lunghi periodi di allettamento:** si è rivelato un'ottima strategia per contrastare la perdita di massa muscolare, portando all'aumento della "cross sectional area" dei distretti interessati e migliorando quindi la funzione e la sintomatologia (soprattutto legata a contesti dolorosi dovuti all'osteoartrosi) (72-73). Si tratta della P-BFR (passive BFR), ovvero l'utilizzo del BFR senza esercizio. Sebbene questi approcci non abbiano ricevuto una notevole attenzione da parte della ricerca, i dati disponibili indicano che l'applicazione intermittente della P-BFR può compensare l'atrofia muscolare e la perdita di forza durante i periodi di riposo a letto o di immobilizzazione (74). Ad oggi questo approccio è stato utilizzato per attenuare il declino della massa e della forza muscolare dopo un intervento chirurgico al crociato anteriore (75), durante l'immobilizzazione con gesso (76) e nei pazienti in terapia intensiva (77). Inoltre, è stato dimostrato che la P-BFR genera una maggiore capacità ossidativa locale del muscolo scheletrico e miglioramenti cardiovascolari, come l'aumento della vasodilatazione endotelio-dipendente e della conduttanza vascolare (~14%) in soli 7 giorni (78).
- **post – operazione:** come già sappiamo, la ricerca ha dimostrato che il BFR è in grado di attenuare l'atrofia da disuso e limitare i cali funzionali della forza muscolare dovuti all'immobilizzazione.
- **atleti:** i principali vantaggi del BFRT nell'atleta sono ascrivibili al supplemento che rappresenta nelle fasi in cui le sessioni di esercizio ad alto carico rappresentano un forte stress sia per la loro frequenza che per la loro intensità.

Negli atleti che eseguono esercizi cardiovascolari a bassa intensità, le indagini hanno rilevato anche un piccolo ma significativo aumento della capacità aerobica e della ventilazione dopo 2 settimane di allenamento sul tapis roulant) (79).

## 2.5 CONTROINDICAZIONI E RACCOMANDAZIONI

Lo studio di maggiore rilievo ad oggi disponibile riguardo la sicurezza della somministrazione del BFRT è un'indagine nazionale giapponese<sup>18</sup> svoltasi dal 2006 al 2011, in cui sono stati reclutati circa 700 individui all'anno ed ha rilevato che i principali eventi avversi registrati durante il BFRT sono stati: (80)

1. emorragia sottocutanea (petecchie) 13%
2. parestesie sensoriali (1,3%)
3. DOMS (0,99%)
4. vertigini (0,3%)

Sono stati inoltre riportati rari casi di:

- intorpidimento degli arti (durato più di un giorno)
- un caso di rabdomiolisi
- un caso di trombosi venosa
- un caso di emorragia cerebrale

Indipendentemente dai benefici riportati dal BFRT, la sicurezza del suo utilizzo è spesso messa in discussione perché il limitare fisicamente il flusso sanguigno a un'estremità può preoccupare i clinici, soprattutto per quanto riguarda i rischi per il sistema cardiovascolare (81).

Una potenziale preoccupazione sollevata dai cardiologi riguarda l'effetto del BFRT sul riflesso pressorio da esercizio (EPR). L'EPR è la risposta autonoma fisiologica del corpo all'esercizio che consiste nell'aumento dell'attività simpatica (frequenza cardiaca, contrattilità e della pressione arteriosa media).

Il BFRT provoca una risposta di questo tipo a volte maggiore della norma e quindi può avere il potenziale di causare eventi cardiaci avversi (aritmie, ictus o infarto del miocardio). Rischio particolarmente alto nei pazienti con comorbilità cardiovascolari (81).

I dati sugli effetti a breve o lungo termine di questo riflesso in relazione al BFRT sono però ad oggi insufficienti, è dunque necessario eseguire sempre un corretto screening dei fattori di rischio del paziente che si intende sottoporre a questo tipo di terapia.

A tale proposito, è raccomandato (82):

1. Valutare le informazioni di base: sintomi, storia medica passata e storia medica familiare, abitudini e problematiche relative allo stile di vita
2. L'uso di una classificazione a punteggio dei pazienti in base alla presenza o meno di alcuni fattori di rischio (più è alto il punteggio, maggiore è il rischio):
  - **5 punti:**
    - Storia di trombosi venosa profonda o problemi vascolari
    - Storia familiare di eventi trombotici positiva
    - Sindrome da anticorpi fosfolipidici
  - **4 punti:** gravidanza
  - **3 punti:**
    - Presenza di vene varicose agli arti inferiori
    - Immobilizzazione prolungata
    - Fibrillazione atriale o problemi cardiaci
  - **2 punti:**
    - Età maggiore di 60 aa
    - BMI > 30
    - Iperlipidemia
    - Tumore
    - Uso di contraccettivi orali o steroidi
    - Tetraplegia
    - Alto livello di emoglobina
  - **1 punto:**
    - $40 < \text{età} < 58$
    - Sesso femminile
    - $25 < \text{BMI} < 30$

### 3. MATERIALI E METODI

#### 3.1 CASE REPORT

Il presente elaborato si propone di descrivere un case report riguardante il ritorno allo sport dopo secondo intervento allograft in una giovane ragazza pallavolista. È stato redatto seguendo le linee guida dell'utilizzo del dispositivo BFR (83). I trattamenti sono stati svolti 2/3 volte alla settimana con l'utilizzo del BFR solo una di queste. La paziente arriva da un secondo infortunio dopo pochi mesi dal primo intervento autograft di LCA allo stesso arto.

La paziente è una giovane ragazza di 20 anni sottoposta ad un secondo intervento allograft di ginocchio sx. La prima operazione avveniva a Ferrara il 28 marzo 2023 con intervento autograft di tendine semitendinoso e gracile. Il primo infortunio accadeva durante uno stacco in lungo e atterraggio monopodalico in torsione su ginocchio sx durante una partita di pallavolo. In concomitanza venivano lesionati anche il menisco mediale omolaterale ed entrambi i collaterali. Dopo circa 7 mesi dal primo intervento, durante un allenamento di pallavolo, avviene il secondo infortunio che porta la paziente ad un secondo intervento allograft il giorno 13 maggio 2024 a Padova. Il ritorno agli allenamenti dopo il primo intervento avveniva dopo 6 mesi. Il secondo infortunio, dunque, avveniva dopo circa un mese dal ritorno all'attività sportiva. La dinamica del secondo infortunio vedeva il ginocchio in iperestensione in discesa da un salto.

