

BLOOD FLOW RESTRICTION EXERCISE DOPO INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: REVISIONE DELLA LETTERATURA

SOSSIO NOVELLETTI¹

¹Ricercatore indipendente

RIASSUNTO

La lesione del legamento crociato anteriore rappresenta un infortunio grave per l'atleta a causa del prolungato periodo di stop dalle attività, del *return to play* fissato a sei/nove mesi ed elevato rischio di re-infortunio. La perdita di trofismo e forza muscolare del quadricipite in seguito ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore è un evento comune. L'obiettivo di questa revisione è quello di verificare gli effetti dell'esercizio contro resistenza con restrizione del flusso sanguigno su forza, trofismo, dolore ed attività funzionali. Sono stati analizzati sei studi che avessero come obiettivo il confronto tra l'esercizio contro resistenza con carico esterno pari al 70% 1RM e l'esercizio contro resistenza con restrizione del flusso sanguigno e carico esterno pari al 30% 1RM. Dai risultati emerge che l'esercizio con restrizione del flusso sanguigno può migliorare trofismo e forza muscolare, ridurre il dolore al ginocchio e migliorare la funzionalità articolare.

Parole chiave: Restrizione del flusso sanguigno · Ricostruzione del legamento crociato anteriore · Trofismo muscolare · Forza muscolare · Esercizio contro resistenza

ABSTRACT

Anterior cruciate ligament's tear represents a serious injury for the athlete due to prolonged period of stop from physical activity, return to play set at six/nine months and high risk of re-injury. Muscular trophism and strenght's loss following anterior cruciate ligament reconstruction surgery is a common occurrence. The objective of this review is to verify the effects of resistance exercise with blood flow restriction on muscular trophism and strenght, pain and functional activity. Six studies were analyzed that aim to achieve a comparison between resistance exercise with external load 70% 1RM (one-Repetition Maximum) and resistance exercise with blood flow restriction and external load 30% 1RM. Results show that blood flow restriction exercise can improve muscular trophism and strenght, reduce knee pain and improve joint function.

Keywords: Blood flow restriction · Anterior cruciate ligament reconstruction · Muscular trophism · Muscular strenght · Resistance exercise

INTRODUZIONE

L'esecuzione di esercizi con restrizione del flusso sanguigno risale al 1966 in Giappone, ad opera del Dr. Yoshiaki Sato, il quale ideò il cosiddetto "allenamento Kaatsu", ovvero "allenamento con pressione aggiunta" [1]. Ad oggi, quest'ultimo è noto in tutto il mondo come "allenamento BFR" e viene eseguito mediante l'utilizzo di una cuffia pneumatica attraverso la quale viene applicata una pressione esterna alla regione prossimale degli arti: quando la cuffia viene insufflata, si

verifica una compressione meccanica graduale che determina una restrizione parziale del flusso sanguigno arterioso e una restrizione totale del deflusso venoso. La terapia BFR, da sola o in combinazione con l'esercizio fisico, ha mostrato risultati promettenti nel promuovere l'ipertrofia e l'aumento di forza muscolare [2].

L'atrofia/ipotrofia muscolare sono condizioni piuttosto comuni in seguito ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore di ginocchio [2, 3]. La perdita di trofismo e forza muscolare predispone allo sviluppo di un'asimmetria

tra i quadricipiti, condizione che è associata ad alterazioni del carico sulle articolazioni, che a loro volta predispongono alla precoce degenerazione cartilaginea articolare, alterazioni del ciclo del passo e ad alto rischio di re-infortunio. Tra gli sportivi, la lesione del legamento crociato anteriore rappresenta un infortunio grave che costringe l'atleta ad un prolungato periodo di stop durante il quale la riabilitazione è un tassello fondamentale per il *return to play*. In questo contesto, migliorare il trofismo muscolare e la forza del muscolo quadricipite rappresenta uno dei principali obiettivi durante la fase riabilitativa post ricostruzione del legamento leso.

