

**“IMPACTE DE L'ENTRENAMENT AMB
RESTRICCIÓ DEL FLUX SANGUINI
(BFR) I AJUDES ERGOGÈNIQUES EN
LA HIPERTRÒFIA DE LA CUIXA EN
ESPORTISTES JOVES AMATEURS AMB
UN TRENCAMENT DEL LLIGAMENT
CREUAT ANTERIOR (LCA)”**

Treball Final de Grau (TFG)

Francesc CLOTET JORGE

4t Curs en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport (CAFE)

Any acadèmic: 2020-2021

Treball Final de Grau

Tutora: Anna Maria Puig Ribera

Universitat de Vic- Universitat Centrat de Catalunya (UVIC)

Facultat d'Educació, Traducció i Ciències Humanes (FETCH)

Vic, maig de 2021

Índex

Llistat de figures.....	4
Llistat de taules.....	4
Resum.....	5
Abstract.....	6
1. Introducció.....	7
2. Fonamentació teòrica.....	8
2.1 Pràctica d'esports federats a Espanya i Catalunya.....	8
2.2 Incidència de les lesions esportives a Espanya i Catalunya.....	8
2.3 Epidemiologia del Lligament Creuat Anterior (LCA).....	9
2.4 El Lligament Creuat Anterior (LCA).....	10
2.4.1 Funcions del Lligament Creuat Anterior (LCA).....	10
2.4.2 Mecanismes de ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA).....	10
2.4.3 Factors risc per una ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA).....	11
2.4.4 Diagnòstic en la ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA).....	13
2.4.5 Tractament quirúrgic.....	14
2.4.6 Procés de rehabilitació i readaptació de la lesió.....	15
2.5 Entrenament amb Restricció del flux sanguini (BFR) per aconseguir una hipertròfia de la cuixa.....	17
2.5.1 Origen i definició.....	17
2.5.2 Principals mecanismes d'acció en la hipertròfia muscular.....	18
2.5.3 Utilitat d'ús de la restricció del flux sanguini (BFR).....	18
2.5.4 L'ús de la restricció del flux sanguini (BFR) i Lligament Creuat Anterior (LCA).....	18
2.5.5 Aparells per l'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR).....	19
2.5.6 Protocol d'actuació per aconseguir una hipertròfia muscular a la cuixa.....	19
2.5.7 Precaucions d'ús.....	20
2.5.8 Possibles efectes secundaris.....	21
2.6 Ajudes ergogèniques per augmentar la hipertròfia de la cuixa.....	21
2.6.1 Introducció.....	21
2.6.2 Beta-Hidroxi-Beta-Methylbutyrate (HMB-Ca).....	22
2.6.3 Creatina Monohidrat.....	22
2.6.4 L-Glutamina.....	22
2.6.5 Bisglicinat de Magnesi.....	23
2.6.6 Vitamina D.....	23

2.7	Estudis publicats en diferents protocols sobre l'impacte en la hipertròfia de la cuixa en lesions de Lligament Creuat Anterior (LCA).....	24
2.7.1	Estudis científics amb un protocol de només una restricció del flux sanguini (BFR) en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)	24
2.7.2	Estudis científics amb un protocol de només ajudes ergogeniques en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)	26
2.7.3	Estudis científics amb un protocol que combini una restricció del flux sanguini (BFR) i les ajudes ergogèniques en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)	26
3.	Justificació, pregunta de recerca i hipòtesis.....	26
4.	Metodologia	27
4.1	Disseny de l'estudi.....	27
4.2	Mostra.....	28
4.3	Procediment de reclutament.....	29
4.4	Variables i instruments.....	30
4.5	Intervenció del programa d'exercici físic.....	31
4.6	Recollida i anàlisi de dades	32
5.	Resultats	32
5.1	Mostra de l'estudi.....	32
5.2	Impacte del programa d'exercici físic en els perímetres i plecs cutanis de les dues cuixes.....	33
5.3	Impacte del programa d'exercici físic en l'àrea de secció transversal (CSA) de les dues cuixes	36
5.4	Impacte del programa d'exercici físic en la millora de l'àrea de secció transversal (CSA) de les dues cuixes	37
6.	Discussió	39
7.	Conclusions	41
8.	Reflexions i/o valoració personal del procés d'elaboració del TFG	41
10.	Bibliografia	43
11.	Annex	50
11.1	Annex 1: Consentiment informat	50
11.2	Annex 2: Material utilitzat per les mesures antropomètriques.....	51
11.3	Annex 3: Mesures antropomètriques per la ISAK	53
11.4	Annex 4 : Aparell Mad-Up Pro per la restricció del flux sanguini	55
11.5	Annex 5 : Fitxa d'exercicis.....	56
11.6	Annex 6 : Producte AS&NL	59

Llistat de figures

Figura 1: La posició de no retorn.....	11
Figura 2: Model complet sobre les causes de lesió.....	12
Figura 3: Proves diagnòstiques per detectar possible lesió de LCA.....	14
Figura 4: Proposta en la rehabilitació i readaptació en pacients de cirurgia de LCA...	16
Figura 5: Tornada a l'esport.....	17
Figura 6: Protocol per a millorar la força muscular i la hipertròfia.....	20
Figura 7: Eina d'avaluació pel risc mèdic amb l'ús de BFR.....	20
Figura 8: Canvis en el CSA post-intervenció en tots els grups	38

