
**BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING
COM TERÀPIA COMPLEMENTÀRIA EN
LESIONATS DE LLIGAMENT ENCREUAT
ANTERIOR:**

REVISIÓ SISTEMÀTICA

Treball final de grau

Alumna: Yaiza Arévalo Calderón

Director: Jordi Torras Perarnau

ESCS Grau de Fisioteràpia

Curs 2022/23

TecnoCampus Mataró-Maresme, 15/05/23, Mataró



Centre adscrit a la



ÍNDEX DE CONTINGUTS

1. Resum.....	4
2. Introducció.....	6
2.1. Marc teòric.....	7
2.1.1. Anatomia del genoll.....	7
2.1.2. Biomecànica del genoll.....	8
2.1.3. LCA i mecanisme de lesió.....	9
2.1.4. Protocols de rehabilitació post IQ del LCA.....	10
2.1.5. Directrius de prescripció del BFRT i hipertrofia.....	12
3. Justificació de l'estudi.....	13
4. Objectius.....	14
4.1. Objectiu general.....	14
4.2. Objectius específics.....	14
5. Metodologia.....	15
5.1. Definició de la pregunta d'interès.....	15
5.2. Metodologia aplicada.....	15
5.2.1. Criteris d'inclusió.....	16
5.2.2. Criteris d'exclusió.....	16
5.3. Estratègia de cerca.....	16
5.3.1. Cerca a PubMed.....	16
5.3.2. Cerca a PEDro.....	16
5.4. Valoració metodològica.....	17
5.5. Descripció de les variables principals.....	17
6. Resultats.....	18
6.1. Registres identificats en les bases de dades.....	18
6.2. Resultats de la valoració metodològica.....	20
6.3. Anàlisis dels resultats.....	22
7. Discussió.....	29
8. Conclusions.....	31
9. Implicació a la pràctica professional i línies de futur.....	32
10. Referències bibliogràfiques.....	33

ÍNDEX DE TAULES

1. Il·lustració 1. Entrenament amb BFR.....	7
2. Il·lustració 2. Tall transversal de genoll.....	8
3. Il·lustració 3. Mecanisme lesional LCA.....	10
4. Taula 1. Factors de risc intrínsecs i extrínsecs.....	10
5. Taula 2. Directrius de prescripció del BFRT i hipertrofia.....	12
6. Taula 3. Referències dels registres trobats.....	18
7. Taula 4. Diagrama de flux (PRISMA).....	19
8. Taula 5. Resultats Escala PEDro.....	21
9. Taula 6. Anàlisis dels resultats.....	23

1. RESUM

Introducció: La teràpia de restricció del flux sanguini és un tractament en què s'aplica una pressió igual o superior a la tensió arterial sistòlica mitjançant un torniquet pneumàtic, cosa que parcialment limita el flux d'entrada arterial i sortida venosa a la musculatura. L'objectiu d'aquesta revisió va ser examinar els efectes d'aquest tractament a l'atròfia muscular del quàdriceps en pacients amb trencament del lligament encreuat anterior i comparar els diferents protocols de tractament utilitzats en el període postoperatori.

Mètode: En aquesta revisió sistemàtica, es van consultar les bases de dades Pubmed i PEDro. A més, es van consultar les referències bibliogràfiques dels estudis inclosos amb la finalitat d'ampliar l'especificitat de la cerca.

Resultats: Un total de 5 registres van ser inclosos a la revisió sistemàtica. En tres dels estudis es van reportar beneficis després de l'ús d'un protocol de restricció de flux sanguini sobre l'atròfia muscular del quàdriceps, augmentant la força muscular amb una major reducció del dolor i efusió de l'articulació del genoll, donant lloc a millores generals més grans en la funció física. D'altra banda, els altres dos estudis no van obtenir canvis estadísticament significatius a curt termini.

Conclusió: Els protocols de restricció de flux sanguini amb càrregues de baixa intensitat el converteixen en una eina possiblement eficaç per disminuir la pèrdua o decrement de la massa muscular del quàdriceps a fases primerenques després d'un trencament del lligament creuat anterior evitant així el desacondicionament.

Paraules clau: Reconstrucció del lligament encreuat anterior, Atròfia muscular del quàdriceps, entrenament oclusiu, Protocol de restricció del flux sanguini.

Introduction: Blood flow restriction therapy is a treatment in which a pressure equal to or greater than the systolic blood pressure is applied using a pneumatic tourniquet, which partially limits the flow of arterial inflow and venous outflow to the musculature. The aim of this review was to examine the effects of this treatment on quadriceps muscle atrophy in patients with anterior cruciate ligament rupture and to compare the different treatment protocols used in the postoperative period.

Method: In this systematic review, Pubmed and PEDro databases were consulted. In addition, the bibliographic references of the included studies were consulted in order to expand the specificity of the search.

Results: A total of 5 records were included in the systematic review. Three of the studies reported benefits after using a blood flow restriction protocol on quadriceps muscle atrophy. On the other hand, the other two studies did not obtain statistically significant changes in the short term.

Conclusion: Blood flow restriction protocols with low-intensity loads make it a potentially effective tool to decrease the loss or decrement of quadriceps muscle mass in the early stages after an anterior cruciate ligament tear thus preventing deconditioning.

Keywords: Anterior cruciate ligament reconstruction, Quadriceps muscle atrophy, occlusive training, Blood flow restriction protocol.

2. INTRODUCCIÓ

La lesió del lligament encreuat anterior (LCA) és una lesió molt freqüent, que a més afecta un rang de població jove i amb un nivell d'activitat física elevat. Es calcula una incidència de 0,4-0,8 lesions per 1.000 habitants i any (entre 10 i 64 anys). El trencament de l'LCA està relacionat amb activitats esportives com futbol, handbol, esquí o bàsquet en un 65-75% dels casos, encara que aproximadament un 25-35% dels casos es produeixen al domicili, via pública o el lloc de treball. L'edat mitjana dels pacients amb un trencament de LCA és de 28-35 anys, amb una proporció més gran d'homes (58-73%); no obstant això, si examinem poblacions de risc (futbol, bàsquet i altres esports de contacte), la incidència és més gran en dones que en homes. (1)

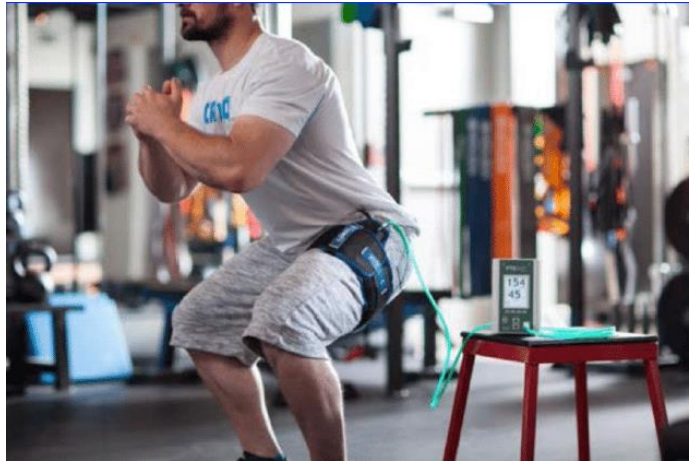
La reparació del LCA és una de les intervencions més freqüents en cirurgia ortopèdica (2). Un estudi realitzat el 2001 per l'Associació Espanyola de Artroscòpia va estimar que a Espanya es realitzen anualment 16.821 plàsties de l'LCA anuals, dada que mostra una prevalença de 4 casos per cada 1000 habitants a l'any (3).

L'atròfia i la pèrdua de massa muscular del quàdriceps està considerada com una de les complicacions més comunes després d'una cirurgia del lligament encreuat anterior (LCA), sovint a causa del desús relatiu a través de la càrrega limitada i la necessitat d'un període de descàrrega (4,5). Altres de les seqüeles típiques que ens trobarem a la lesió del LCA després del tractament quirúrgic seran deficiències persistents en la força del quàdriceps femoral, que podran romandre fins al retorn de l'activitat malgrat la rehabilitació (6). Nombrosos estudis confirmen aquesta teoria: segons Cambell et al. (7), el volum total del múscul quàdriceps mostra una disminució del 10% després de tres setmanes de descàrrega, cosa que equival a una taxa diària de pèrdua del 0,48%. D'altra banda, Gerber et al. (8), esmenten l'existència de dèficits persistents del 10 al 20% en la mida i la força del quàdriceps, els quals poden romandre durant anys després de la cirurgia i que aquests ocorren durant les primeres etapes, és a dir, durant els primers 3 mesos després de la intervenció.