Prima del secondo infortunio la paziente non riferiva e non percepiva alcun fastidio o dolore all'arto in questione. la paziente in ogni caso arrivava da un passato di numerose distorsioni di caviglia bilateralmente ma la paziente non riferiva sensazioni di instabilità alle caviglie.

Prima di entrambe le operazioni la paziente ha seguito un percorso funzionale e di potenziamento preparatorio preoperatorio per facilitare il recupero post-operatorio.

la paziente dopo il primo intervento ha seguito un percorso di recupero secondo le linee guida di recupero funzionale post-intervento di LCA rispettando le corrette fasi del recupero. È importante però specificare che, la giovane ragazza, oltre all'attività sportiva, eseguiva giornalmente 8 ore di vendemmia nei campi di famiglia. Si ipotizza che questo possa aver sovraccaricato l'articolazione ed il neo-legamento e possa aver portato alla seconda lesione.

Vediamo la paziente per la prima volta, per l'inizio del percorso di recupero tramite l'utilizzo del BFR, il 28 maggio 2024. La paziente si presenta con tutore sbloccato e stampelle, i quali sono stati tolti il 30 maggio 2024.

### 3.2 MISURE DI OUTCOME

L'efficacia del trattamento è stata valutata tramite valutazione del dolore, miglioramento della forza e trofismo muscolare e dell'articolazione dell'arto inferiore sottoposto ad intervento chirurgico. Le valutazioni sono state eseguite bilateralmente al fine di valutare l'andamento di entrambi gli arti. Sono state utilizzate rispettivamente:

- Scala NPRS per il dolore: è una misura unidimensionale dell'intensità del dolore, il cui range va da 0, indice di nessun dolore, a 10, il dolore peggiore che si possa immaginare. È di facile e veloce somministrazione
- Test con pedane stabilometriche per la valutazione del carico e dinamometri per la valutazione della forza
- Misurazioni centimetriche per la valutazione del trofismo muscolare della coscia. Le misurazioni sono state rilevate 20 cm dalla rotula a gamba estesa e la misurazione centimetrica è stata presa a gamba flessa.

La paziente doveva percepire, durante ogni sessione di lavoro tramite utilizzo del BFR, sensazione di fatica e affaticabilità ma non di dolore.

### 3.3 TRATTAMENTO RIABILITATIVO

La paziente ha ricevuto un protocollo riabilitativo rispettando le linee guida sopra descritte per il recupero post-intervento di ricostruzione di LCA. È stato abbinato al protocollo di recupero di ricostruzione di LCA, il protocollo di utilizzo per l'uso del BFR. il macchinario è stato utilizzato 1 volta a settimana.

Durante il percorso riabilitativo sono stati effettuati dei test valutativi per il monitoraggio del recupero funzionale e della forza muscolare. Per ogni test sono state effettuate tre ripetizioni

- Il **Single Leg Balance** per il monitoraggio dell'equilibrio statico monopodalico utilizzando una pedana stabilometrica. Ogni ripetizione della durata di 10" con recupero di 15" tra di esse.
- Il **Bipodal Stance** per il monitoraggio della distribuzione del peso. Ogni ripetizione della durata di 30" con recupero di 10" tra di esse.

- Il **Prone Knee Flexion 90° Flexion** per il monitoraggio del recupero della forza dei muscoli ischiocrurali. Ogni ripetizione della durata di 5” con recupero di 15” tra di esse.
- Il **Sitting Knee Extension 90° Flexion** per il monitoraggio del recupero della forza del muscolo quadricipite. Ogni ripetizione della durata di 5” con recupero di 15” tra di esse.
- **Jump analysis-Unipodal Squat Jump:** per la valutazione della performance del salto in prospettiva del return to sport e return to play. Sono state eseguite tre ripetizioni con recupero di 160” tra di esse.
- **Jump analysis-Squat Jump:** per la valutazione della performance del salto in prospettiva del return to sport e return to play. Sono state eseguite tre ripetizioni con recupero di 160” tra di esse.
- **Jump analysis-Drop Jump:** per la valutazione della performance del salto in prospettiva del return to sport e return to play. Sono state eseguite tre ripetizioni con recupero di 160” tra di esse.

#### 4. RISULTATI

La paziente ha riferito, nelle ore successive alle attività con BFR, affaticabilità muscolare e DOMS nei giorni successivi, ma mai dolore. Ha riferito una sensazione di formicolio all’arto superiore sx durante la prima sessione di BFR, parestesia non più percepita in alcuna delle sessioni nei mesi successivi. Le parestesie fanno parte degli effetti collaterali legate all’utilizzo del BFR, ma non agli arti non sottoposti a BFR; pertanto, abbiamo ipotizzato fosse una sensazione di derivazione psicologica legata alla natura del funzionamento del BFR. Per quanto riguarda la sensibilità, la paziente ha riferito delle lievi alterazioni della sensibilità in alcune sedute di BFR, in altre invece la sensibilità è rimasta inalterata.

Da parte della paziente è stata riferita una percezione di recupero funzionale, di forza e di stabilità nettamente maggiore rispetto al recupero post-operatorio della prima lesione di LCA. Ciò è stato confermato dai risultati dei test che sono stati somministrati a giugno, ad agosto ed infine ad ottobre.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella sottostante

	<b>10 GIUGNO 2024</b>	<b>2 AGOSTO 2024</b>	<b>19 OTTOBRE 2024</b>
<b>SINGLE LEG BALANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 1255 mm2</li> <li>• Dx: 1038 mm2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 533 mm2</li> <li>• Dx: 478 mm2</li> <li>• Asimmetria: 10,3%</li> </ul>	