Llistat de taules

Taula 1: Resum d'estudis sobre el BFR i les lesions de LCA.....	25
Taula 2: Criteris d'inclusió i exclusió.....	29
Taula 3: Mostra basal del grup en la pre-intervenció.....	33
Taula 4: Mesures antropomètriques pre i post-intervenció.....	35
Taula 5: Resultats finals mesures antropomètriques	36
Taula 6: Resultats del CSA en la pre i post-intervenció en tots els grups	37
Taula 7: Canvi en el CSA i post-intervenció en tots els grups	38

Resum

Introducció: En el camp de l'esport, i especialment en joves esportistes, el trencament del lligament creuat anterior (LCA) és una lesió molt prevalent i amb una tendència creixent en els últims anys. Davant les conseqüències que aquesta lesió provoca a nivell esportiu, econòmic, sanitari i personal, en aquest estudi s'ha volgut enfocar l'objectiu en el manteniment o augment del múscul de la cuixa afectada mitjançant la restricció del flux sanguini (BFR) i amb ajudes ergògeniques per tal d'influir en una major hipertròfia de la cuixa amb una intervenció de 4 setmanes de duració.

Metodologia: L'estudi consisteix en un experiment veritable amb pre-tractament i post-tractament de grups aleatoris. La mostra de l'estudi van ser 6 esportistes federats (n=6; 2 homes i 3 dones ; Edat = $20,2 \pm 2,57$ anys; Alçada = $1,69 \pm 0,06$ m; Pes = $65,3 \pm 2,55$ kg). que havien patit una ruptura del lligament creuat anterior (LCA) i una reconstrucció quirúrgica inferior als 3 mesos de la intervenció. Es van separar aleatòriament a 2 persones en cadascun dels 3 grups (grup control (n=2) ; grup BFR (n=2) ; grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2)) i van realitzar un protocol d'actuació pel guany muscular.

Resultats: Els resultats mostren un augment en l'àrea de secció transversal del múscul (CSA) de la cuixa lesionada en el grup control del 5,16%, un 8,74% en el grup BFR i un 11,17% en el grup BFR i ajudes ergogèniques.

Conclusions: La realització d'un programa d'entrenament de 4 setmanes en joves esportistes que han patit una reconstrucció de LCA, sembla veure's beneficiada si el pacient realitza un programa amb el mètode BFR i ajudes ergogèniques respecte mètodes més tradicionals. És requereixen més investigacions per tal de determinar amb més precisió i fiabilitat quin es el paper en la hipertròfia del mètode BFR i les ajudes ergogèniques en lesions de LCA.

Paraules clau: BFR, LCA, ajuda ergogènica, hipertròfia, cuixa

Abstract

Introduction: In the field of sports, and especially in young athletes, anterior cruciate ligament (ACL) rupture is a very prevalent injury with a growing trend in recent years. Given the consequences that this injury causes at a sporting, economic, health and personal level, in this study we wanted to focus the objective on the maintenance or increase of the affected thigh muscle by restricting blood flow (BFR) and with ergogenic aids to influence greater thigh hypertrophy with an intervention of 4 weeks duration.

Methodology: The study consists of a true experiment with pretreatment and post-treatment of randomized groups. The sample consisted of 6 federated athletes (n=6; 2 men and 3 women; Age = 20.2 ± 2.57 years; Height = 1.69 ± 0.06 m; Weight = 65.3 ± 2.55 kg) who had suffered an anterior cruciate ligament (ACL) rupture and underwent surgical reconstruction within 3 months of the intervention. Two persons were randomly separated in each of the 3 groups (control group (n=2); BFR group (n=2); BFR and ergogenic aids group (n=2)) and performed a protocol of action for muscle gain.

Results: The results show an increase in the muscle cross-sectional area (CSA) of the injured thigh in the control group of 5.16%, 8.74% in the BFR group and 11.17% in the BFR and ergogenic aids group.

Conclusions: The performance of a 4-week training program in young athletes who have undergone ACL reconstruction seems to benefit if the patient performs a program with the BFR method and ergogenic aids respecting more traditional methods. Further research is needed to determine more precisely and reliably the role of the BFR method and ergogenic aids in hypertrophy in ACL injuries.

Key words: BFR, ACL, ergogenic aid, hypertrophy, thigh

1. Introducció

El següent treball és un estudi per determinar l'impacte de l'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR) i ajudes ergogèniques en la hipertròfia de la cuixa en esportistes joves amateurs amb un trencament del lligament creuat anterior (LCA).

Hi hagut molts motius pels quals he escollit aquesta proposta sobre quin és l'impacte de l'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR) i de les ajudes ergogèniques en ruptures de Lligament Creuat Anterior (LCA) en pacients joves. Un dels motius, és perquè realitzaré les pràctiques extensives (Gener-Maig) en el 4t curs del grau de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport (CAFE) a la UVIC-UCC al centre R3 de Manresa, centre especialitzat en readaptació esportiva, per tant, era molt oportú aprofitar per fer les pràctiques i a la vegada el TFG. Un altre motiu es que jo he estat ex-jugador de Futbol des de ben petit fins fa pocs anys, al llarg dels anys he patit lesions, però la que em va marcar més va ser una ruptura parcial del Lligament Creuat Posterior (LCP), aquesta però, diferent a la ruptura del LCA que jo tractaré d'estudiar. Un altre motiu és que he patit problemes als genolls relacionats amb aquesta lesió que vaig patir, una lesió que afectava el tendó anomenada tendinitis patel·lar i que em causava molèsties. Davant aquest problema, vaig anar justament al centre R3 i vaig fer un programa que incloïa treball amb BFR, aquest em causava millores a nivell d'hipertròfia de la cuixa i m'alleugeria del dolor. Finalment doncs, vaig comprar-me un aparell per tal de poder-ho realitzar a casa meua i gaudir de totes les seves avantatges. Per acabar, al llarg de la meua trajectòria i actualment, consumeixo diferents ajudes ergo-gèniques com podria ser el monohidrat de creatina, glutamina, magnesi i vitamina D, justament uns suplement que la marca de suplementació AS & NL conté en el producte que administrarem a un grup aleatòriament.