Les deficiències en la força del quàdriceps després de la reconstrucció del LCA són habituals i ho són relacionades amb la biomecànica alterada del genoll. A més, la debilitat del quàdriceps s'ha associat amb resultats negatius a curt i llarg termini, com ara llarg temps de retorn a l'esport, qualitat de vida reduïda i osteoartritis d'aparició precoç. (9)

Les tècniques tradicionals de teràpia física han tingut una eficàcia limitada sobre mitigar aquestes alteracions en la composició del múscul quàdriceps. Malgrat les millors pràctiques, els dèficits de força del quàdriceps sovint persisteixen durant anys després de la reconstrucció del lligament encreuat anterior. L'entrenament de restricció del flux sanguini (BFRT) és una possible nova intervenció que aplica un maneguet a pressió a la cuixa proximal que restringeix parcialment el flux sanguini mentre el

pacient fa exercici, cosa que permet als pacients entrenar amb càrregues reduïdes. Es creu que aquest entrenament té els mateixos beneficis que si els pacients estiguessin entrenant sota càrregues elevades. (9) Aquesta pràctica neix en un entorn d'entrenament esportiu, el culturisme concretament. El 1997 els seus primers resultats en articles científics sobre la hipertròfia i el guany de força li van fer famós en el món de l'activitat física, aconseguint patentar el mètode de tractament. Actualment, aquesta intervenció s'ha estès a nivell mundial, tant a nivell clínic com des d'un punt de vista del rendiment esportiu. El 2018 va ser reconeguda per l'APTA (Associació Americana de Fisioteràpia) com a part de la pràctica professional del fisioterapeuta. A través de l'oclusió, es crea un desequilibri en l'homeòstasi del múscle que s'està contraient, estimulants mecanismes anabòlics locals i sistèmics.



Il·lustració 1. Entrenament amb BFR (34)

Aquest treball pretén fer una revisió bibliogràfica dels articles existents per donar resposta i analitzar l'entrenament de restricció del flux sanguini que es fa servir per reduir la atrofia muscular del quàdriceps després de la lesió del LCA del genoll, sense tenir en compte sexe, edat... Amb aquest estudi es pretén donar resposta a la pregunta d'interès i arribar a una conclusió sobre si el tractament complementari per a aquesta lesió és eficaç i eficient.

2.1. MARC TEÒRIC

2.1.1. Anatomia del genoll

El genoll és una articulació gran i complexa de les extremitats inferiors del cos humà. Realitza les funcions d'estabilitat i resistència del pes corporal i de mobilitat per traslladar-ho.

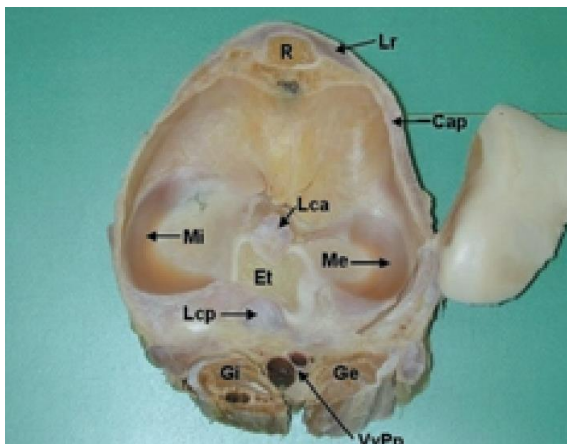
Estructuralment, està formada per dues articulacions (femorotibial i femororrotuliana) formades per tres ossos: fèmur, tibia i ròtula. D'aquesta manera, queden ambdues reunides per una càpsula comú que dona estabilitat.

A part de la càpsula, la estabilitat i el moviment del genoll estan controlats i dirigits pels músculs i per un total de sis lligaments que reforcen l'articulació.

Els lligaments encreuats, anterior (LCA) i posterior (LCP), es troben intraarticulars però extrasinovials en la part de la fossa intercondílica, on es creuen en el seu trajecte oblic entre les seves insercions tibials i femorals, envoltats per un plec de la membrana sinovial que s'invagina des de la paret posterior de

la càpsula. El LCA puja des de la superfície preespínosa cap enrere i fora, fins a la cara axial del còndil extern, mentre que el LCP ho fa des de la superfície retrospínosa, cap endavant i endins, fins a la cara axial del còndil intern. (10)

A més, per distribuir les cargues de pes entre els ossos i ajudar en la estabilitat trobem els meniscs, fibrocartílags interposats entre els còndils femorals i les glenoides tibials. A causa de la seva forma – arquejada en projecció vertical i triangular al tall – es converteixen en elements de congruència entre les superfícies femorals i les tibials. Si ens imaginem uns anells, el menisc intern té forma més oberta que l'extern, que és més tancat. (10)



Il·lustració 1. Tall transversal de genoll dret que passa proximalment als meniscs. El fragment corresponent a ambdós còndils, unit a la peça principal mitjançant el lligament col·lateral lateral, ha estat ranversat. Cap: càpsula articular; Et: espina de la tibia; Ge i Gi: gastrocnemius extern i intern; Lca i Lcp: lligaments creuats anterior i posterior; Lr: lligament rotular; Me i Mi: meniscs extern i intern; R: vèrtex de la ròtula, i VvPp: vasos poplitis. (10)

Mencionats abans, els músculs tenen el paper de donar estabilitat activa i moviment. La principal musculatura que s'origina o s'insereix en el genoll és: quàdriceps femoral, sartori, gràcil, tensor de la fàscia lata, popliti, semimembranós, semitendinos, bíceps femoral, gastrocnemius i soli.

2.1.2. Biomecànica del genoll

La biomecànica de l'articulació del genoll permet realitzar moviments a dos plànols, el pla sagital i el pla frontal. En el pla sagital i eix transversal trobem dos moviments, flexió i extensió, que són els de major amplitud articular del genoll amb 120º-140º activament i fins 10º respectivament. D'altra banda, en el pla frontal i eix longitudinal trobem les rotacions, interna i externa, amb la seva màxima amplitud articular a 90º de flexió de genoll: d'uns 30º-35º i 45º-50º respectivament. Aquests són els moviments principals, però a causa de la plasticitat articular i només de forma passiva, el genoll pot permetre moviments de molt escassa amplitud al pla frontal. (10)

Durant els primers graus de flexió s'afegeix un moviment al voltant d'un eix vertical, anomenat rotació associada, el valor del qual és de 10-15º. És una rotació interna de la tibia al principi de la flexió o una rotació externa al final de l'extensió. Aquesta rotació ajuda a bloquejar el genoll en extensió, de manera que el membre inferior es transforma en una columna rígida que sosté el pes del cos. (10)

2.1.3. LCA i mecanisme de lesió

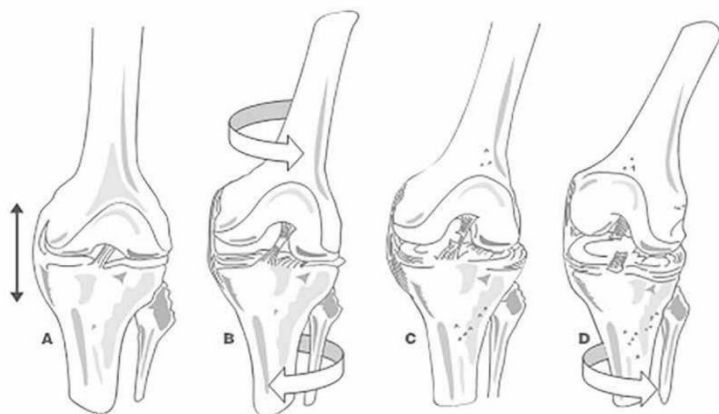
Les fibres de l'LCA es disposen en dos fascicles: l'anteromedial (AM) i el posterolateral (PL). El primer es tensa durant el moviment de flexió i es relaxa durant la extensió, mentre que el posterolateral (PL) es tiba durant el moviment d'extensió i es relaxa durant la flexió de genoll.

El lligament està compost de col·lagen de tipus I, per tant són curts, resistents i no elàstics. La funció principal d'aquest lligament és la de donar estabilitat, evitant la translació anterior de la tibia respecte al fèmur i limitar les rotacions internes del genoll quan aquesta es troba en flexió. A més, també té funcions nociceptives (mecanoreceptors que informen de la posició articular del genoll) i propioceptives. (11)

Mentre que la incidència d'altres lesions esportives com l'esquinç del lligament col·lateral medial (LCM) i l'entorcís de turmell mostren una disminució, la taxa de lesió del LCA sembla mantenir-se.