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asimmetria 17,3%</li> </ul>		
<b>BIPODAL STANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 195 mm<sup>2</sup></li> <li>• Dx: 188 mm<sup>2</sup></li> <li>• Asimmetria: 3,9%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 62,2 mm<sup>2</sup></li> <li>• Dx: 46,9 mm<sup>2</sup></li> <li>• Asimmetria: 24,5%</li> </ul>	
<b>PRONE KNEE FLEXION 90° FLEXION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 7,4 kg</li> <li>• Dx: 12,7 kg</li> <li>• Asimmetria 41,8%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 12,8 kg</li> <li>• Dx: 12,7 kg</li> <li>• Asimmetria 0,3 %</li> </ul>	
<b>SITTING KNEE EXTENSION 90° FLEXION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 25,5 kg</li> <li>• Dx: 38,5 kg</li> <li>• Asimmetria 33,7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sx: 40,2 kg</li> <li>• Dx: 42,9 kg</li> <li>• Asimmetria 6,3 %</li> </ul>	
<b>JUMP ANALYSIS- UNIPODAL SQUAT JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altezza salto: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 10,6 cm</li> <li>○ Dx: 11,4 cm</li> <li>○ Asimmetria 6,6%</li> </ul> </li> <li>• Picco di Potenza: 2,14 kg <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 15,9 w/kg</li> <li>○ Dx: 18,2 w/kg</li> <li>○ Asimmetria: 12,6%</li> </ul> </li> <li>• Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 1,66 kg</li> <li>○ Dx: 1,64 kg</li> <li>○ Asimmetria: 1,2%</li> </ul> </li> </ul>
<b>JUMP ANALYSIS- SQUAT JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altezza salto: 20,7 cm</li> <li>• Tempo di volo: 422 ms</li> <li>• Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1,5 kg</li> <li>○ 1,9 kg</li> </ul> </li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Asimmetria 3,4 %</li> <li>● Picco di Potenza: 38,6 kg <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 18,9 w/kg</li> <li>○ Dx: 19,7 w/kg</li> <li>○ Asimmetria 4 %</li> </ul> </li> <li>● RFD: 247 kg/s <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 114 kg/s</li> <li>○ Dx: 133 kg/s</li> <li>○ Asimmetria 14,5 %</li> </ul> </li> </ul>
<b>JUMP ANALYSIS-DROP JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>● Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 2,16 kg</li> <li>○ Dx: 2,29 kg</li> <li>○ Asimmetria: 5,6%</li> </ul> </li> <li>● RFD: 5734 kg/s <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sx: 2797 kg/s</li> <li>○ Dx: 2937 kg/s</li> <li>○ Asimmetria 4,8%</li> </ul> </li> </ul>
<b>TROFISMO MUSCOLARE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sx: 51 cm</li> <li>● Dx: 54 cm</li> <li>● Asimmetria 3 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sx: 53 cm</li> <li>● Dx: 55,5 cm</li> <li>● Asimmetria 2,5 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sx: 55,5 cm</li> <li>● Dx: 56 cm</li> <li>● Asimmetria 1,5 cm</li> </ul>

Di seguito viene riportato il confronto tra il primo post-operatorio privo di utilizzo di BFR e il secondo post-operatorio con utilizzo del BFR. Sono state riportate le differenti asimmetrie tra i due arti e la percezione di dolore percepita da parte della paziente.

	<b>1° FOLLOW UP</b>	<b>2° FOLLOW UP</b>	<b>3° FOLLOW UP</b>
<b>SINGLE LEG BALANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: asimmetria 26,7%</li> <li>● Secondo intervento: asimmetria 17,3%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: asimmetria 21,2%</li> <li>● Secondo intervento:</li> </ul>	

		<p>asimmetria 10,3%</p>	
<b>BIPODAL STANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 12,7%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 3,9%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 21,3%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 24,5%</li> </ul>	
<b>PRONE KNEE FLEXION 90° FLEXION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 53,9%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 41,8%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 19,3%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 0,3%</li> </ul>	
<b>SITTING KNEE EXTENSION 90° FLEXION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 41,4%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 33,7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primo intervento: asimmetria 22,7%</li> <li>• Secondo intervento: asimmetria 6,3%</li> </ul>	
<b>JUMP ANALYSIS- UNIPODAL SQUAT JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altezza salto: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 22,7%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 6,6%</li> </ul> </li> <li>• Picco di Potenza: 2,14 kg</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 25,7%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 12,6%</li> <li>● Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 16,1%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 1,2%</li> </ul> </li> </ul>
<b>JUMP ANALYSIS-SQUAT JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>● Altezza salto: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: 12,4 cm</li> <li>○ Secondo intervento: 20,7 cm</li> </ul> </li> <li>● Tempo di volo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: 537 ms</li> <li>○ Secondo intervento: 422 ms</li> </ul> </li> <li>● Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 22,6%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 3,4%</li> </ul> </li> <li>● Picco di Potenza: 38,6 kg <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 12,7%</li> </ul> </li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 4%</li> <li>● RFD: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 26,7%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 14,5%</li> </ul> </li> </ul>
<b>JUMP ANALYSIS-DROP JUMP</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>● Picco di forza: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 23,7%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 5,6%</li> </ul> </li> <li>● RFD: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primo intervento: asimmetria 13,3%</li> <li>○ Secondo intervento: asimmetria 4,8</li> </ul> </li> </ul>
<b>NPRS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: 7</li> <li>● Secondo intervento: 6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: 5</li> <li>● Secondo intervento: 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: 0</li> <li>● Secondo intervento: 0</li> </ul>
<b>TROFISMO MUSCOLARE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: asimmetria 5 cm</li> <li>● Secondo intervento: asimmetria 3 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: asimmetria 4,5 cm</li> <li>● Secondo intervento: asimmetria 2,5 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Primo intervento: asimmetria 4 cm</li> <li>● Secondo intervento: asimmetria 1,5 cm</li> </ul>