Davant de tots aquestes inquietuds s'ha volgut iniciar aquesta investigació sorgida de la experiència viscuda, es vol comprovar si pot ajudar als pacients que han patit una lesió de LCA per tal d'afavorir la seva recuperació i millorar el seu rendiment respecte si fessin un tractament convencional.

Els objectius personals que es proposen amb la intervenció són:

- Comprendre el que diu la evidència científica a nivell teòric i aplicar-ho a nivell pràctic amb la meua intervenció
- Implementar un protocol d'entrenament del BFR amb les variables d'entrenament

- Comprovar si el BFR i/o la suplementació milloren els paràmetres d'hipertrofia respecte altres mètodes més convencionals

Per acabar, crec que la participació en una investigació com aquesta em pot apropar al món de la investigació i el treball en un entorn laboral, del qual he pogut aprendre de professionals referents en el sector que m'han guiat i m'han ajudat a elaborar un millor TFG.

2. Fonamentació teòrica

2.1 Pràctica d'esports federats a Espanya i Catalunya

Segons l'Anuario de estadísticas deportivas del Ministerio de Deporte y Cultura (2019), les llicències federatives han augmentat tant en homes com en dones, passant de 3.395 milers persones federades l'any 2008 a 3.867 l'any 2018. Cal remarcar que aquest increment ha sigut lleugerament major en el sector femení, mentre l'any 2009 comptava amb 684 mil dones llicenciades, l'any 2018, 889 mil; en canvi, l'evolució en el sexe masculí ha sigut de 2786 mil a 2978. També, és rellevant destacar el creixement que ha experimentat el percentatge relatiu als esports realitzats setmanalment en el sector dels joves, d'entre 15 i 24 anys, que ha passat de 57,9 % (2010) a 76,1% (2015).

L'esport que encapçala el major nombre de federats/des al 2018 és el futbol amb un 27,5% del total dels federats, seguidament pel basquetbol amb un 10%. Catalunya aporta el major nombre de federats en tot l'estat amb un 16,6% del total (643.460 federats), dels quals 159.141 estan federats en el futbol, l'esport més predominant amb molta diferència.

2.2 Incidència de les lesions esportives a Espanya i Catalunya

Segons Moreno (2002) el major percentatge de lesions esportives es situava entre les edats compreses de 16-20 anys (30,6% total dels casos), seguidament en les franges d'11-15 anys (26,9% total dels casos), i de 21-25 anys (19,9% total dels casos). El futbol (30,9% total dels casos), el basquetbol (22% total dels casos), el futbol sala (15,5% total dels casos) i l'atletisme (11,1% total dels casos) són els esports amb major nombre de lesions en percentatge (Moreno et al.,2008). Les lesions segons la regió anatòmica van ser més predominants les afectacions al genoll (24% total dels casos) i el turmell (22,3% total dels casos). Les lesions també es van distribuir segons el teixit que afectaven, les afectacions capsulo-lligamentoses van predominar (21,8% total dels casos) juntament amb les musculars (21,8% total dels casos).

Es va realitzar un estudi a la Mutualitat Catalana de Futbolistes (MCF) en que es va fer un anàlisi epidemiològic de 125.251 lesions durant 5 anys (2011-2016) en jugadors afiliats a la Federació Catalana de Futbol (FCF). El major nombre de lesions afectaven el genoll (17,57% del total de lesions) i com a lesió concreta del Lligament Creuat Anterior (LCA) afectava a 4.090 jugadors (3,26% del total de lesions en els 5 anys). Segons Pujals et al. (2016) el rati d'exposició a una lesió (entrenaments i competició) és de 4,1 lesions/1000 hores en una mostra de 297 atletes de 25 esports diferents.

Segons les Nacions Unides (1981), una persona jove es aquella en l'edat compresa entre 15 a 24 anys. Davant l'augment de fitxes federatives en l'esport i l'alta incidència en lesions que es presenta en aquest rang d'edat en esportistes federats, concretament en les lesions lligamentoses del genoll, l'estudi es centrarà en la ruptura del LCA degut a la afectació a curt i llarg termini d'haver patit aquesta lesió, les conseqüències d'aquesta lesió presenten incapacitats temporals i permanents amb costos directes i indirectes per als afectats, famílies i organismes públics (Griffin et al.,2006). Més concretament, a curt i llarg termini inclouen, debilitat muscular, menor participació esportiva, major risc d'una nova lesió de genoll ja que fins a un 30% dels joves pateix una segona lesió de LCA als 2 anys després de la cirurgia, i de patir osteoartritis de genoll (Grindem et al.,2016)

2.3 Epidemiologia del Lligament Creuat Anterior (LCA)

Segons la Asociación Española de Artroscopia (2001), es calcula que a Espanya l'any 2001 es van realitzar 16.821 plàsties per la reconstrucció del Lligament Creuat Anterior (LCA), el que equivaldria a una prevalença de 4 casos per cada 1000 habitants a l'any, per tant, 1 de cada 5 artroscòpies realitzades a Espanya van tenir l'objectiu la reconstrucció de LCA.