Il *Blood Flow Restriction Exercise* (BFRE) crea una condizione di elevato stress metabolico nel muscolo esercitato (effetto locale) ed attiva una cascata ormonale (effetto sistemico), eventi responsabili del miglioramento dei parametri sopra citati. Le attuali evidenze suggeriscono due teorie alla base del funzionamento dell'esercizio BFR: la prima è la teoria ormonale, la seconda è la teoria dello sforzo muscolare accelerato. Secondo la teoria ormonale, la riduzione dell'apporto ematico e dunque di ossigeno innesca la produzione di lattato [4], il quale a sua volta stimola la produzione di ormoni anabolici come IGF-1 (*insulin growth factor-1*), principale mediatore dell'ormone della crescita GH, che ha effetto lipolitico e stimolante la produzione di collagene; si realizza un incremento dei livelli di testosterone, una riduzione dell'espressione del gene della miostatina [5], regolatore negativo della massa muscolare, ed un'attivazione del *pathway* mTOR (*mammalian target of rapamycin*), proteina chinasi a serina e treonina che regola i processi di crescita, proliferazione, motilità e sopravvivenza delle cellule, la sintesi proteica e la trascrizione, oltre ad avere un ruolo di rilevanza nella regolazione del bilancio energetico del corpo e del suo peso. Aumentano, infine, i livelli di VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*) e HIF (*Hypoxia Inducible Factor*) [4, 6]. Secondo la teoria dello sforzo muscolare accelerato, il lattato è responsabile di un maggior reclutamento delle unità motorie e delle fibre tipo I e tipo II con aumento del gonfiore cellulare. La combinazione di questi effetti comporta come risultato finale l'aumento di forza e trofismo muscolare.

Le condizioni di stress e l'esercizio fisico possono innalzare la soglia del dolore [7]. Questi fenomeni

vengono definiti *Stress Induced Analgesia* (SIA) ed *Exercise Induced Analgesia* (EIA). Si innescano meccanismi endocrini ed oppioidi coinvolti nella regolazione dello stress, quali il rilascio di beta endorfine [7]. Eseguire esercizi contro resistenza con restrizione del flusso sanguigno può avere un effetto di modulazione del dolore [8, 9]. In uno studio condotto da Hughes L. e Patterson S.D. [8] sono stati reclutati dodici soggetti, i quali hanno eseguito un esercizio di *leg press* unilaterale secondo quattro modalità: a basso carico (30% 1RM), ad alto carico (70% 1RM), a basso carico (30% 1RM) con restrizione del flusso sanguigno ed AOP = 40%, a basso carico (30% 1RM) con restrizione del flusso sanguigno ed AOP = 80%. È stata valutata la soglia del dolore alla pressione (PPT, *Pain Pressure Threshold*) prima dell'esercizio, a 5 minuti e a 24 ore dall'esercizio e sono stati valutati campioni plasmatici per determinare le concentrazioni di beta endorfine. Dai risultati si è evinto che l'esercizio con restrizione del flusso sanguigno ad alta pressione aumenta la soglia del dolore alla pressione, e tale modifica permane fino a 24 ore. Inoltre, a livello plasmatico si è registrato un aumento di beta endorfine [7, 8].

La restrizione del flusso sanguigno consente di lavorare con carichi ridotti (20-30% 1RM), dunque a bassa intensità, con risultati sovrapponibili all'allenamento contro resistenza a carichi sub-massimali (70% 1RM). La cuffia viene insufflata sino a raggiungere una determinata e personalizzata pressione di occlusione arteriosa, necessaria per restringere il flusso sanguigno in un arto [10]. La restrizione del flusso può essere applicata sia durante l'esercizio fisico contro resistenza (BFR-RE), sia durante l'esercizio fisico aerobico (BFR-AE), sia passivamente senza esercizio fisico (P-BFR) [11]. Le linee guida dell'esercizio BFR prevedono l'esecuzione di 4 serie da 75 ripetizioni totali (serie da 30-15-15-15 ripetizioni) con pause di 30 secondi tra le serie durante le quali la cuffia può essere insufflata (e dunque realizzare una restrizione continua) o può essere esufflata (e dunque realizzare una restrizione intermittente concedendo delle fasi di recupero all'atleta). La durata di un esercizio è di circa 5-10 minuti mentre le pressioni utilizzate variano dal 40% all'80% dell'AOP. Solitamente si scelgono esercizi multiarticolari, ma possono essere utilizzati esercizi a catena cinetica aperta o a catena cinetica chiusa [10-12].