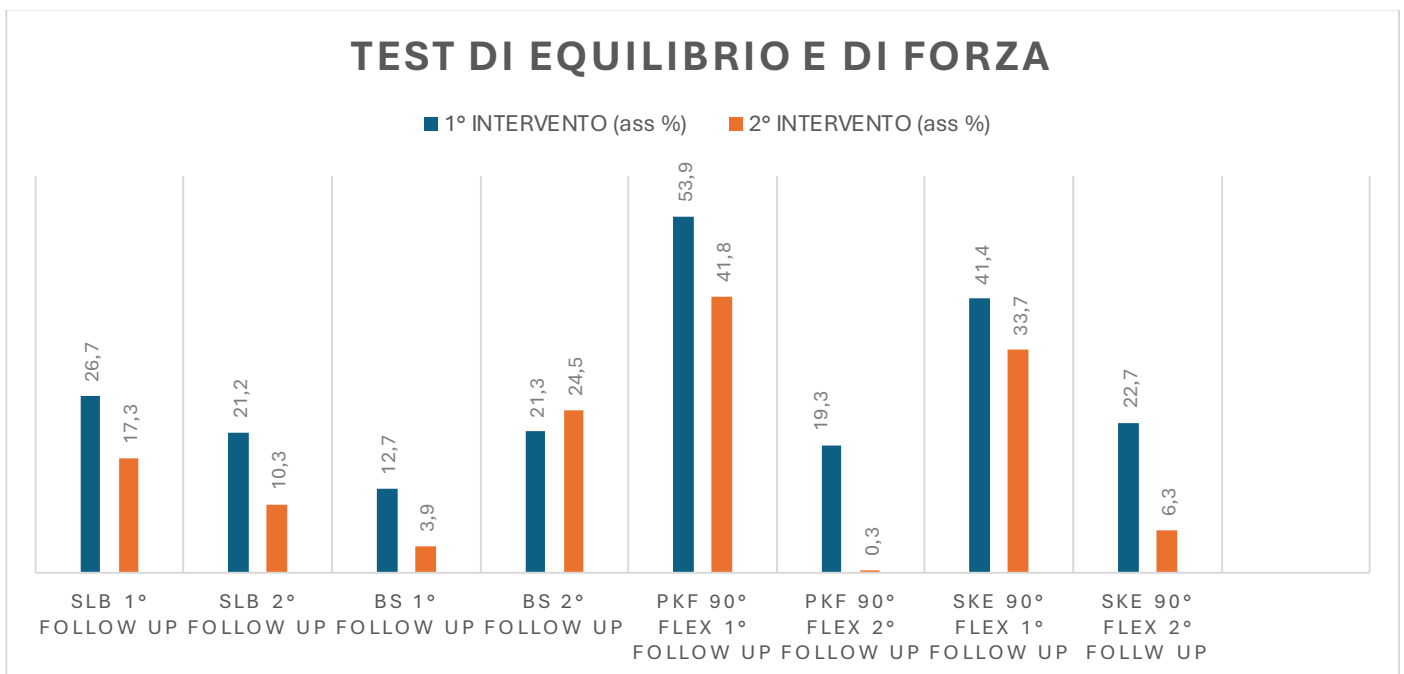
## 5. DISCUSSIONE

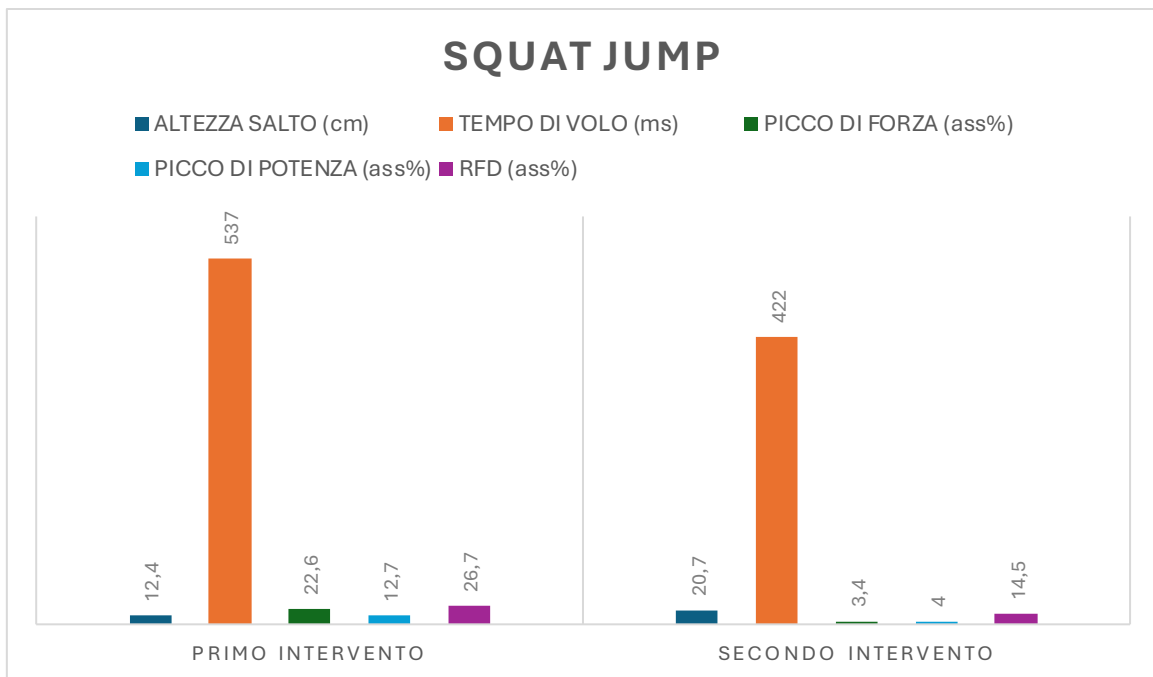
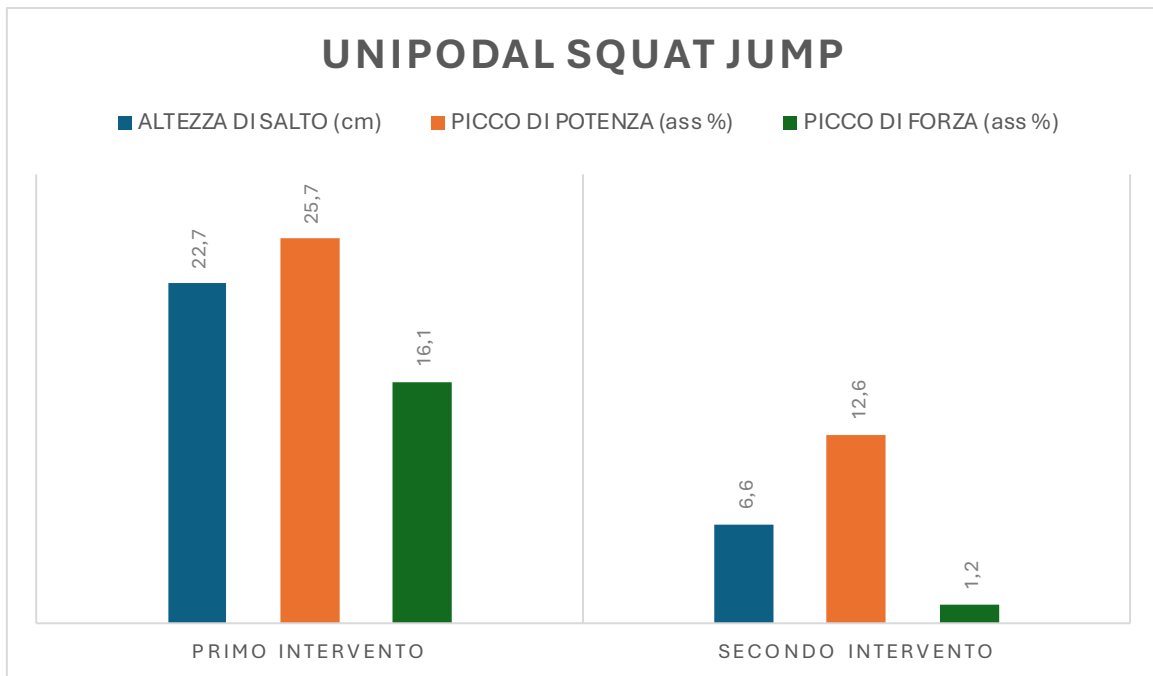
Rispetto al percorso effettuato dopo il primo intervento, i risultati ottenuti in termini di forza, stabilità, simmetria tra i due arti, trofismo muscolare e velocità di recupero sono notevolmente migliori. È raro che il recupero dopo un secondo intervento ad uno stesso arto sia migliore e più veloce rispetto al primo perché entrano in gioco interferenze legate all'aspetto psicosociale come paura o diffidenza da parte del paziente o una maggiore cautela da parte del chirurgo stesso nelle tappe di recupero. Questi miglioramenti sono stati percepiti soggettivamente anche dalla paziente stessa in termini di forza e stabilità dell'arto.