S'estima que aproximadament uns 250.000 ruptures de LCA succeeixen anualment als EUA. A més, unes 120.000 persones es sotmeten a una reconstrucció del lligament anualment als EUA (Sepúlveda et al., 2017). Les dones tenen de 2 fins a 8 cops més opcions de patir una lesió de LCA que els homes (van Melick et al.,2016).

El 41% d'aquestes lesions prové de mecanismes sense contacte i el 58,8% de mecanismes amb contacte. Els costos quirúrgics de les reconstruccions del LCA van tenir un cost aproximat al sistema sanitari estatunidenc d' 1 bilió de dòlars l'any 2006 (Kaeding et al., 2017).Entre un 3-22% dels atletes es tornen a trencar el LCA i d'un 3-24% es trenca el lligament contra-lateral en els 5 anys després de la reconstrucció (van Melick et al.,2016). És més freqüent en joves i persones actives que participen en

esports que involucren saltar, pivotar i canviar de direcció (COD), algun exemple seria el futbol, el basquetbol, el handbol i el voleibol (Sepúlveda et al., 2017).

2.4 El Lligament Creuat Anterior (LCA)

El Lligament Creuat Anterior (LCA) està situat en la articulació del genoll, és del tipus sinovial (càpsula articular i membrana sinovial) que uneix 3 ossos: l'extrem inferior del fèmur, l'extrem superior de la tibia i la ròtula (Pró,2011).

El LCA és un de dels 4 lligaments del genoll que es troben dins la càpsula articular i són els encarregats d'estabilitzar-lo. La seva inserció es troba distalment en la àrea pre-espinal de la cara superior de l'extremitat proximal de la tibia, per acabar, proximalment, en la porció posterior de la superfície interna del còndil femoral extern. La longitud del LCA pot ser d'uns valors entre 22-41 mm i 7-12 mm d'ample (Pró,2011).

2.4.1 Funcions del Lligament Creuat Anterior (LCA)

Les principals funcions del LCA són: proporcionar una estabilitat crucial en la articulació del genoll són (Duthon et al.,2006) ; prevenir la excessiva translació anterior de la tibia sobre el fèmur (calaix anterior) Sepúlveda et al.(2017). Concretament, el LCA ofereix una contenció mitjana del 82-89% d'una càrrega anterior aplicada en 30° de flexió de genoll, però disminueix fins a un 74-85% als 90° de flexió (Duthon et al.,2006); i finalment, limitar la tensió del genoll en genu valg/var quan està en extensió completa (genu recurvatum) i controlar els moviments de rotació que estat controlats pel feix postero-lateral (PL) Sepúlveda et al.(2017).

2.4.2 Mecanismes de ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA)

La ruptura del LCA pot ser causada segons Waldén et al.(2011) en dos d'aquests mecanismes lesius, el mecanisme de ruptura per contacte o directes en que són resultats d'un cop causat per una persona o objecte. Hi ha una incidència de lesions i gravetat en el pronòstic major en el lligament colateral i danys articulars quan és causada per un mecanisme per contacte, per tant, pot afegir complicacions que no tenen les lesions indirectes. Per altra banda, hi ha el mecanisme de ruptura sense contacte o indirectes, en que segons Alentorn-Geli et al. (2009) són aquelles lesions en que no hi ha contacte físic amb altres jugadors en el moment de la lesió.

Aproximadament del 70-80% de les ruptures es produeixen sense un mecanisme de contacte amb una altra persona, per tant, està associat a un aterratge, d'un salt, d'un canvi de direcció o una desacceleració sobtada. (Sepúlveda et al., 2017).

Un dels mecanismes més comuns, que té més afectació en el sexe femení, és l'anomenada "posició de no retorn" en que l'atleta aterra amb una extensió de maluc i de genoll, el genoll en valg, la tibia en rotació externa i una pronació del peu. (Figura 1)

Altres mecanismes de lesió poden ser la hiper-extensió i hiper-flexió de genoll. Aquestes accions involucren el valg de genoll, el varo de genoll, la rotació interna i externa i la translació de forces anteriors (Alentorn-Geli et al.,2009).

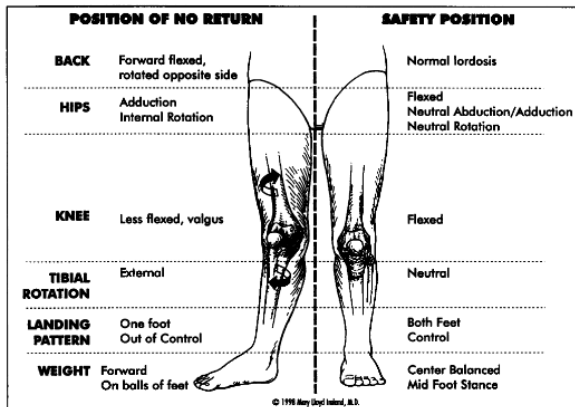


Figura 1: La posició de no retorn ("position of no return" (PNR)) en els mecanismes de lesió de LCA sense contacte i la posició de seguretat del genoll (Ireland,1999).