Malgrat el seu alt impacte, encara no es coneixen els mecanismes exactes de lesió. Es presenten alguns mecanismes proposats per diferents autors al llarg de la història (12):

- (i) Mecanismes per força cisallant anterior (Berns et al., 1992; Markolf et al., 1995; Fleming et al., 2001; Arms et al., 1984; Draganich and Vahey, 1990; Beynnon et al., 1995; Demorat et al., 2004)
- (ii) Mecanismes per compressió axial (Lietal., 1998; Meyerand Haut, 2005)
- (iii) Mecanismes per hiperextensió (Markolf et al., 1990; Boden et al., 2000)
- (iv) Mecanisme per col·lapse en valg pur o combinat amb rotació interna o externa tibiofemoral (Hewett et al., 2005; McLean et al., 2005; Krosshaug et al., 2007; Shin et al., 2009; Chaudhari and Andriacchi, 2006; Quatman and Hewett, 2009)
- (v) Mecanismes per rotació interna tibial (Markolf et al., 2004; Fleming et al., 2001)
- (vi) Força cisallant anterior i valg (Markolf et al., 1995),
- (vii) Valg combinat amb rotació interna tibial (Kanamori et al., 2002)
- (viii) Valg i rotació externa tibial (Ireland, 1999)
- (ix) Valg, força cisallant anterior i torsió axial en l'eix més gran de la tibia (Quatman and Hewett, 2009)
- (x) Valg associat a rotació amb maluc estès i genoll flexionat (Hashemi 2011)
- (xi) Valg associat a rotació interna tibial amb maluc estès i genoll flexionat (Koga 2015, 2017)



Il·lustració 2. En una primera instància el genoll rep la força de reacció del pis, aquesta genera una compressió articular en valg i tensa el LCM (a) produint la rotació interna tibial, luxació a posterior del còndil extern generant la lesió lligamentària (b). Un cop trencat el LCA la tibia pateix una translació anterior i la següent luxació a posterior del còndil intern (c) amb reducció de l'extern generant un valg amb rotació externa (d). (12)

Segons la bibliografia, la situació de joc en què es produeix la lesió del LCA sense contacte, s'enfoca en dos escenaris que involucren la desacceleració brusca: el desmarcatge i les caigudes a una cama durant el salt. Encara que, els autors proposen que el mecanisme de lesió es veu influït tant per factors intrínsecs del pacient com per factors extrínsecs:

FACTORS INTRÍNSECS	FACTORS EXTRÍNSECS
<ul style="list-style-type: none"> - Edat - Sexe - Composició corporal (pes, talla, etc.) - Factors hormonals - Lesions prèvies - Laxitud articular - Estat de salut - Condicions físiques (resistència, flexibilitat, força, coordinació...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'esport que es practica (contacte, salts, repeticions, acceleracions, etc.) - Volum d'entrenament - Intensitat d'entrenament - Descans - Nivell de competició - Equipament utilitzat (calçat) - Instal·lacions, entorn (terreny)

Taula 1. Factors de risc intrínsecs i extrínsecs

2.1.4. Protocols de rehabilitació post IQ del LCA

Els principals objectius dels programes de rehabilitació són (11):

- Restaurar la funció del genoll mitjançant un major control neuromuscular.
- Millorar l'activació muscular.
- Augmentar l'estabilitat dinàmica de l'articulació.
- Restablir el rang de moviment articular que permeti desenvolupar les activitats de la vida diària i l'esport.

Actualment es plantegen protocols progressius i estructurats de rehabilitació accelerada, no obstant, no hi ha consens sobre quina és la rehabilitació òptima. El sistema més accelerat es fa servir per al pacient jove i/o atlètic. La principal diferència és la taxa de progressió a través de les diverses fases de rehabilitació i el temps necessari de recuperació abans de començar a córrer i a un retorn complet a les activitats atlètiques.

Aquests programes de rehabilitació posen èmfasi a restablir com més aviat millor l'extensió passiva completa del genoll, iniciar la càrrega parcial immediata (WB), introduir exercicis funcionals aconseguint un enfortiment muscular progressiu i una millora de la propiocepció i estabilitat dinàmica. (11,13)

En qualsevol cas, el procés de rehabilitació s'ha d'adaptar a l'evolució del pacient. Es estableixen uns criteris d'avaluació al final de cada fase per poder fer una progressió adequada.

a) Fase preoperatòria:

Els objectius principals d'aquesta fase són reduir la inflamació i el dolor, restaurar el ROM normal, normalitzar la marxa i prevenir l'atròfia muscular (11,13).

La finalitat és tornar el genoll a l'estat previ a la lesió i obtenir l'homeòstasi del teixit. La restauració de la mobilitat total redueix el risc postoperatori d'artrofibrosi. S'hi inclou la educació del pacient, informació i preparació per a la rehabilitació postoperatòria.

És una fase fonamental per a un resultat exitós, pot requerir diverses setmanes, 21 dies són habitualment els adequats. (11,13)

b) Fase postoperatòria:

Els objectius principals d'aquesta fase són:

- Reduir la inflamació i el dolor post IQ
- Aconseguir una extensió passiva completa del genoll
- Restaurar la mobilitat de la ròtula
- Restablir la deambulació
- Millorar el ROM articular passiu i actiu
- Restablir el control voluntari de la musculatura
- Restablir el control neuromuscular (propiocepció)
- Recuperar/Augmentar BM de la musculatura atrofiada
- "Return to play" de l'esport específic

En aquesta fase es tindrà en compte la evolució del pacient, per tant, es dividirà en subfases depenent de les necessitats i capacitats d'aquest. Durant aquesta recuperació s'avalua constantment l'estat del pacient a través de diferents proves i escales que ens permeten veure amb dades objectives i amb resultats de diferents tests com està evolucionant i com va millorant. Com per exemple, les escales The Hospital for Special Surgery Knee Store, Lysholm Knee Scoring Scale y la Escala Visual Analògica del Dolor (14); que mesuren el dolor, la funcionalitat, la força i el rang de mobilitat.

2.1.5. Directrius de prescripció del BFRT i hipertrofia

Colocación del manguito	Aplicado proximalmente en la(s) extremidad(es) de trabajo
Presión de oclusión	Presión de oclusión arterial del 40 % al 80 % usando presiones más bajas con extremidades más pequeñas o para mayor comodidad Presión de oclusión arterial identificada mediante ecografía Doppler (p. ej., dorsal del pie, tibial o radial) u oximetría de pulso
Tiempo total de oclusión	<10 min en total entre periodos de reperusión
Carga (como % de RM)	20 %-40 % de 1 repetición como máximo
Conjuntos repeticiones	Mínimo de 2-3 series y ≤5 series en total por ejercicio 45-75 repeticiones por ejercicio (1-2 s de movimientos concéntricos: excéntricos por repetición), con el extremo inferior asumiendo que se completan 1-2 series hasta el fallo; más de 75 repeticiones por ejercicio parecen ser innecesarias y menos pueden ser suficientes, especialmente si las series se llevan al fallo
Nivel de esfuerzo	Ya sea falla concéntrica o fatiga de aproximación según lo determinado por una caída significativa en la velocidad de ejecución o el uso de estrategias compensatorias
Periodo de descanso	30-60 s entre series
Frecuencia	2 a 3 veces por semana durante aproximadamente 4 a 6 semanas También se puede hacer 1 o 2 veces al día durante períodos breves (<3 semanas)
Selección de ejercicios	Para asegurar que el estrés se aplique a músculos específicos y maximizar el reclutamiento de unidades motoras, use enfoques aislados de una sola extremidad cuando sea posible

Taula 2. Directrius de prescripció del BFRT i hipertrofia (15)

3. JUSTIFICACIÓ DE L'ESTUDI

Trobem multitud d'articles que estudien la relació de la lesió de l'LCA amb els esports. Aquesta lesió cada vegada és més freqüent ja que el nombre d'esportistes també augmenta. Aquesta lesió implica, molt freqüentment, operació quirúrgica i comporta la pèrdua de tota la temporada, fet molt complicat de gestionar pels esportistes. (13)

Els estudis de resultats mostren que després de la reconstrucció del LCA, el 81% de les persones tornen als esports, el 65% tornen al nivell anterior a la lesió i el 55% tornen als esports competitius. Les revisions sistemàtiques situen el risc de nous esquinços ipsilaterals en un 5,8% i de lesions contralaterals en un 11,8%, amb informes recents d'una taxa de fracàs superior al 20%. Aproximadament, del 20% al 50% dels pacients tindran evidència d'osteoartrosis d'aquí a 10 a 20 anys. Els factors importants per reduir les complicacions inclouen el moment de la cirurgia, els protocols individualitzats de tornada al joc i els programes de prevenció de lesions. (16)

A causa d'aquesta creixent incidència de lesió, molts autors han volgut analitzar quina és la millor manera de rehabilitar aquesta lesió i permetre un retorn a la pràctica d'esport com més aviat millor. La tornada a l'esport en les millors condicions és el principal objectiu de qualsevol esportista després d'una lesió tan dura com aquesta. Actualment no hi ha un consens sobre quin tractament és l'ideal que cal seguir per garantir una recuperació òptima i ràpida. A més a més, no es coneix amb exactitud quin és el temps de recuperació.