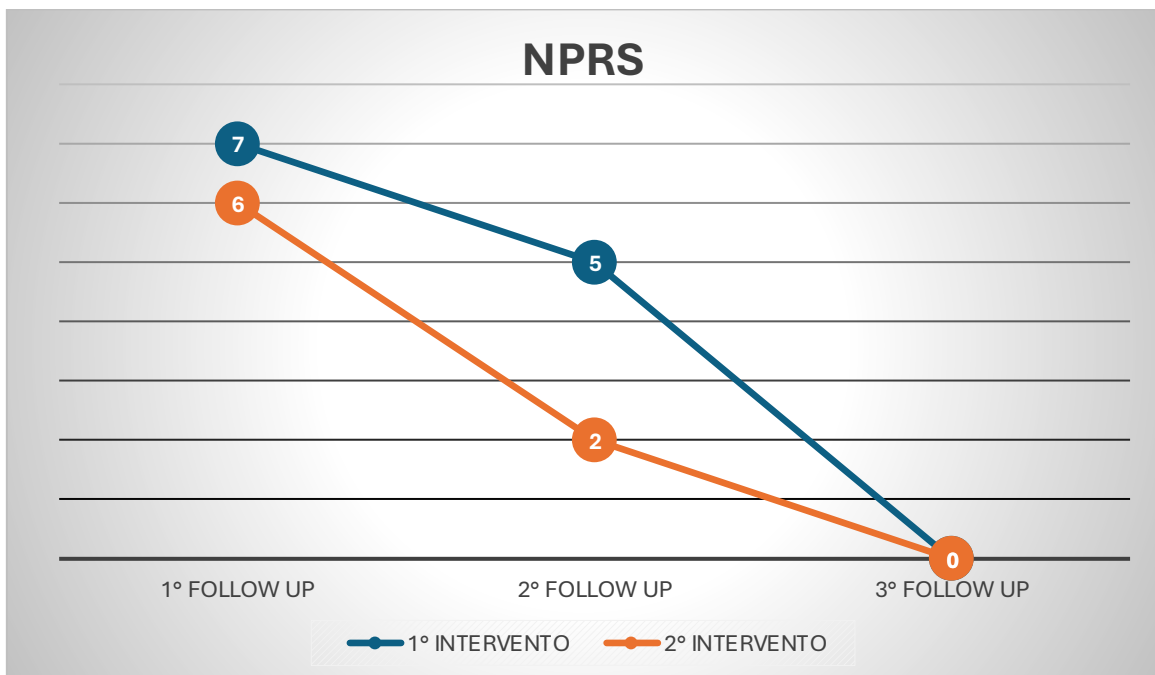
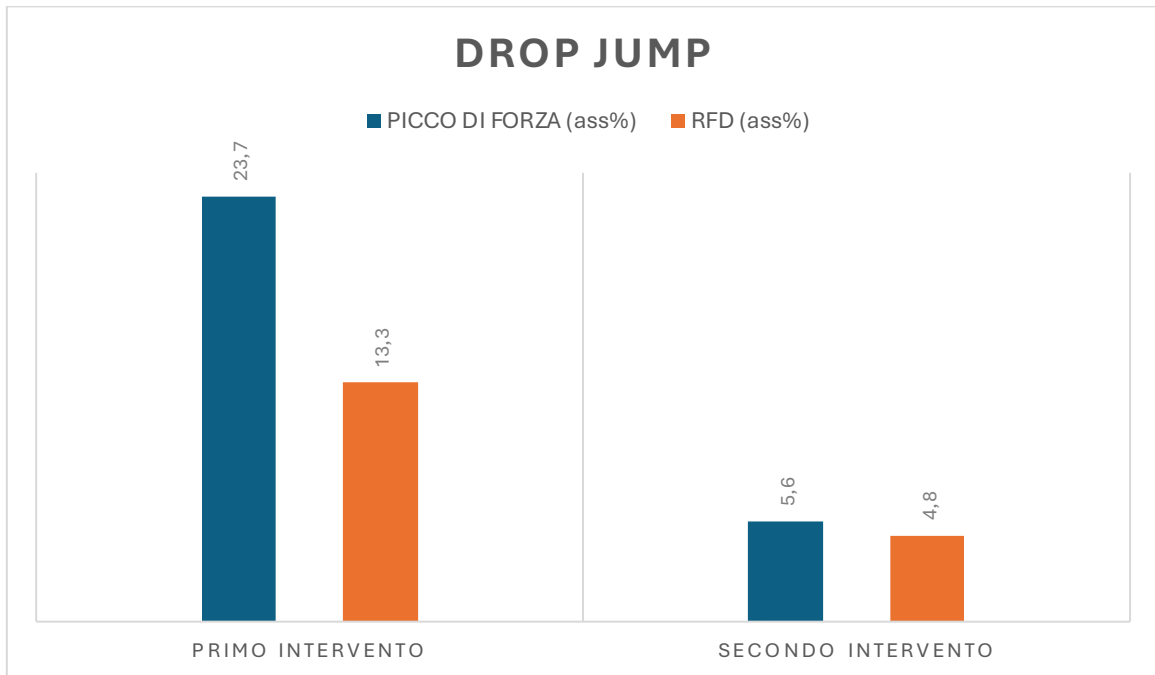
Nei primi due follow-up sono stati valutati equilibrio, superficie di carico e forza dell'arto inferiore. Nel terzo follow-up, eseguito nel mese di ottobre, invece è stato valutato il salto in prospettiva della riatletizzazione e al RTS.