2.4.3 Factors risc per una ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA)

Segons Murphy et al. (2003) els factors de risc de patir aquesta lesió es poden dividir en extrínsecs (aquells fora del cos de l'esportista i subjectes a canvis després d'una intervenció) i intrínsecs (aquells dins el cos de l'esportista), en la figura 2, es pot observar el model de causalitat lesional segons Bahr i Krosshaug.(2005).

Degut a que la taxa de lesions totals de LCA sense contacte varia entre el 70 al 84% en atletes femenins i masculins (Boden et al.,2000) els factors de risc de patir aquesta lesió aniran enfocats al mecanisme sense contacte.

Segons Alentorn-Geli et al.(2009), els factors de risc extrínsecs de patir una lesió en el LCA, van relacionats amb: la longitud dels tacs de les botes ; la sequedat en un terreny de gespa natural o artificial per la major fricció del calçat amb la superfície, a més la gespa artificial té una tracció major que la natural; temperatures altes de la gespa i pel clima fred en esports a l'aire lliure.

Segons Alentorn-Geli et al.(2009), els factors de risc intrínsecs, van relacionats amb: la fase del període del cicle menstrual en les dones, hi ha un augment del risc en la fase

pre-ovulatoria o fol·licular; tenir un major índex de massa corporal (BMI) en les dones; una major laxitud articular, més prevalent en dones, i una hiperextensió de genoll (genurecurvatum); LCA petits i dèbils; falta de força en el CORE; el tronc baix, flexió de tronc i genoll amb una alta flexió dorsal de turmell durant tasques esportives ; el desplaçament lateral del tronc i una adducció de maluc combinat amb un moment d'abducció de genoll (valc dinàmic de genoll); una gran rotació interna de maluc i una rotació externa de la tibia amb o sense pronació ; la inclinació pelviana anterior (anteversió) augmenta el genu valg i la pronació; un gluti mig dèbil por provocar un col·lapse en valg, sobretot en pivotatges o COD ja que hi ha una incapacitat dels glutis per mantenir el maluc en abducció ; La pronació del peu i la caiguda de l'escafoide; la fatiga neuromuscular, els músculs fatigats poden absorbir menys energia abans d'arribar al grau d'estirament que es causa en les lesions; una flexió menor en el maluc i el genoll en aterratges, frenades i salts ; haver patit una reconstrucció prèvia del LCA (Smith et al.,2011); desequilibris musculars entre isquiotibials-quàdriceps, habitualment amb una dominància de quàdriceps (Griffin et al.,2006) ; la disminució del stiffness (rigidesa) en el tors de les dones (Griffin et al.,2006).

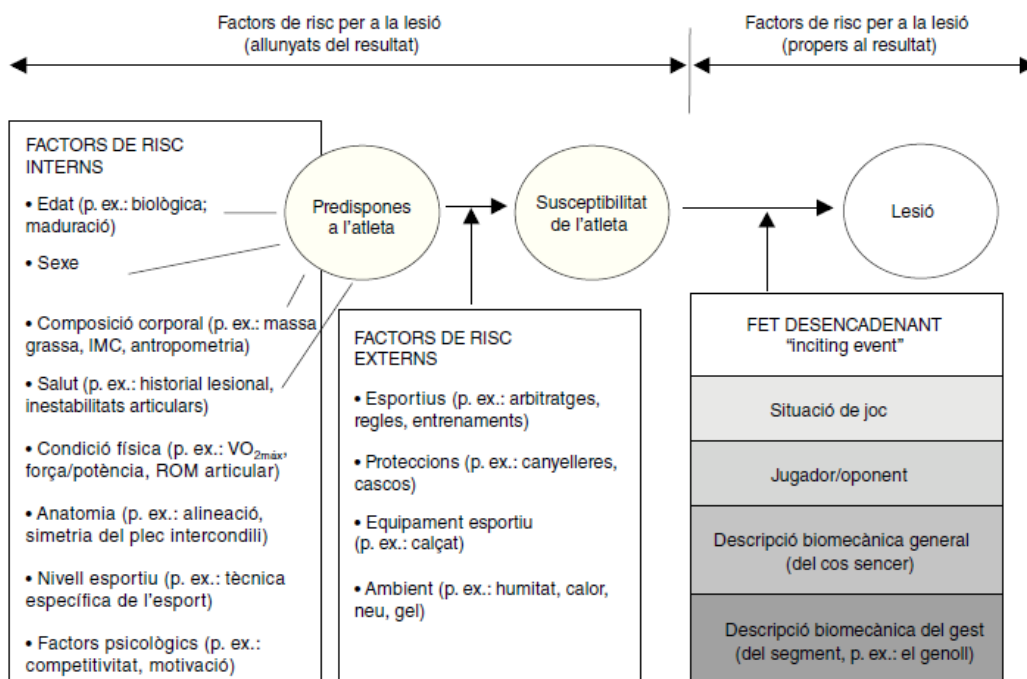


Figura 2: Model complet sobre les causes de lesió (Francesc Cos et al.,2010 basat en el model de Bahr i Krosshaug,2005)

2.4.4 Diagnòstic en la ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA)

A l'hora de detectar quin tipus de lesió s'ha produït en el pacient, hi ha diferents estratègies per tal de formular-se hipòtesis i arribar a un diagnòstic de la lesió precís i fiable. Amb l'examen clínic o exploració física es busca obtenir informació sobre l'estat del pacient, aquest examen l'ha de dur a terme un professional de la salut (metge, traumatòleg o infermer).