Actualment hi ha una àmplia bibliografia relacionada amb aquesta lesió, però a la pràctica clínica no es defineix un protocol de referència. Les pautes de progressió, l'inici d'alguns procediments, els temps i modes ideals de treball, són algunes de les incoherències observades

És per això, que és de gran interès fer una revisió de la literatura existent per així poder comprovar i definir si és efectiu seguir aquest tractament complementari com és el BFR.

4. OBJECTIUS

4.1. Objectiu general

- Realitzar una revisió bibliogràfica per conèixer la eficàcia del tractament de restricció del flux sanguini (BFR) després de la reconstrucció quirúrgica del lligament encreuat anterior del genoll (LCA).

4.2. Objectius específics

- Conèixer les característiques principals dels protocols i procediments de fisioteràpia emprats en el procés de rehabilitació del LCA intervingut.
- Conèixer les actuals línies d'investigació que fan referència al procés de rehabilitació en fisioteràpia del LCA intervingut.
- Conèixer les qualitats i defectes del tractament innovador de BFR.

5. METODOLOGIA

5.1. Definició de la pregunta d'interès

Per a dissenyar la estratègia de cerca bibliogràfica, primerament s'ha de definir una pregunta d'interès estructurada en el format PICO. Per poder conèixer i definir en detall i de forma concreta la població d'interès i context, la exposició o tractament d'interès i poder definir els resultats.

- Pregunta d'interès: ¿És efectiu el tractament oclusiu (BFRT) després d'una reconstrucció de LCA per hipertrofiar la musculatura afectada?
- P (pacient o població objectiu): persones operades de reconstrucció de LCA.
- I (intervenció): Entrenament d'oclusió sanguínia (BFRT) com a teràpia complementària a la rehabilitació tradicional.
- C (comparació): rehabilitació tradicional sense BFRT.
- O (resultats, outcomes): Eficàcia en el augment de to i força muscular de la musculatura afectada en lesions de LCA.

La hipòtesis d'aquest treball és que seguir un programa d'entrenament de restricció del flux sanguini (BFRT) després de la lesió del lligament encreuat anterior és efectiu i ajuda a reduir la atrofia muscular.

5.2. Metodologia aplicada

Aquest treball de fi de grau consisteix en una revisió sistemàtica de la bibliografia, un estudi detallat per examinar i analitzar aquesta bibliografia que tracta sobre l'entrenament de restricció del flux sanguini que s'aplica per a la lesió de lligament encreuat anterior en esportistes.

S'ha realitzat una cerca bibliogràfica a diferents bases de dades: Pubmed i PEDro. Revisant la diferent literatura existent que tractés sobre el protocol del tractament d'oclusió per a la lesió del lligament creuat del genoll.

Les paraules clau que s'han fet servir per fer aquesta cerca van ser les següents: "Anterior cruciate ligament", "ACL", "anterior cruciate ligament reconstruction", "anterior cruciate ligament rehabilitation", "blood flow restriction", "BFR", "blood flow restriction training", "strength". A més, es va utilitzar el llenguatge de termes MeSH. Els termes utilitzats van ser combinats a través dels operadors AND i OR. Per acabar de definir els articles amb què es va realitzar la revisió de la literatura es van definir els criteris d'inclusió i d'exclusió següents:

5.2.1. Criteris d'inclusió

- Estudis realitzats a pacients sotmesos a reconstrucció de LCA
- Estudis que comparen l'entrenament BFR amb l'atenció estàndard
- Estudis limitats a humans
- Estudis publicats en anglès o espanyol
- Estudis que fossin Randomized Controlled Trial o Clinical Trial
- Limitat a les dates de publicació 2000-2023
- Obtenir un resultat ≥ 5 en l'escala PEDro

5.2.2. Criteris d'exclusió

- Estudis amb participants que tenien altres patologies del genoll a més de l'ACL
- Estudis científics que fossin revisions bibliogràfiques, revisions narratives, retrospectives, estudis de cohorts, estudis de casos
- Estudis no realitzats en humans
- Obtenir un resultat < 5 en l'escala PEDro

5.3. Estratègia de cerca

5.3.1. Cerca a PubMed

Es realitza la cerca a la base de dades usant els termes següents: (*anterior cruciate ligament [MeSH Terms] OR anterior cruciate ligament reconstruction [MeSH Terms] OR acl*) AND (*bfr OR blood flow restriction OR blood flow restriction training*) AND (*strength [MeSH Terms]*).

Es va fer la cerca combinant diferents termes MeSH amb termes de paraules clau. Aquests es van combinar a través dels operadors AND i OR. Es va obtenir un resultat de 14 articles.

Per acabar de determinar els articles d'interès, a més, se li va aplicar el filtre de: clinical trial i el de randomized clinical trial. Amb aquest filtre, la cerca es va limitar a 2 resultats d'interès.

5.3.2. Cerca a PEDro

La cerca a la base de dades es realitza amb els següents termes: *anterior cruciate ligament AND blood flow restriction*. S'obtenen un total de 15 resultats, 7 dels quals són exclosos per tractar-se de revisions sistemàtiques.

Per tant, mitjançant aquesta cerca, obtenim un resultat de 8 articles d'interès.

5.4. Valoració metodològica

L'escala de dades PEDro s'ha fet servir per avaluar la qualitat de la metodologia dels estudis inclosos en aquesta revisió. És una escala de valoració consistent d'11 ítems en què els punts només s'atorguen quan el criteri es compleix clarament. Si després d'una lectura exhaustiva de l'estudi no es compleix algun criteri, no caldria atorgar la puntuació per a aquest criteri.

Aquesta escala s'ha escollit per a la valoració metodològica pel fet que és una escala vàlida i fiable per qualificar la qualitat dels assaigs aleatoritzats, tipus d'articles que són d'interès per a la nostra revisió.

Per fer aquest estudi s'ha inclòs com a criteri d'inclusió obtenir un resultat igual o superior a 5 en aquesta escala. Un resultat inferior ha suposat l'exclusió d'aquest article per a la realització de la revisió bibliogràfica

5.5. Descripció de les variables principals

La variable dependent que analitzem en aquesta revisió són els pacients, lesionats amb reconstrucció de LCA, tant homes com dones de qualsevol edat.

D'altra banda, les variables independents que ens trobem en els diferents estudis són les valoracions mesurades per a la lesió del lligament encreuat anterior: la força muscular, la morfologia, la fisiologia i la biomecànica del genoll. (Particularment, del quàdriceps)

6. RESULTATS

6.1. Registres identificats en les bases de dades

A continuació, es mostra una taula amb totes les referències bibliogràfiques, en format Vancouver, de la literatura trobada a la cerca bibliogràfica:

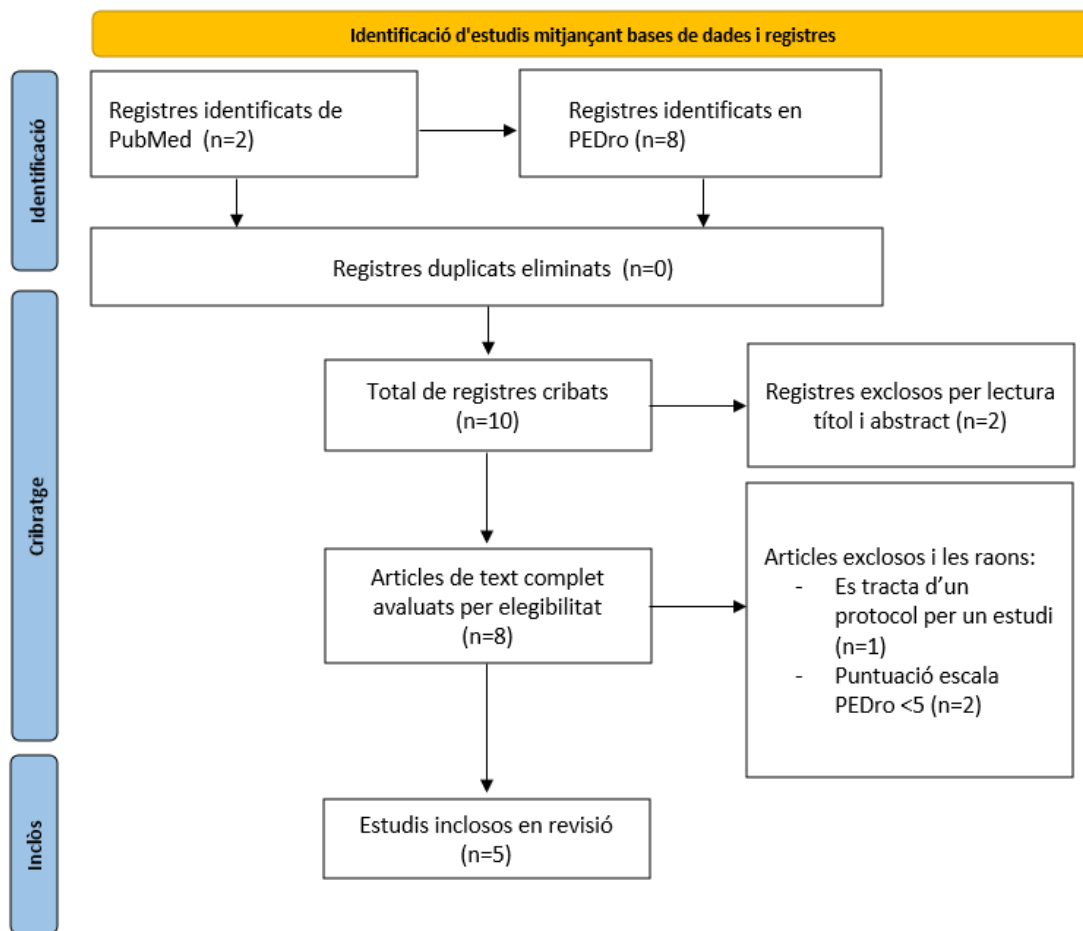
PubMed	Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of blood flow restriction training on quadriceps muscle strength, morphology, physiology, and knee biomechanics before and after anterior cruciate ligament reconstruction: Protocol for a randomized clinical trial. <i>Phys Ther</i> [Internet]. 2019
	Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, et al. Biomechanical effects of blood flow restriction training after ACL reconstruction. <i>Med Sci Sports Exerc</i> [Internet]. 2021
PEDro	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. <i>Acta Orthop Scand</i> [Internet]. 2003
	Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS de, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: A randomized controlled trial. <i>J Rehabil Med</i> [Internet]. 2022
	Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service randomised controlled trial. <i>Sports Med</i> [Internet]. 2019
	Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. <i>Am J Sports Med</i> [Internet]. 2020
	Tramer JS, Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, McGee A, Lau MJ, et al. Blood flow restriction therapy for 2 weeks prior to anterior cruciate ligament reconstruction did not impact quadriceps strength compared to standard therapy. <i>Arthroscopy</i> [Internet]. 2023
	Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, et al. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. <i>Phys Ther Sport</i> [Internet]. 2019
	Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. <i>J Sport Health Sci</i> [Internet]. 2016
	Jack RA 2nd, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood flow restriction therapy preserves lower extremity bone and muscle mass after ACL reconstruction. <i>Sports Health</i> [Internet]. 2022

Taula 3. Referències dels registres trobats

Després d'haver analitzat tots els articles trobats a la cerca bibliogràfica i haver passat els criteris d'inclusió i de exclusió, es defineix la literatura d'interès que serà inclosa en aquesta revisió.

Durant la cerca van ser trobats a les diferents bases de dades un total de 10 articles. Amb aquests s'han exclòs tots aquells articles que no complien els requisits definits. En el primer cribratge s'han exclòs 2 articles per la lectura del títol i abstract, ja que no resultaven d'interès per aquesta recerca. Finalment, després de la lectura de text complet, s'eliminen 3 - reduint així articles d'interès a 5 resultats, que són els utilitzats per a la revisió. A continuació, un diagrama de flux amb els passos seguits.

Diagrama de flux de PRISMA 2020 per a noves revisions sistemàtiques que inclouen recerques de només bases de dades i registres



Taula 4. Diagrama de flux (PRISMA)

6.2. Resultats de la valoració metodològica

S'ha passat l'Escala PEDro a 7 articles avaluats de text complet per així poder excloure aquells que no tinguessin una puntuació de ≥ 5 . Així doncs, s'han exclòs 2 articles amb puntuació 4 i 3 en l'escala.

Els criteris que utilitza aquesta escala són:

- 1- Els criteris d'elecció són especificats
- 2- Els subjectes van ser assignats a l'atzar als grups
- 3- L'assignació va ser oculta
- 4- Els grups van ser similars a l'inici en relació amb els indicadors de pronòstic més importants
- 5- Tots els subjectes van ser encegats
- 6- Tots els terapeutes que van administrar la teràpia van ser encegats
- 7- Tots els avaluadors que van mesurar almenys un resultat clau van ser encegats
- 8- Les mesures d'almenys un dels resultats clau van ser obtingudes de més del 85% dels subjectes inicialment assignats als grups
- 9- Es van presentar resultats de tots els subjectes que van rebre tractament o van ser assignats al grup control, o quan això no va poder ser, les dades per almenys un resultat clau van ser analitzades per "intenció de tractar"
- 10- Els resultats de comparacions estadístiques entre grups van ser informats per almenys un resultat clau
- 11- L'estudi proporciona mesures puntuals i de variabilitat per almenys un resultat clau

Article	criteri 1	criteri 2	criteri 3	criteri 4	criteri 5	criteri 6	criteri 7	criteri 8	criteri 9	criteri 10	criteri 11	Resultat
<i>Telfer et al., 2021 (18)</i>	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	4
<i>Ohta et al., 2003 (19)</i>	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	Si	Si	3
<i>Vieira de Melo et al., 2022 (20)</i>	No	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	6
<i>Hughes et al., 2019 (21)</i>	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	7
<i>Curran et al., 2020 (22)</i>	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	7
<i>Iversen et al., 2016 (23)</i>	No	Si	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	6
<i>Jack et al., 2022 (24)</i>	No	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	Si	5

Taula 5. Resultats Escala PEDro

6.3. Anàlisi dels resultats

En aquest apartat es pretén organitzar la informació destacable de cadascun dels articles inclosos a la revisió. A la taula es detalla: nom de l'article/autors i any, tipus d'estudi, població de l'estudi, intervenció realitzada, mesures, resultats i conclusions on es farà una valoració de l'article i de la informació que es recull.

Referències	Tipus d'estudi	Població de l'estudi	Intervenció	Mesures	Resultats	Conclusions
<i>Vieira de Melo et al., 2022 (20)</i>	Assaig clínic Controlat aleatoritzat, prospectiu, longitudinal, paral·lel, analític i experimental	El 50% (n=14) dels participants es va assignar al grup d'intervenció i el 50% restant (n=14) al grup control. L'estudi va incloure la participació de pacients postoperatoris, amb reconstrucció del lligament creuat anterior.	<p>Prensa de cames: amb un percentatge relatiu del seu 1RM (grup BFR: 1×30 reps i 3×15 reps, i control grup sense oclusió: 3×10 reps).</p> <p>Leg curl: cadascuna amb un percentatge relatiu del seu 1RM (grup BFR: 1×30 reps i 3×15 reps i grup control sense oclusió: 3×10 reps).</p> <p>Durant l'entrenament, 80% de la pressió total d'occlusió, seguint el protocol de guia recomanat i estudis previs. Grup control a 70%RM.</p> <p>Freqüència d'entrenament: 2vegades/setmana durant 12 setmanes.</p>	<p>Resultat principal: força muscular mitjançant un dinamòmetre isomètric el primer dia d'avaluació i l'últim dia d'entrenament de la 4a, 8a i 12a setmanes.</p> <p>Els resultats secundaris van ser analitzar la funció física del genoll mitjançant els qüestionaris Lysholm, International Knee Documentation Committee (IKDC) i Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS).</p> <p>Tots els qüestionaris van ser emplenats pel pacient per tal de reduir el biaix de l'aplicació el primer dia d'avaluació i es van repetir l'últim dia de formació de la 4a, 8a i 12a setmana.</p>	Diferència estadística en els quàdriceps amb un augment de la força muscular ($p<0,01$) després de 12 setmanes i un augment de la força muscular dels isquiotibials ($p<0,01$) després de 8 i 12 setmanes en els lesionats del grup BFR en comparació amb el control. En l'anàlisi de la funció física dels participants, hi va haver una diferència significativa d'augment en el qüestionari de Lysholm ($p<0,01$) després de 8 i 12 setmanes; en el qüestionari de dolor KOOS ($p<0,01$) després de 4 setmanes es va observar una disminució; els símptomes i activitats diàries ($p<0,01$) després de 8 i 12 setmanes, qualitat de vida ($p<0,01$) després de 12 setmanes, i en el qüestionari IKDC ($p<0,01$) després de 8 i 12 setmanes hi va haver un augment significatiu del grup BFR en comparació amb el control.	Després de la cirurgia del lligament creuat anterior, els exercicis amb restricció del flux sanguini van resultar més eficients per millorar la força muscular del quàdriceps i els isquiotibials, i la funció física del genoll que els mateixos exercicis sense restricció del flux sanguini.