Ogni protocollo va personalizzato, impostando sempre un regime di progressione dell'esercizio fisico, sia per quanto riguarda i carichi esterni, sia i volumi che le intensità di allenamento. Lo scopo di questa revisione è quello di indagare quali sono gli effetti dell'esercizio BFR su trofismo, forza muscolare, dolore e funzioni motorie dopo intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

MATERIALI E METODI

È stata condotta una ricerca consultando i database PubMed e Research Gate. I termini chiave utilizzati sono stati: *Blood Flow Restriction*, *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction* combinati con l'operatore booleano OR e i termini BFR e ACL-R. I criteri di inclusione sono stati studi che avessero preso in esame parametri come il volume e il diametro trasversale del muscolo quadricipite e/o dei flessori di ginocchio, forza dell'apparato estensore, livelli di dolore al ginocchio e funzioni motorie in soggetti con ricostruzione del legamento crociato anteriore. Sono stati inclusi articoli di qualunque tipologia e di tutti i livelli di evidenza, in lingua inglese, con *full text* reperibile e senza limitazioni in termini di data di pubblicazione e di numero campionario. Sono stati esclusi duplicati, articoli pubblicati in lingue diverse dall'inglese, studi eseguiti solo su soggetti sani e studi che prendevano in considerazione altre patologie di ginocchio (lesioni meniscali, osteoartrosi ed altre). Il quesito è stato strutturato secondo il modello P.I.C.O., esplicitato nella tabella che segue (Tabella 1).

La qualità metodologica degli studi è stata valutata secondo la scala di PEDro benché questo parametro non sia stato inserito tra i criteri di inclusione.

Tab. 1 - Modello P.I.C.O.

P	Popolazione	Pazienti con ricostruzione del legamento crociato anteriore
I	Intervento	<i>Blood Flow Restriction Exercise</i>
C	Confronto	Esercizi contro resistenza a bassa o alta intensità senza limitazione del flusso sanguigno
O	Outcomes	Trofismo muscolare; forza muscolare; dolore al ginocchio; funzioni motorie

RISULTATI

Dalla ricerca condotta sono stati inclusi sei studi. Il diagramma di flusso riassume il protocollo di ricerca (Figura 1).

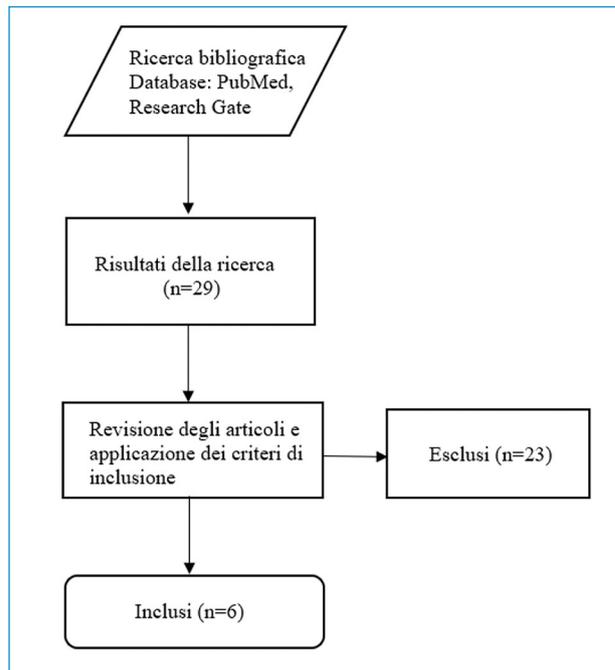


Fig. 1 - Diagramma di flusso. Processo di selezione degli studi.

Caratteristiche degli studi

Le principali caratteristiche degli studi inclusi sono state riportate nella Tabella 2.

Misure di outcome

I risultati ottenuti dai singoli studi sono riportati nella Tabella 3.

DISCUSSIONE

La maggioranza degli studi revisionati consiste in RCT (*Randomized Controlled Trial*), dunque si tratta di lavori all'apice della piramide delle evidenze. Tuttavia, alcuni studi presentano una scarsa qualità metodologica.