S'ha de sospitar d'una ruptura del LCA si el pacient informa de (Logerstedt et al.,2010) sobre: un mecanisme de lesió que implica desacceleració/acceleració en combinació amb una carrega en valg del genoll ; escoltar o sentir un "pop" en el moment de la lesió ; una hemartrosis (hemorràgia sanguínia que causa inflamació i dolor articular) en les 2 hores posteriors a la lesió.

L'examen clínic pot constar de diferents proves per tal de detectar la ruptura del LCA. La prova de Lachman ("Lachman test") és la prova de diagnòstic més precisa, amb una sensibilitat combinada informada del 85% i una especificitat del 94% (Benjaminse et al.,2006). La prova del calaix anterior ("Anterior drawer test") té una alta sensibilitat i un 91% d'especificitat, però una menor precisió en casos aguts (Benjaminse et al.,2006). La prova del pivot ("Pivot shift test") és una clara indicació de ruptura del LCA (98% especificitat) quan és positiva, malgrat això, una prova negativa no es motiu suficient per descartar la lesió (Benjaminse et al.,2006). (Figura 3)

En avaluadors experimentats, la combinació de la historia clínica del pacient i l'examen clínic normalment seran suficients per diagnosticar un trencament del LCA. Malgrat això, el dolor i el vessament sanguini poden dificultar la detecció de la lesió durant l'examen clínic (Filbay i Grindem,2019). Per tant, pot ser útil una ressonància magnètica. La seva precisió es comparable a la prova de Lachman (Van Dyck et al., 2013). També pot servir per diagnosticar lesions concomitants del genoll (Logerstedt et al.,2010).

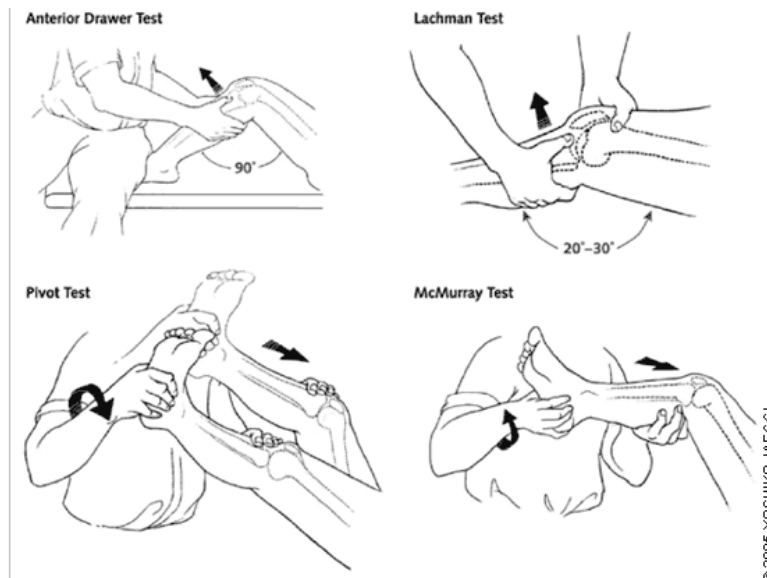


Figura 3: Proves diagnòstiques en un examen clínic per detectar possible lesió de LCA (Ebell,2005).

2.4.5 Tractament quirúrgic

El tractament dels pacients que han patit aquesta lesió segueixen protocols individualitzats i diferents opcions a escollir entre el professional sanitari i el pacient. Hi ha opcions quirúrgiques de la reconstrucció del lligament i d'altres sense aquesta intervenció.

Els objectius per una persona que ha patit aquesta lesió són (Filbay i Grindem, 2019): restaurar la funció del genoll ; abordar les barreres psicològiques per reprendre la participació en la activitat ; prevenir més lesions de genoll i reduir el risc d'osteo-artritis en el genoll; optimitzar la seva qualitat de vida a llarg termini

En el cas d'escollir la reconstrucció del LCA, les dues més comuns i que no mostren superioritat una respecte l'altra, és l'empelt del tendó patel·lar (BPTB) o mitjançant l'autoempelt de tendons del semitendinós i gràcil (HT). Ambdós obtenen resultats satisfactoris a llarg termini en el 80% fins el 90% dels casos (Goldblatt et al.,2005).

L'autoempelt del tendó patel·lar té una taxa mes baixa d'errors en la seva inserció, menor laxitud objectiva del genoll i menor pèrdua de flexió en comparació amb la inserció del semitendinós i gràcil. En canvi, l'empelt amb el semitendinós i el gràcil té una menor de crepitació femoropatel·lar, menor dolor de genoll i menor pèrdua en la extensió de genoll (Goldblatt et al.,2005)

2.4.6 Procés de rehabilitació i readaptació de la lesió

A continuació es presenta el procés i les fases de readaptació que es poden portar a terme en una intervenció quirúrgica per LCA. Aquestes fases comprèn les que van des del diagnòstic de la lesió fins la tornada a la pràctica esportiva amb garanties.