<p><i>Hughes et al., 2019</i> (21)</p>	<p>Assaig clínic aleatoritzat, de grups paral·lels, amb un únic assessor</p>	<p>28 pacients programats per a una cirurgia ACLR unilateral amb autoempelt d'isquiotibial, aleatoritzats a HL-RT amb un màxim de repetició del 70% (1RM) (n = 14) o BFR-RT (n = 14) al 30% 1RM.</p>	<p>8 setmanes d'entrenament de premsa unilateral de cames quinzenals a ambdues extremitats, amb un total de 16 sessions, juntament amb la rehabilitació hospitalària estàndard. Els protocols d'exercicis de resistència es van dissenyar de manera coherent amb els protocols estàndard recomanats per a cada tipus d'exercici.</p>	<p>Es van avaluar la força isotònica màxima escalada (10RM), la morfologia muscular del vast lateral de l'extremitat lesionada, la funció autoinformada, el rendiment de la prova d'equilibri Y i el dolor de l'articulació del genoll, l'efusió i l'amplitud de moviment (ROM) abans de la cirurgia, durant l'entrenament i post-entrenament. La laxitud de l'articulació del genoll i l'extensió isocinètica màxima del genoll i la força de flexió a 60°/s, 150°/s i 300°/s es van mesurar abans de la cirurgia i després de l'entrenament.</p>	<p>No hi va haver esdeveniments adversos ni diferències entre grups per a cap variable antropomètrica inicial ni canvi abans i després de la cirurgia en cap mesura de resultat. La força escalada de 10RM va augmentar significativament a l'extremitat lesionada (104 ± 30% i 106 ± 43%) amb BFR-RT i HL-RT, respectivament, sense diferències. Amb BFR-RT es va observar una atenuació significativament més gran de la pèrdua de parell màxim de l'extensor del genoll a 150 °/s i 300 °/s i una pèrdua de parell del flexor del genoll a totes les velocitats. No es van trobar diferències de grup en la pèrdua de parell màxim de l'extensor del genoll a 60 °/s. Es van observar augments significatius i comparables del gruix muscular (5,8 ± 0,2% i 6,7 ± 0,3%) i de l'angle de pennació (4,1 ± 0,3% i 3,4 ± 0,1%) amb BFR-RT i HL-RT, respectivament, sense diferències de grup. No es van observar canvis significatius en la longitud del fascicle.</p>	<p>BFR-RT pot millorar la hipertròfia i la força del múscul esquelètic en una mesura similar a la HL-RT amb una major reducció del dolor i efusió de l'articulació del genoll, donant lloc a millores generals més grans en la funció física. Per tant, el BFR-RT pot ser més adequat per a la rehabilitació primerenca en poblacions de pacients amb ACLR dins del Servei Nacional de Salut.</p>
--	--	--	--	--	---	---

					Augments significativament més grans i clínicament importants en diverses mesures de la funció autoinformada (50–218 ± 48% vs. 35–152 ± 56%), rendiment de l'equilibri Y (18–59 ± 22% vs. 18–33 ± 19%), ROM (78 ± 22% vs. 48 ± 13%) i reduccions del dolor articular del genoll (67 ± 15% vs. 39 ± 12%) i vessament (6 ± 2% vs. 2 ± 2%) BFR-RT en comparació amb HL-RT, respectivament.	
<i>Curran et al., 2020</i> (22)	Assaig clínic aleatoritzat	Un total de 34 pacients (19 dones, 15 homes; edat mitjana, 16,5±2,7 anys; alçada mitjana, 169,0±19,7 cm; pes mitjà, 73,2±17,7 kg) programats per sotmetre's a ACLR es van assignar	El component d'exercici de la intervenció va consistir en pacients que realitzaven una premsa isocinètica de cames d'una cama, a una intensitat del 70% del màxim d'1 repetició dels pacients durant l'acció concèntrica o excèntrica, durant 4 sèries de 10 repeticions 2 vegades per setmana. durant 8 setmanes a partir de les 10 setmanes postoperatòries. Els pacients aleatoritzats als	Es van avaluar el parell màxim del quàdriceps isomètric i isocinètic (60°/s), l'activació del múscul quàdriceps i el volum del múscul recte femoral abans de l'ACLR, després de la BFRT i en el moment en què els pacients van tornar a l'activitat i es van convertir al canvi en els valors des de la línia de base per anàlisi. A més, es van utilitzar	No es van trobar diferències significatives entre grups per a cap mesura de resultat en cap moment (P>0,05).	Un BFRT de 8 setmanes més una intervenció d'exercici d'alta intensitat no va millorar significativament la força, l'activació o el volum del múscul quàdriceps. Sobre la base de les nostres troballes, l'ús de BFRT juntament amb exercici de resistència d'alta

		aleatòriament a 1 de 4 grups: concèntric (n=8), excèntric (n=8), concèntric amb BFRT (n=9) i excèntric amb BFRT (n=9).	grups BFRT van realitzar l'exercici de premsa de cames amb un puny aplicat a la cuixa, ajustat a una pressió d'oclusió de les extremitats del 80%	anàlisis unidireccionals de covariància per comparar el canvi de valors de cada variable dependent entre grups després de la BFRT i al retorn a l'activitat ($P \leq 0.05$).		intensitat en pacients sotmesos a ACLR per millorar la funció del múscul quàdriceps pot no estar justificat.
<i>Iversen et al., 2016</i> (23)	Assaig clínic aleatoritzat	Es van incloure a l'estudi un total de 24 pacients planificats per a cirurgia de reconstrucció de l'LCA. Físicament actius d'entre 18-40 anys, sense lesions prèvies de genoll, amb lesió de l'LCA i reconstrucció mitjançant tendó isquiotibial van ser elegibles per	A partir del segon dia després de la cirurgia, el grup d'oclusió va rebre un estímul d'oclusió durant 5 min, i l'eliminació de la pressió oclusiva durant 3 min, x5 en una sessió d'entrenament, x2 al dia. Durant el període d'estímul oclusiu, els subjectes van fer 20 exercicis de baixa càrrega per als quàdriceps (contraccions isomètriques, progressant a l'extensió de la cama sobre un gir de genolls i elevacions de cames rectes) sumant fins	Els canvis a l'àrea de la secció transversal anatòmica (ACSA) del quàdriceps es van mesurar utilitzant imatges de ressonància magnètica (RM) axial al 40% i al 50% de la longitud del fèmur.	Tots dos grups van tenir una reducció significativa de l'ACSA del quàdriceps des de 2 dies abans de la cirurgia fins a 16 dies després de la cirurgia. Durant el període d'intervenció, el grup d'oclusió va perdre $13,8\% \pm 1,1\%$ (mitjana \pm SEM) i el grup de control va perdre $13,1\% \pm 1,0\%$ dels seus quàdriceps ACSA, respectivament. No hi va haver cap diferència significativa entre els grups d'oclusió i control respecte a l'atròfia dels músculs quàdriceps.	En conflicte amb altres estudis que van fer servir un protocol similar, l'aplicació de restricció del flux sanguini els primers 14 dies després de la reconstrucció de l'LCA no va reduir l'atròfia del múscul quàdriceps ACSA mesurada per RM en una població d'atletes.