I risultati suggeriscono che l'esercizio fisico con restrizione del flusso sanguigno (BFRE) può migliorare trofismo e forza muscolare, con risultati

Tab. 2 - Caratteristiche principali dei singoli studi inclusi. BFR-RT= *Blood Flow Restriction-Resistance Training*; 1RM= *One Repetition Maximum*; AOP= *Arterial Occlusion Pressure*; HL-RT= *High Load-Resistance Training*; ACLR-BFR: *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-Blood Flow Restriction*; ACLR-HL: *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-High Load*; NI-BFR: *Not Injured-Blood Flow Restriction*; RPE= *Rating of Perceived Exertion*.

Autori	Anno di pubblicazione	Pazienti reclutati, n	Intervento	Outcomes
Hughes L, Patterson SD et al.	2019	28	BFR-RT: 4 serie da 30-15-15-15 @30% 1RM + 80% AOP HL-RT: 3 serie da 10 @70% 1RM; <i>Leg press</i> unilaterale; 2 sessioni settimanali per 8 settimane	Dolore muscolare; Dolore al ginocchio durante la sessione e a 24h dall'esercizio; RPE
Lambert B, Hedt CA et al.	2019	14	BFR-RT: 4 serie da 30-15-15-15 @20% 1RM + 80% AOP Controllo: riabilitazione convenzionale; Contrazioni quadricipite, <i>leg press</i> bilaterale, <i>hamstring curl</i> , esercizi eccentrici; 12 settimane	Massa ossea; Densità minerale ossea; Massa muscolare magra
Ohta H, Kurosawa H, et al.	2003	44	BFR-RT: 2 serie da 20 con 5 secondi di isometria; Controllo: idem; Rinforzo abduttori, adduttori, <i>half squat</i> , <i>straight leg raise</i> , <i>knee-bending walking</i> ; 6 sessioni settimanali per 16 settimane	Area della sezione trasversa di quadricipite e flessori; <i>Range of motion</i> ; Forza muscolare estensori e flessori
Hughes L, Paton B, et al.	2018	30	ACLR-BFR: 4 serie da 30-15-15-15 @30% 1RM + 80% AOP ACLR-HL: 3 serie da 10 @70% 1RM NI-BFR: 4 serie da 30-15-15-15 @30% 1RM + 80% AOP; <i>Leg press</i> unilaterale	Dolore muscolare; Dolore al ginocchio; RPE; Pressione sistolica e diastolica
Kilgas MA, Lytle LLM, et al.	2019	18	BFR-RT: 3 serie da 30 <i>leg extension</i> , 3 serie da 30 <i>half squat</i> , 3 serie da 2 minuti <i>walking</i> @50% AOP Controllo: soggetti sani volontari fisicamente attivi	Spessore e simmetria spessore retto femorale e vasto laterale; Forza e simmetria forza estensori
Hughes L, Rosenblatt B, et al.	2019	28	BFR-RT: 4 serie da 30-15-15-15 @30% 1RM + 80% AOP HL-RT: 3 serie da 10 @70% 1RM; 2 sessioni a settimana per 8 settimane	Dolore al ginocchio; <i>Range of motion</i> ; Gonfiore; Forza su 10 ripetizioni; Morfologia muscolare; Forza isocinetica

simili e sovrapponibili a quelli ottenuti con l'esercizio fisico contro resistenza a carico elevato e senza restrizione del flusso sanguigno [9, 13, 14] e con risultati migliori rispetto all'esercizio fisico contro resistenza a basso carico e senza restrizione del flusso sanguigno [15-17]. Inoltre, con BFRE si sono registrati risultati migliori in termini di riduzione del dolore al ginocchio e funzionalità articolare dopo intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore [14, 16].

I risultati migliori si ottengono con l'esercizio BFR a lungo termine (8-16 settimane), dunque è indispensabile associare quest'ultimo ad altre competenze tecniche del fisioterapista sportivo.