A partir d'això, Filbay i Grindem (2019) proposen les següents recomanacions i objectius principals a assolir segons cadascuna de les fases en la rehabilitació del LCA basades en la evidència:

Els objectius en la fase preoperatòria (pels que han optat per la reconstrucció del LCA) són aquests: evitar vessaments de la articulació del genoll; aconseguir un rang de moviment actiu i passiu complet; assolir una simetria de la força del quàdriceps al 90%

Els objectius en la fase aguda (després de la ruptura del LCA i/o reconstrucció del LCA) són aquests: evitar vessaments de la articulació del genoll; aconseguir un rang de moviment actiu i passiu complet; elevar la cama recta sense retràs.

Els objectius en la fase intermèdia (després de la ruptura del LCA i/o reconstrucció del LCA) són aquests: controlar de la extensió de genoll en posicions de càrrega; aconseguir un 80% de simetria de força de quàdriceps; aconseguir un 80% de simetria de la prova de salt amb qualitat de moviment adequada.

Els objectius en la fase final (després de la ruptura del LCA i/o reconstrucció del LCA) són aquests: aconseguir un 90% de simetria de força de quàdriceps; aconseguir 90% de simetria de la prova de salt amb qualitat de moviment adequada; desenvolupar una confiança atlètica; progressar en les habilitats esportives específiques fins a habilitats tancades amb un enfoc intern a habilitats obertes amb un enfoc extern.

La pèrdua de massa muscular en el quàdriceps després d'una cirurgia de LCA és un problema molt comú. Aquesta pèrdua es causada per la inhibició del quàdriceps amb una subseqüent atrofia. La fase de rehabilitació posarà l'èmfasi en recuperar la força i la hipertrofia d'abans la lesió (Tyler et al., 2004). En la figura 4, es pot veure una proposta d'Álvarez et al. (2008) sobre les fases de rehabilitació i readaptació en una cirurgia de LCA.

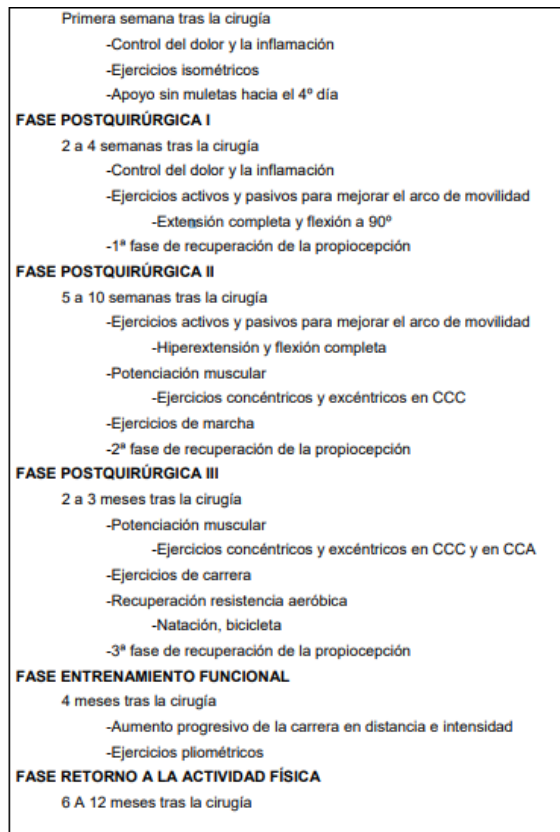


Figura 4: Proposta d'Álvarez et al. (2008) en la rehabilitació i readaptació en pacients amb una ruptura i cirurgia del LCA.

D'altres mètodes que es poden aplicar després d'una cirurgia del LCA podria ser la estimulació elèctrica neuromuscular (NMES). L'objectiu del NMES es minimitzar l'atròfia muscular, incrementar la intensitat de la contracció muscular durant l'exercici i millorar la força (Charles et al.,2020).

En el primer congrés mundial de fisioteràpia (First World Congress in Sports Physical Therapy,2016) es va arribar a un consens de diferents experts sobre el retorn to sport (RTS) de forma segura i oportuna. Hi ha 3 elements sobre el contínuum en el RTS (Arden et al.,2016): return to participation; return to sport; return to performance.

Els enfocaments bio-psico-socials són habituals en l'àmbit de la salut, aquests factors biològics, psicològics i socials poden influir en el tractament i el resultat després d'una lesió esportiva. (Figura 5).

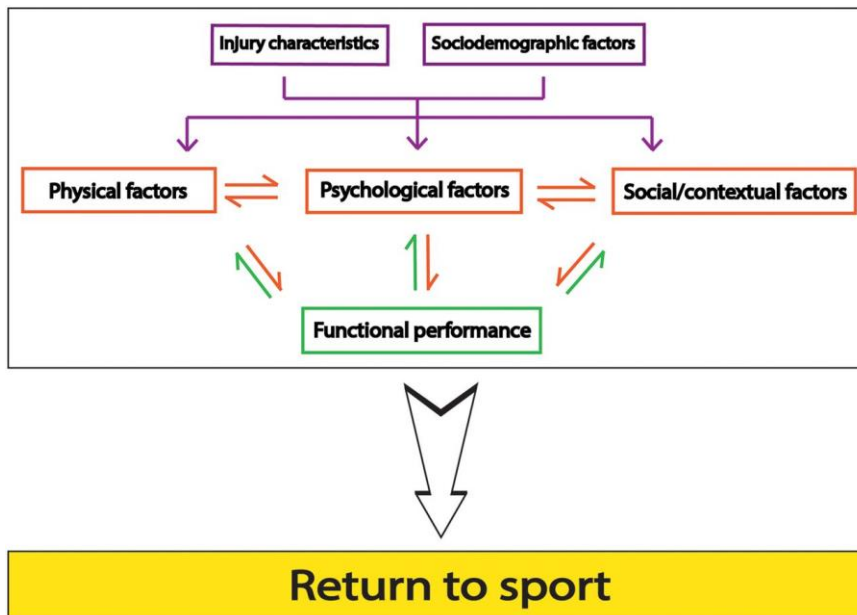


Figura 5: Tornada a l'esport (Ardern et al., 2016)