		<p>participar a l'estudi. Dotze pacients (7 homes, 5 dones) van ser assignats a l'atzar a restricció del flux sanguini intermitent i exercicis (grup d'oclusió), i 12 pacients (7 homes, 5 dones) van ser assignats a l'atzar només a exercicis (grup control).</p>	<p>a 100 repeticions per sessió d'entrenament, i 200 repeticions per dia. El grup de control va seguir el mateix règim d'exercici, però sense l'estímul d'oclusió.</p>			
--	--	---	--	--	--	--

<p>Jack et al., 2022 (24)</p>	<p>Assaig clínic controlat aleatoritzat</p>	<p>Un total de 32 pacients sotmesos a ACLR amb autoempelt de tendó rotulià van ser aleatoritzats en 2 grups (CONTROL: N=15 [home=7, dona=8; edat=24,1±7,2 anys; índex de massa corporal [IMC]=26,9±5,3 kg/m²] i BFR: N=17 [home=12, dona=5; edat=28,1±7,4 anys; IMC=25,2±2,8 kg/m²])</p>	<p>12 setmanes de rehabilitació postquirúrgica amb un seguiment mitjà de 2,3±1,0 anys. Tots dos grups van realitzar el mateix protocol de rehabilitació. Durant exercicis seleccionats, el grup BFR es va exercitar amb una oclusió arterial del 80% de l'extremitat postoperatòria (sistema de torniquet Delfi).</p>	<p>La DMO, la massa òssia i el LM es van mesurar mitjançant DEXA (iDXA, GE) abans de la cirurgia, a la setmana 6 i, a la setmana 12 de rehabilitació. Les mesures funcionals es van registrar a la setmana 8 i la setmana 12. El retorn a l'esport (RTS) es va definir com el punt de temps en què es va passar la prova funcional objectiva específica d'ACLR a la fisioteràpia. Es va utilitzar una anàlisi de covariància de grup per temps seguit d'una prova post hoc de Tukey per detectar canvis dins i entre grups. error tipus I; $\alpha=0,05$</p>	<p>En comparació amb el preoperatori, només el grup control va experimentar disminucions en LE-LM a la setmana 6 (-0,61±0,19 kg, -6,64±1,86%; P<0,01) i la setmana 12 (-0,39±0,15 kg, -4,67±1,58%; P=0,01) de rehabilitació. La massa òssia de l'OI va disminuir només al grup control la setmana 6 (-12,87±3,02 g, -2,11±0,47%; P<0,01) i la setmana 12 (-16,95±4,32 g, -2,58±0,64%, P<0,01). En general, la pèrdua de DMO va ser més gran en el grup control (P<0,05). Només el grup control va experimentar reduccions en tibia proximal (-8,00±1,10%; P<0,01) i peroné proximal (-15,0±2,50%, P<0,01) a la setmana 12 en comparació de les mesures preoperatories. Les mesures funcionals van ser semblants entre els grups. El temps de RTS es va reduir al grup BFR (6,4±0,3 mesos) en comparació del grup CONTROL (8,3±0,5 mesos; P=0,01).</p>	<p>Després d'ACLR, BFR pot disminuir la pèrdua de massa muscular i òssia fins a 12 setmanes després de l'operació i pot millorar el temps a la RTS amb resultats funcionals comparables amb els de la rehabilitació estàndard.</p>
-------------------------------	---	--	---	---	---	--

Taula 6. Anàlisis dels resultats

7. DISCUSSIÓ

En aquesta revisió sistemàtica, analitzem l'evidència actual sobre els efectes del BFR com a tractament després de la reconstrucció del LCA sobre la atròfia muscular del quàdriceps i comparem diferents paràmetres d'aplicació.

En subjectes amb trencament de LCA, se sap que es produeix una reducció de la força i una atròfia muscular generalitzada al quàdriceps (25). Fins i tot després d'una reconstrucció d'aquest lligament, es necessiten entre uns 4 i 6 mesos perquè el lligament reconstruït maduri i sigui capaç de suportar càrrega. Durant aquest període, pot produir-se una elongació o trencament del lligament reconstruït, per això que no es pot utilitzar un programa de fisioteràpia amb càrregues altes de pes (26).

En aquest treball trobem tres estudis amb conclusions similars, mostrant el benefici que aporta l'ús de BFRT en la rehabilitació d'una reconstrucció de LCA: Vieira de Melo et al., troben que després de la cirurgia del lligament creuat anterior, els exercicis amb restricció del flux sanguini resulten més eficients per millorar la força muscular del quàdriceps i els isquiotibials, i la funció física del genoll que els mateixos exercicis sense restricció del flux sanguini. Seguidament, Hughes et al., expliquen que BFR-RT pot millorar la hipertròfia i la força del múscul en una mesura similar a la HL-RT amb una major reducció del dolor i efusió de l'articulació del genoll, donant lloc a millores generals més grans en la funció física. Per tant, el BFR-RT pot ser més adequat per a la rehabilitació primerenca en poblacions de pacients amb ACLR. I també, Jack et al., en el seu estudi mencionen que després d'ACLR, BFR pot disminuir la pèrdua de massa muscular i òssia fins a 12 setmanes després de l'operació i pot millorar el temps a la RTS amb resultats funcionals comparables amb els de la rehabilitació estàndard.

Pel que fa als principals mecanismes que es pensa que són responsables dels efectes de l'entrenament d'oclusió en el creixement muscular, s'inclouen l'acumulació metabòlica, que estimula un augment posterior dels factors de creixement anabòlics, així com el reclutament de fibres musculars de contracció ràpida (FT) (27). A més, s'ha comprovat que les proteïnes de xoc tèrmic, com l'òxid nítric sintasa1 i la miostatina, es veuen afectades per l'oclusió. (28)

D'altra banda, Curran et al., comenten que no es van trobar diferències significatives entre grups (BFR i control) per a cap mesura de resultat en cap moment ($P > 0,05$) i que l'ús de BFRT juntament amb exercici de resistència d'alta intensitat en pacients sotmesos a ACLR per millorar la funció del múscul quàdriceps pot no estar justificat. Així doncs, Iversen et al., recolzen aquesta idea en el seu estudi dient que l'aplicació de restricció del flux sanguini els primers 14 dies després de la reconstrucció de l'LCA no va reduir l'atròfia del múscul quàdriceps segons l'ACSA mesurada per RM en una població d'atletes.

Abans de considerar la utilització generalitzada del tractament amb BFR, és fonamental que se n'estableixin adequadament tant la seguretat com l'eficàcia. Diversos estudis, com els realitzats per Loenneke et al. (28) o Cirilo-Sousa et al. (29), proporcionen equacions predictives precises per calcular la pressió arterial d'oclusió de forma indirecta, tenint en compte paràmetres com la pressió sanguínia sistòlica i diastòlica, la circumferència de la cuixa, l'edat i la longitud del maniguet d'oclusió. També és possible fer el càlcul de manera directa mitjançant l'ús d'un estudi Doppler. Un cop s'ha col·locat el maneguet d'oclusió, es pot col·locar el Doppler al pols pedi, i quan no es detecta el pols auscultatori ni el flux sanguini, es considera que s'ha assolit el punt òptim d'oclusió arterial. (30)

Per tant, pel que fa als protocols d'ús de BFR, se suggereix que la millor opció consisteix a sotmetre's a aquest tractament 2-3 dies per setmana amb una càrrega que oscil·li entre el 20% i el 40% de la repetició màxima (1 RM), realitzant un màxim de 75 repeticions dividides en 4 sèries. La primera sèrie haurà d'incloure 30 repeticions, mentre que les 3 sèries següents han de constar de 15 repeticions cadascuna (30x15x15x15). És recomanable que la pressió d'inflat estigui entre el 40-80% de la pressió arterial d'oclusió (PAO). (31)

Llavors, tot i que diversos estudis han trobat possibles beneficis en la hipertrofia muscular en pacients sotmesos a BFR durant el període perioperatori d'una reconstrucció del LCA, mitjançant un protocol d'oclusió amb exercicis de baixa intensitat que actua sobre l'atrofia muscular a través de diferents mecanismes (32), són necessàries futures investigacions per demostrar la seva eficàcia. A més, la recerca darrere d'aquests mecanismes està incompleta i requereix una investigació més profunda, en particular per identificar el metabòlit responsable de l'augment de l'hormona de creixement (GH) en l'oclusió i determinar quins mecanismes estan més relacionats amb la hipertrofia i els canvis anti-catabòlics observats amb el BFR (33).

8. CONCLUSIONS

Després de revisar la literatura disponible, s'han arribat a les conclusions següents:

- L'ús de BFR en combinació amb exercicis de càrregues lleugeres és més beneficiós que l'ús de càrregues pesades amb oclusió o sense.
- BFR ajuda a reduir el dolor articular durant i després de l'entrenament amb càrregues lleugeres en pacients que han tingut una intervenció de LCA.
- L'aplicació de BFR al tractament rehabilitador després de la reconstrucció del LCA produeix un augment de la força comparable a altres mètodes amb una menor càrrega de treball.
- La massa muscular augmenta de manera similar amb l'ús de BFR i amb càrregues més pesades en la rehabilitació després de la cirurgia reconstructiva de LCA.
- L'esforç percebut durant l'ús de BFR amb càrregues lleugeres és comparable al de càrregues pesades.
- La funció física millora significativament durant l'entrenament rehabilitador després de la intervenció de LCA amb l'aplicació de BFR i càrregues lleugeres.

Els protocols de restricció de flux sanguini amb càrregues de baixa intensitat el converteixen en una eina possiblement eficaç per disminuir la pèrdua o decrement de la massa muscular del quàdriceps a fases primerenques després d'un trencament del lligament creuat anterior evitant així el desacondicionament.