Per le misurazioni è stato utilizzato un dinamometro Kinvent che propone come protocollo di valutazione post-intervento LCA i test sopra elencati.

Il confronto tra i diversi follow-up nei due post-operatori viene riportato nei grafici sottostanti









## 6. CONCLUSIONI

L'allenamento BFR fornisce al professionista della medicina sportiva un metodo alternativo per raggiungere l'intensità dell'esercizio ricercata. La ricerca attuale supporta fortemente la sua inclusione in situazioni senza controindicazioni, in cui l'obiettivo è la forza e l'ipertrofia ma il volume o il carico dell'esercizio sono limitati. Applicando giudiziosamente l'allenamento BFR, il medico può implementare un dosaggio minimo efficace a un volume e un carico che altrimenti sarebbero insufficienti. Nelle popolazioni in cui l'occlusione non è contraddetta e l'allenamento di resistenza progressiva tradizionale è appropriato, l'allenamento BFR sembra essere un approccio aggiuntivo sicuro ed efficace all'esercizio terapeutico negli ambienti della medicina sportiva.

L'esercizio con carichi bassi associato alla restrizione del flusso sanguigno rappresenta un'ottima strategia per migliorare ipertrofia, forza e capacità aerobica, senza l'uso di carichi potenzialmente dannosi (giacché ingenti) ed in tempi ristretti rispetto al normale.

Prima della somministrazione è importante che il fisioterapista valuti attentamente il quadro clinico del paziente ed i suoi fattori di rischio per evitare l'insorgenza di eventi avversi (la maggior parte dei quali sono transitori e lievi).

Possono beneficiarne pazienti in età avanzata, quelli che sono stati costretti a mobilità ridotta da periodi prolungati di allettamento (es. post chirurgia) fino agli atleti, che possono associare alla restrizione del flusso sanguigno anche l'esercizio con alti carichi o attività di tipo aerobico.

Dal confronto dei risultati ottenuti tra un follow-up e l'altro è possibile notare come ci sia stato un repentino e netto miglioramento. L'asimmetria tra i due arti si è ridotta ai minimi termini già dal secondo follow-up. Allo stesso modo, analizzando la differenza tra un post-intervento e l'altro, è possibile osservare come i risultati ottenuti attraverso l'utilizzo del BFR siano stati nettamente migliori rispetto al primo post-intervento senza l'utilizzo del BFR.

## BIBLIOGRAFIA

1. Vopat, B. G., Vopat, L. M., Bechtold, M. M., & Hodge, K. A. (2020). Blood Flow Restriction Therapy: Where We Are and Where We Are Going. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 28(12), E493–E500. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D 19-00347>
2. Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Medicine*, 45(3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
3. Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Rossow, L. M., Kim, D., Abe, T., et al. (2015). Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 35, 167–176. doi: 10.1111/cpf. 12141
4. Wernbom, M., Augustsson, J., and Raastad, T. (2008). Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 18, 401–416. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00788.x
5. <https://www.fisioscience.it/blog/blood-flow-restriction-training/>
6. Manini, T. M., and Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 37, 78–85. doi: 10.1097/JES. 0b013e31819c2e5c
7. Ladlow, P., Coppack, R. J., Dharm-Datta, S., Conway, D., Sellon, E., Patterson, S. D., et al. (2018). Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Front. Physiol.* 9:1269. doi: 10.3389/fphys.2018.01269
8. Kisner C. e Colby L.A., *Therapeutic exercise: Foundations and techniques*. Philadelphia: F.A. Davis, 2012.
9. Noyes, F.R., *Advances in understanding of knee ligament injury repair and rehabilitation*. *Med Sci Sport Exerc* 16: 427-443, 1984).
10. Hemmerich A., Brown H., Smith S. et al., Hip, knee, and ankle kinematics of highrange of motion activities of daily living. *J Orthop Res* 24:770-781, 2006.
11. Lu T.W., O'Connor J.J., Lines of action and moment arms of the major force-bearing structures crossing the human knee joint: comparison between theory and experiment. *J Anat* 1996;189:575-585.
12. Neumann, Donald A., *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. 3rd ed. St. Louis, MO: Mosby. 2016.
13. Nisell R., Ericson M.O., Nemeth G., Ekholm J., Tibiofemoral joint forces during isokinetic knee extension. *Am J Sports Med.* 1989;17:49-54.

14. Buoncristiani A.M., Tjoumakaris F.P., Starman J.S. et al., Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2006;22:1000-1006.
15. Butler D.L., Guan Y., Kay M.D. et al., Location-dependent variations in the material properties of the anterior cruciate ligament. *J Biomech*. 1992;25:511-518.
16. Bradley J.P., Klimkiewicz J.J., Rytel M.J., Powell J.W. (2002). Anterior cruciate ligament injuries in the National Football League. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 18(5), 502-509. <https://doi.org/10.1053/jars.2002.30649>.
17. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
18. Waldén M., Hägglund M., Werner J., Ekstrand J. (2010). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(1)3-10. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1172-7>.
19. Owens B.D., Mountcastle S.B., Dunn W.R., DeBerardino T.M., Taylor D.C. (2007). Incidence of Anterior Cruciate Ligament Injury among Active Duty U.S. Military Servicemen and Servicewomen. *Military Medicine*, 172(1), 90-91. <https://doi.org/10.7205/milmed.172.1.90>.
20. Montalvo A.M., Schneider D.K., Webster K.E., Yut L., Galloway M.T., Heidt R.S., Kaeding C.C., Kremcheck T.E., Magnussen R.A., Parikh S.N., Stanfield D.T., Wall E.J., Myer G.D. (2019). Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. *Journal of Athletic Training*, 54(5), 472-482. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-407-16>.
21. Bittencourt N.F.N., Meeuwisse W.H., Mendonça L.D., Nettel-Aguirre A., Ocarino J.M., Fonseca S.T. (2016). Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *British Journal of Sports Medicine*, 50(21), 1309-1314. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095850>.
22. Coffey D.S. (1998). Self-organization, complexity and chaos: The new biology for medicine. *Nature Medicine*, 4(8), 882-885. <https://doi.org/10.1038/nm0898-882>.
23. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
24. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
25. Yu B., Garrett W.E. (2007). Mechanisms of non-contact ACL injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 41 (Supplement 1), i47-i51. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037192>.
26. Fleming B.C., Renstrom P.A., Beynon B.D., Engstrom B., Peura G.D., Badger G. J., Johnson R.J. (2001). The effect of weightbearing and external loading on anterior cruciate ligament strain. *Journal of Biomechanics*, 34(2), 163-170. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(00\)00154-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(00)00154-8).