A tal proposito, i professionisti della riabilitazione dovrebbero considerare di includere BFRE nei programmi di riabilitazione, mantenimento e riabilitazione, in quanto può essere somministrato già in fase precoce rispetto all'esercizio contro resistenza con carichi elevati.

Tab. 3 - Risultati. BFR= Blood Flow Restriction; HL= High Load; BMD= Bone Mineral Density; RPE= Rating of Perceived Exertion; 1RM= One Repetition Maximum; ROM= Range of Motion.

Hughes L., et al. 2019	Lambert B., et al. 2019	Ohta H., et al. 2003	Hughes L., et al. 2018	Kilgas M.A., et al. 2019	Hughes L., et al. 2019
Dolore al ginocchio ↓ BFR ↑ HL (durante ogni sessione)	Massa muscolare magra totale (kg) postop (preop) BFR: -0.01 ± 0.87 ($-0.06 \pm 1.77\%$) Controllo: -1.14 ± 0.59 ($-2.23 \pm 0.98\%$)	CSA estensori BFR: 91 ± 7 pre, 101 ± 11 post Controllo: 92 ± 11 pre, 92 ± 12 post	Dolore al ginocchio ↓ BFR ↑ HL RPE ↑ = BFR / HL	Spessore retto femorale BFR: 1.83 ± 0.33 pre, 2.02 ± 0.32 post	Spessore vasto laterale (cm) BFR: $\uparrow 5.8\% \pm 0.2\%$ HL: $\uparrow 6.7\% \pm 0.3\%$
Dolore al ginocchio 24h post esercizio BFR: 2.98 ± 0.60 (prima sessione, poi ancora ↓) HL: 4.6 ± 1.1 (prima sessione, poi ↓)	Massa muscolare magra coscia (kg) postop (preop) BFR: -0.03 ± 0.05 ($-1.26 \pm 1.72\%$) Controllo: -0.16 ± 0.05 ($-5.21 \pm 1.62\%$)	CSA flessori + adduttori BFR: 99 ± 3 pre, 105 ± 19 post Controllo: 97 ± 11 pre, 102 ± 23 post	Dolore muscolare ↑ BFR	Indice di simmetria arto operato/arto sano $87\% \pm 5\%$ pre, $96\% \pm 4\%$ post	Dolore ↓ BFR ROM e flessione di ginocchio ↑ BFR
Dolore muscolare ↑ BFR ↓ HL RPE BFR: 15.8 ± 2.0 (prima sessione, poi pressoché =) HL: 16.5 ± 1.3 (prima sessione, poi pressoché =)	Massa ossea (g) arto inferiore BFR: -11.97 ± 4.39 ($-1.92 \pm 0.72\%$) Controllo: -16.26 ± 3.03 ($-3.01 \pm 0.52\%$)	Diametro fibre muscolari (preop/postop) BFR: tipo I 103 ± 10 , tipo II 102 ± 8 Controllo: tipo I 95 ± 11 , tipo II 97 ± 7	Pressione sistolica e diastolica = BFR / HL	Spessore vasto laterale BFR: 2.25 ± 0.39 pre, 2.48 ± 0.40 post	Gonfiore ↓ BFR Forza muscolare su 10 ripetizioni BFR: $104\% \pm 30\%$ HL: $106\% \pm 40\%$
	BMD femore distale BFR: -0.09 ± 0.03 ($-7.41 \pm 2.54\%$) Controllo: -0.12 ± 0.02 ($-10.35 \pm 1.78\%$)	Forza isocinetica estensori $60^\circ/s$ BFR: 84 ± 13 pre, 76 ± 16 post Controllo: 86 ± 14 pre, 55 ± 17 post		Indice di simmetria arto operato/arto sano $90\% \pm 6\%$ pre, $97\% \pm 3\%$ post	
		Forza isocinetica estensori $180^\circ/s$ BFR: 84 ± 14 pre, 77 ± 13 post Controllo: 90 ± 9 pre, 65 ± 13 post		1RM stimato BFR: 34.9 ± 13.8 pre, 41.6 ± 16.8 post	
		Forza isocinetica flessori $60^\circ/s$ BFR: 96 ± 32 pre, 81 ± 14 post Controllo: 90 ± 16 pre, 72 ± 15 post			
		Forza isocinetica flessori $180^\circ/s$ BFR: 96 ± 19 pre, 84 ± 18 post Controllo: 99 ± 16 pre, 74 ± 12 post			

CONCLUSIONI

L'esercizio fisico con restrizione del flusso sanguigno si è dimostrato efficace e sicuro e dunque può essere utilizzato in tutte le condizioni in cui si verifica atrofia/ipotrofia muscolare, decondizionamento, ridotta forza muscolare, dolore.