9. IMPLICACIÓ A LA PRÀCTICA PROFESSIONAL I LÍNIES DE FUTUR

D'acord amb l'anàlisi dels resultats, sembla que la millor opció per tractar l'atròfia muscular després d'un trencament del LCA és la combinació d'exercici actiu amb BFR. Utilitzar BFR durant el període perioperatori pot ajudar a tractar l'atròfia muscular per desús que és comú en aquest tipus de lesions. No obstant això, és important individualitzar el protocol d'actuació per a cada pacient i aplicar la pressió òptima segons els paràmetres de la PAO.

Malgrat l'anàlisi realitzada, aquesta revisió té limitacions importants, com ara la falta d'estudis clínics controlats aleatoritzats disponibles. L'evidència actual és escassa i heterogènia, possiblement degut a la novetat de la tècnica, la qual cosa podria afectar els resultats. Per superar aquestes limitacions, són necessàries futures investigacions amb protocols estandarditzats, seguiment a llarg termini i mides de mostra més sòlides per arribar a conclusions definitives.

És important assenyalar que cal una major quantitat d'estudis que analitzin els efectes de BFR en lesions de l'LCA, de preferència assaigs controlats aleatoris amb una mida mostral més gran i homogeneïtat quant a les variables estudiades, els paràmetres emprats i el temps d'intervenció.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Sánchez-Alepuz E, Miranda I, Miranda FJ. Evaluación funcional de los pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior. Estudio analítico transversal. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed)* [Internet]. 2020 [citado 12 de febrero de 2023];64(2):99-107. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7256333>
2. Albert Pons F. ROTURA DEL LIGAMENTO ANTERIOR EN DEPORTE. ROTURA DEL LIGAMENTO ANTERIOR EN DEPORTE [Internet]. 2019 [cited 2023 Feb 17];100(100):1–100. Disponible en: <https://www.npunto.es/revista/10/rotura-del-ligamento-anterior-en-deporte>
3. Reconstrucción del ligamento cruzado anterior [Internet]. *Fundacionmapfre.org*. [cited 2023 Feb 17]. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/175994.do>
4. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2000 [cited 2023 Feb 17];32(8):1472–9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10949014/>
5. Wall BT, Dirks ML, Snijders T, Senden JMG, Dolmans J, van Loon LJC. Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. *Acta Physiol (Oxf)* [Internet]. 2014 [cited 2023 Feb 17];210(3):600–11. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24168489/>
6. Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps muscle size following ACL injury and reconstruction: A systematic review. *J Orthop Res* [Internet]. 2020 [cited 2023 Feb 17];38(3):598–608. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31608490/>
7. Campbell EL, Seynnes OR, Bottinelli R, McPhee JS, Atherton PJ, Jones DA, et al. Skeletal muscle adaptations to physical inactivity and subsequent retraining in young men. *Biogerontology* [Internet]. 2013 [cited 2023 Feb 17];14(3):247–59. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23666342/>
8. Gerber JP, Marcus RL, Leland ED, Lastayo PC. The use of eccentrically biased resistance exercise to mitigate muscle impairments following anterior cruciate ligament reconstruction: a short review. *Sports Health* [Internet]. 2009 [cited 2023 Feb 17];1(1):31–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1941738108327531>
9. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of blood flow restriction training on quadriceps muscle strength, morphology, physiology, and knee biomechanics before and after anterior cruciate ligament reconstruction: Protocol for a

- randomized clinical trial. *Phys Ther* [Internet]. 2019 [citado 12 de febrero de 2023];99(8):1010-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30951598/>
10. Doménech Ratto G, Moreno Cascales M, Fernández-Villacañas Marín MA, Capel Alemán A, Doménech Asensi y. P. Anatomía y biomecánica de la articulación de la rodilla [Internet]. *Fisiopataletas.es*. [citado 12 de febrero de 2023]. Disponible en: <http://www.fisiopataletas.es/site/images/articulos/pdfs/rodilla.pdf>
 11. Bergé Ortíz C. Análisis de los protocolos de rehabilitación pre y post-cirugía del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla. Revisión bibliográfica. 2014. [citado 12 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://repositori.udl.cat/items/5d782e5c-8636-4f63-a1af-ee34aabc3ea1>
 12. Álvarez R, Gómez G, Pastrana AP. Actualización bibliográfica del mecanismo de lesión sin contacto del LCA [Internet]. *Org.ar*. [citado 12 de febrero de 2023]. Disponible en: https://revista.aatd.org.ar/wp-content/uploads/2019/02/actualizacion_bibliografica.pdf
 13. Wilk KE, Macrina LC, Cain EL, Dugas JR, Andrews JR. Recent advances in the rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2012 [citado 12 de febrero de 2023];42(3):153-71. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22382825/>
 14. García JG, Chávez D, Vargas A, del Pilar Díez M, Ruiz T. Valoración funcional en pacientes postoperados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2005 [citado 2 de marzo de 2023];19(2):67-74. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=1693>
 15. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, et al. Blood flow restriction training. *J Athl Train* [Internet]. 2021 [citado 23 de marzo de 2023];56(9):937-44. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34530434/>
 16. Guerrero-Molina JA, Espregueira-Mendes J. Retorno al deporte tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. *Rev Esp Artroc Cir Articul* [Internet]. 2020 [citado 23 de marzo de 2023];(Vol. 27. Fasc. 3. Núm. 69. Septiembre 2020):251. Disponible en: <https://fondoscience.com/reaca/vol27-fasc3-num69/fs1906029-retorno-deporte-reconstruccion-lca>
 17. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of blood flow restriction training on quadriceps muscle strength, morphology, physiology, and knee biomechanics before and after anterior cruciate ligament reconstruction: Protocol for a randomized clinical trial. *Phys Ther* [Internet]. 2019 [citado 23 de marzo de 2023]; 99(8):1010-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30951598/>

18. Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, et al. Biomechanical effects of blood flow restriction training after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2021 [citado 6 de abril de 2023];53(1):115-23. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32694365/>
19. 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* [Internet]. 2003 [citado 23 de marzo de 2023];74(1):62-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12635796/>
20. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS de, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med* [Internet]. 2022 [citado 23 de marzo de 2023];54:jrm00337. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36190389/>
21. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service randomised controlled trial. *Sports Med* [Internet]. 2019 [citado 23 de marzo de 2023];49(11):1787-805. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31301034/>
22. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *Am J Sports Med* [Internet]. 2020 [citado 23 de marzo de 2023];48(4):825-37. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32167837/>
23. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci* [Internet]. 2016 [citado 23 de marzo de 2023];5(1):115-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30356481/>
24. Jack RA 2nd, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood flow restriction therapy preserves lower extremity bone and muscle mass after ACL reconstruction. *Sports Health* [Internet]. 2023 [citado 23 de marzo de 2023];15(3):361-71. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35762124/>
25. Tegner Y, Lysholm J, Gillquist J, Oberg B. Two-year follow-up of conservative treatment of knee ligament injuries. *Acta Orthop Scand* [Internet]. 1984 [citado 24 de abril de 2023];55(2):176-80. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6711284/>

26. Yasuda K, Sasaki T, Shirado O, Yagi T, Monji J. Muscle exercise after the anterior cruciate ligament reconstruction of the knee--Part I: The force given to the anterior cruciate ligament by separate isometric contraction of the quadriceps or the hamstrings. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi* [Internet]. 1985 [citado 24 de abril de 2023];59(12):1041-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3834015/>
27. Pierce JR, Clark BC, Ploutz-Snyder LL, Kanaley JA. Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *J Appl Physiol* [Internet]. 2006 [citado 28 de abril de 2023];101(6):1588-95. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16888046/>
28. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med* [Internet]. 2010 [citado 28 de abril de 2023];31(1):1-4. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19885776/>
29. Cirilo-Sousa M do S, Lemos JB, Poderoso R, Araújo RCT de, Aniceto RR, Pereira PMG, et al. Predictive equation for blood flow restriction training. *Rev Brasil Med Esporte* [Internet]. 2019 [citado 28 de abril de 2023];25(6):494-7. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbme/a/6hZ96gNXRHsy3XLFV9hRL5h/?lang=en>
30. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2016 [citado 28 de abril de 2023];19(8):669-75. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26463594/>
31. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol* [Internet]. 2019 [citado 28 de abril de 2023];10:533. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31156448/>
32. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol* [Internet]. 2010 [citado 30 de abril de 2023];108(5):1199-209. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20150565/>
33. Lepley LK, Davi SM, Burland JP, Lepley AS. Muscle atrophy after ACL injury: Implications for clinical practice. *Sports Health* [Internet]. 2020 [citado 30 de abril de 2023];12(6):579-86. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32866081/>
34. ¿Qué es el entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo? [Internet]. *Kine. Kinedyf*; 2020 [citado 11 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.kinedyf.com.ar/kinesiologia-deportiva/que-es-el-entrenamiento-con-restriccion-del-flujo-sanguineo/>