27. Clavert P., Kempf J.F., Bonomet F., Boutemy P., Marcelin L., Kahn J.L. (2001). Effects of freezing/thawing on the biomechanical properties of human tendons. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 23(4), 259–262. <https://doi.org/10.1007/s00276-001-0259-8>.
28. Della Villa F., Buckthorpe M., Grassi A., Nabiuzzi A., Tosarelli F., Zaffagnini S. della Villa S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*, 54(23), 1423-1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>.
29. Ueki H., Nakagawa Y., Ohara T., Watanabe T., Horie M., Katagiri H., Otabe K., Katagiri K., Hiyama K., Katakura M., Hoshino T., Inomata K., Araya N., Sekiya I., Muneta T., Koga H. (2018). Risk factors for residual pivot shift after anterior cruciate ligament reconstruction: data from the MAKS group. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 26(12), 3724-3730. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5005-4>.
30. Wright R.W., Magnussen R.A., Dunn W.R., Spindler K.P. (2011). Ipsilateral Graft and Contralateral ACL Rupture at Five Years or More Following ACL Reconstruction. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 93(12), 1159-1165. <https://doi.org/10.2106/jbjs.j.00898>.
31. Kaeding C.C., Pedroza A.D., Reinke E.K., Huston L.J., Spindler K.P., Amendola A., Andrich J.T., Brophy R.H., Dunn W.R., Flanigan D., Hewett T.E., Jones M.H., Marx R.G., Matava M.J., McCarty E.C., Parker R.D., Wolcott M., Wolf B.R., Wright R.W. (2015). Risk Factors and Predictors of Subsequent ACL Injury in Either Knee After ACL Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(7), 1583-1590. <https://doi.org/10.1177/0363546515578836>.
32. Beischer S., Gustavsson L., Senorski E.H., Karlsson J., Thomeé C., Samuelsson K. Thomeé R. (2020). Young Athletes Who Return to Sport Before 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have a Rate of New Injury 7 Times That of Those Who Delay Return. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 50(2), 83-90. <https://doi.org/10.2519/jospt.2020.9071>.
33. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
34. Yao, S., Fu, B. S. C., Yung, P. S. H. (2021). Graft healing after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). *Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology*, 25, 8-15.
35. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
36. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Forza del quadricipite e attivazione volontaria dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore: una revisione sistematica e meta-analisi. *Sports Health*. 2019;11(2):163–179. doi: 10.1177/1941738118822739.

37. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Modelli di progressione nell'allenamento di resistenza per adulti sani. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687–708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
38. [www.fisioscience.it](http://www.fisioscience.it)
39. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8448465>
40. Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 560–580. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.560>
41. Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The Impact of Metabolic Stress on Hormonal Responses and Muscular Adaptations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(6), 955–963. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000170470.98084.39>
42. Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., & Suzuki, Y. (2012). Effects of Low-Intensity Resistance Exercise Under Acute Systemic Hypoxia on Hormonal Responses. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 611–617. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182281c69>
43. Takarada, Y., Tsuruta, T., & Ishii, N. (2004). Cooperative Effects of Exercise and Occlusive Stimuli on Muscular Function in Low-Intensity Resistance Exercise with Moderate Vascular Occlusion. *The Japanese Journal of Physiology*, 54(6), 585–592. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.54.58>
44. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Forza del quadricipite e attivazione volontaria dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore: una revisione sistematica e meta-analisi. *Sports Health.* 2019;11(2):163–179. doi: 10.1177/1941738118822739
45. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Modelli di progressione nell'allenamento di resistenza per adulti sani. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687–708. doi: 10.1249/MSS.0b013e318191567
46. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Adattamenti di forza e ipertrofia tra allenamento di resistenza a basso e ad alto carico: una revisione sistematica e meta-analisi. *J Strength Cond Res.* 2017;31(12):3508–3523. doi: 10.1519/JSC.0000000000002200
47. Barber-Westin S, Noyes FR. Allenamento con flusso sanguigno limitato per la debolezza muscolare degli arti inferiori dovuta a patologia del ginocchio: una revisione sistematica. *Sports Health.* 2019;11(1):69–83. doi: 10.1177/1941738118811337
48. Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Bembien, M. G., & Abe, T. (2011). Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow–restricted low-intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(5), 347–351. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01022.x>

49. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Forza del quadricipite e attivazione volontaria dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore: una revisione sistematica e meta-analisi. *Sports Health*. 2019;11(2):163–179. doi: 10.1177/1941738118822739
50. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Modelli di progressione nell'allenamento di resistenza per adulti sani. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):687–708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
51. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Adattamenti di forza e ipertrofia tra allenamento di resistenza a basso e ad alto carico: una revisione sistematica e meta-analisi. *J Strength Cond Res*. 2017;31(12):3508–3523. doi: 10.1519/JSC.0000000000002200
52. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Allenamento di restrizione del flusso sanguigno nella riabilitazione muscoloscheletrica clinica: una revisione sistematica e meta-analisi. *Br J Sports Med*. 2017;51(13):1003–1011. doi: 10.1136/bjsports-2016-097071
53. Anderson AB, Owens JG, Patterson SD, Dickens JF, LeClere LE. Terapia di restrizione del flusso sanguigno: dallo sviluppo alle applicazioni. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2019;27(3):119–123. doi: 10.1097/JSA.0000000000000240
54. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, et al. Confronto dell'efficacia della restrizione del flusso sanguigno e dell'allenamento tradizionale di resistenza con carichi pesanti nella riabilitazione post-operatoria dei pazienti sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore: uno studio randomizzato controllato del National Health Service del Regno Unito. *Sports Med*. 2019;49(11):1787–1805. doi: 10.1007/s40279-019-01137-2
55. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, et al. Benefici dell'allenamento di resistenza con restrizione del flusso sanguigno nell'osteoartrite del ginocchio. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(5):897–905. doi: 10.1249/MSS.0000000000001530
56. Ebell MH, Siwek J, Weiss BD, et al. Tassonomia della forza di raccomandazione (SORT): un approccio incentrato sul paziente per la valutazione delle prove nella letteratura medica. *Am Fam Physician*. 2004;69(3):548–556. doi: 10.3122/jabfm.17.1.59
57. Schoenfeld BJ. I meccanismi dell'ipertrofia muscolare e la loro applicazione all'allenamento di resistenza. *J Strength Cond Res*. 2010;24(10):2857–2872. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3.
58. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Modelli di progressione nell'allenamento di resistenza per adulti sani. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):687–708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
59. Pearson SJ, Hussain SR. Una revisione sui meccanismi dell'ipertrofia muscolare indotta dall'allenamento di resistenza con restrizione del flusso sanguigno. *Sports Med* febbraio 2015;45(2):187–200. doi: 10.1007/s40279-014-0264-9

60. Takarada, Y., Sato, Y., and Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86, 308–314. doi: 10.1007/s00421-001-0561-5
61. Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., et al. (2018). Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 48, 361–378. doi: 10.1007/s40279-017-0795-y
62. Laurentino, G. C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aoki, M. S., Soares, A. G., Neves, M. J., Aihara, A. Y., Da Rocha Correa Fernandes, A., & Tricoli, V. (2012). Strength Training with Blood Flow Restriction Diminishes Myostatin Gene Expression. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(3), 406–412. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318233b4bc>
63. Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Bembem, M. G., & Abe, T. (2011). Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow–restricted low-intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(5), 347–351. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01022.x>
64. Head P, Waldron M, Theis N, Patterson SD. Stimolazione elettrica neuromuscolare acuta (NMES) con restrizione del flusso sanguigno: l'effetto delle pressioni di restrizione. *J Sport Rehabil.* 2020 doi: 10.1123/jsr.2019-0505. Pubblicato online il 31 luglio
65. Kim D, Loenneke JP, Ye X, et al. L'allenamento di resistenza a basso carico con bassa pressione relativa produce cambiamenti muscolari simili all'allenamento di resistenza ad alto carico. *Muscle Nerve.* 2017;56(6):E126–E133. doi: 10.1002/mus.25626
66. Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, et al. Adattamenti muscolari all'allenamento ad alto carico e all'allenamento a bassissimo carico con e senza restrizione del flusso sanguigno. *Front Physiol.* 2018;9:1448. doi: 10.3389/fphys.2018.01448.
67. Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Abe T, Loenneke JP. L'influenza della larghezza del bracciale, del sesso e della razza sull'occlusione arteriosa: implicazioni per la ricerca sulla restrizione del flusso sanguigno. *Sports Med.* 2016;46(6):913–921. doi: 10.1007/s40279-016-0473-5
68. Crenshaw, A. G., Hargens, A. R., Gershuni, D. H., and Rydevik, B. (1988). Wide tourniquet cuffs more effective at lower inflation pressures. *Acta Orthop. Scand.* 59, 447–451. doi: 10.3109/17453678809149401
69. Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., et al. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with

- differing restrictive cuffs. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 32, 331–337. doi: 10.1111/j.1475-097X.2012.01131.x
70. Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., and Abe, T. (2013). Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. *Acta Physiol. Hung.* 100, 419–426. doi: 10.1556/APhysiol.100.2013.4.
71. Manini, T. M., and Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 37, 78–85. doi: 10.1097/JES. 0b013e31819c2e5c
72. Rossi FE, de Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. Il ruolo dell'infiammazione e delle cellule immunitarie nell'adattamento all'allenamento con restrizione del flusso sanguigno: una revisione. *Front Physiol.* 2018;9:1376. doi: 10.3389/fphys.2018.01376
73. Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, et al. Meccanismi di restrizione del flusso sanguigno: il nuovo testamento. *Tech Orthop.* 2018;33(2):72–79. doi: 10.1097/BTO.0000000000000252
74. Kubota, A., Sakuraba, K., Sawaki, K., Sumide, T., and Tamura, Y. (2008). Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40, 529–534. doi: 10.1249/MSS.0b013e31815ddac6
75. Takarada, Y., Takazawa, H., and Ishii, N. (2000b). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 2035–2039. doi: 10.1097/00005768-200012000- 00011
76. Kubota, A., Sakuraba, K., Sawaki, K., Sumide, T., and Tamura, Y. (2008). Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40, 529–534. doi: 10.1249/MSS.0b013e31815ddac6
77. Barbalho, M., Rocha, A. C., Seus, T. L., Raiol, R., Del Vecchio, F. B., and Coswig, V. S. (2018). Addition of blood flow restriction to passive mobilization reduces the rate of muscle wasting in elderly patients in the intensive care unit: a within-patient randomized trial. *Clin. Rehabil.* 33, 233–240. doi: 10.1177/ 0269215518801440
78. Jones, H., Hopkins, N., Bailey, T. G., Green, D. J., Cable, N. T., and Thijssen, D. H. (2014). Seven-day remote ischemic preconditioning improves local and systemic endothelial function and microcirculation in healthy humans. *Am. J. Hypertens.* 27, 918–925. doi: 10.1093/ajh/hpu00479
79. Takarada, Y., Takazawa, H., and Ishii, N. (2000b). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 2035–2039. doi: 10.1097/00005768-200012000- 00011
80. [www.fisioscience.com](http://www.fisioscience.com)



81. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Forza del quadricipite e attivazione volontaria dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore: una revisione sistematica e meta-analisi. *Sports Health*. 2019;11(2):163–179. doi: 10.1177/1941738118822739
82. 82. Reis JF, Fatela P, Mendonca GV, et al. Ossigenazione tissutale in risposta a diversi livelli relativi di esercizio con restrizione del flusso sanguigno. *Front Physiol*. 2019;10:407. doi: 10.3389/fphys.2019.00407
83. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8448465/> Hawker, G. A., Mian, S., Kendzerska, T. & French, M. Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF. *Arthritis Care Res*. 63, S240–S252 (2011).