In particolare, tale tipologia di esercizio si adatta bene a soggetti che non tollerano elevati carichi

meccanici (ad esempio, soggetti con ricostruzione del legamento crociato anteriore recente) pur ottenendo stress metabolici ed anabolici considerevoli ai fini della stimolazione muscolare.

Tuttavia, future ricerche e sperimentazioni cliniche sono necessarie al fine di confermare questi dati e validare la metodica per una più ampia scala di applicazioni in riabilitazione.

BIBLIOGRAFIA

1. Anderson A.B., Owens J.G., et al., *Blood Flow Restriction Therapy: From Development to Applications*, Sports Med Arthrosc Rev. 2019; 27: 119-123
2. Takarada Y., Takazawa H., Ishii N., *Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles*, Med Sci Sports Exerc. 2000; 32: 2035-2039.
3. Hughes L., Paton B., Haddad F., Rosenblatt B., Gissane C., Patterson S.D., *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*, Phys. Ther. Sport 2018; 33: 54-61.
4. Larkin K.A., et al., *Blood Flow Restriction Enhances Post-Resistance Exercise Angiogenic Gene Expression*, Medicine & Science in Sport & Exercise 2012; 44(11): 2077-2083.
5. Laurentino G.C., Ugrinowitsch C., Roschel H., Aoki M.S., Soares, A.G., Neves M., Tricoli V., *Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression*, Medicine & Science in Sports & Exercise 2012; 44(3): 406-412.
6. Takano H., et al., *Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow*, European Journal of Applied Physiology 2005; 95: 65-73.
7. Lesnak J.B., Sluka K.A., *Mechanism of exercise-induced analgesia: what we can learn from physically active animals*, Pain Rep. 2020 Sep 23; 5(5): e850.
8. Hughes L., Patterson S.D., *The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation*, J Appl Physiol (1985) 2020 Apr 1; 128(4): 914-924.
9. Hughes L., Patterson S.D., Haddad F., Rosenblatt B., Gissane C., McCarthy D., Clarke T., Ferris G., Dawes J., Paton B., *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*, Phys. Ther. Sport 2019; 39: 90-98.
10. Loenneke J.P., Fahs C.A., Rossow L.M., et al., *Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise*, Eur. J. Appl. Physiol. 2012; 112(8): 2903-2912.
11. Patterson S.D., Hughes L., Warmington S., et al., *Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety*, Front. Physiol. 2019; 10: 533.
12. Hughes L., Paton B., Rosenblatt B., Gissane C., Patterson S.D., *Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis*, Br J Sports Med. 2017; 51: 1003-1011.
13. Hughes L., Paton B., Haddad F., Rosenblatt B., Gissane C., Patterson S.D., *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*, Phys Ther Sport. 2018 Sep; 33: 54-61.
14. Hughes L., Rosenblatt B., Haddad F., Gissane C., McCarthy D., Clarke T., Ferris G., Dawes J., Paton B., Patterson S.D., *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 Med. 2019 Nov; 49(11): 1787-1805.
15. Lambert B., Hedt C.A., Jack R.A., et al., *Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction*, Orthopaedic Journal of Sports Medicine 2019 Mar; 7 (3 suppl2).
16. Ohta H., Kurosawa H., Ikeda H., Iwase Y., Satou N., Nakamura S., *Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction*, Acta Orthop Scand. 2003; 74: 62-68.
17. Kilgas M.A., Lytle L.L.M., Drum S.N., Elmer S.J., *Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction*, Int J Sports Med. 2019 Sep; 40(10): 650-656.

CORRISPONDENZA:

Sossio Novelletti

Tel.: +39 333 1855349

Email: novelletti.sossio@gmail.com