2.5 Entrenament amb Restricció del flux sanguini (BFR) per aconseguir una hipertròfia de la cuixa

2.5.1 Origen i definició

L'entrenament per oclusió/restricció del flux sanguini (BFR) es va popularitzar a Japó a mitjans dels anys 1980 pel Dr. Yoshiaki Sato, aquest, va comercialitzar el seu mètode d'entrenament conegut com a "KAATSU training" que significa "entrenament amb pressió addicional" (Manini i Clark, 2009).

El Blood Flow Restriction (BFR) és un mètode d'entrenament en el qual s'aplica una pressió externa, típicament amb un maneguet com a torniquet en una extremitat en la regió més proximal (braç o cuixa) que restringeix parcialment el flux d'entrada arterial i restringeix totalment el flux de sortida venosa dels músculs durant l'exercici (Patterson et al., 2019). Aquesta compressió dona com a resultat un subministrament inadequat d'oxigen (hipòxia) dins el teixit muscular (Patterson et al., 2019). La disminució del flux sanguini venós dona com a resultat la acumulació de sang dins els capil·lars de les extremitats obstruïdes, normalment reflectides amb un eritema visible. El nivell d'acumulació de la sang es pot veure afectat per la pressió aplicada. A més, quan les contraccions musculars es realitzen en condicions de BFR, hi ha un augment de les pressió intra-muscular sota del mànec (Patterson et al., 2019), efecte que pertorba encara més en el flux sanguini.

Els efectes de fatiga acumulada, l'estrès metabòlic i la hiperèmia reactiva contribueixen a promoure la hipertròfia amb un esforç menor, per tant, es pot entrenar amb càrregues reduïdes però amb els mateixos beneficis que amb càrregues altes (Slysz et al.,2016). Es realitza a intensitat relativament baixes (20-30% d'1RM), altes repeticions per sèrie (15-30 repeticions) i intervals de descans curts (30") (Takarada et al.,2000).

2.5.2 Principals mecanismes d'acció en la hipertròfia muscular

La hipertròfia muscular és l'augment del diàmetre del múscul, així com un augment del contingut de proteïnes en les fibres musculars. Un augment en la àrea de la secció transversal del múscul (CSA) es correlaciona directament amb un augment de la força. Els mecanismes fisiològics de la hipertròfia muscular provenen principalment de la tensió mecànica i l'estrès metabòlic. La debilitat muscular en el quàdriceps està relacionada amb un rendiment de a funcionalitat disminuït, possibilitat de tornar-se a lesionar del LCA i el desenvolupament d'una osteoartritis post-traumàtica, donades les conseqüències a curt i llarg termini de patir una debilitat en el quàdriceps, es fonamental desenvolupar enfoc de rehabilitació i readaptació que puguin restablir la força completa del quàdriceps (Lepley et al.,2015)

Els principals mecanismes pels quals l'entrenament amb oclusió estimulen el creixement muscular són (Loenneke et al.,2010) : produir una acumulació metabòlica que, posteriorment, estimula un augment dels nivells de la Hormona de Creixement anabòlics (GH); reclutar les fibres de contracció ràpida o blanques (tipo II). A més, aquestes responen millor la hipertrofia.; incrementar la síntesis proteica a través de la via de mTOR (mammalian Target of Rapamycin); augmentar les proteïnes de xoc tèrmic (HSP); augmentar l'òxid nítric sintasa (NOS-1); disminuir la expressió de la proteïna miostatina, que és un inhibidor natural dels factors de creixement

2.5.3 Utilitat d'ús de la restricció del flux sanguini (BFR)

El BFR es pot utilitzar tant durant els exercicis de força com en exercicis aeròbics (córrer en la cinta, bicicleta estàtica,etc.). L'ús en pacients que volen guanyar de manera efectiva força i hipertròfia del múscul esquelètic es poden beneficiar en aquesta metodologia, es pot utilitzar en casos com: joves sans; en poblacions que tenen restriccions en moure càrregues en una rehabilitació ; en persones d'edat avançada (Patterson et al., 2019).

2.5.4 L'ús de la restricció del flux sanguini (BFR) i Lligament Creuat Anterior (LCA)

Després d'una reconstrucció del LCA, els pacients pateixen una pèrdua significativa de força i massa muscular de les extremitats inferiors degut a la atrofia i a la inhibició

muscular artrogènica. Els extensors i els flexors del genoll mantenen una debilitat muscular durant els primers 3 mesos després de la cirurgia que deteriora les seves funcions. Per produir una hipertròfia cal utilitzar altes càrregues (65-70% del 1RM), pesos contraindicats en els inicis d'una lesió d'ACL. Es per això que pren sentit l'ús del BFR amb un 20-30% del 1RM de càrregues, càrregues compatibles i molt útils pel l'increment de la hipertròfia muscular i guanys de força amb una càrrega menor i els mateixos resultats (Hughes et al.,2019)

2.5.5 Aparells per l'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR)

Es recomana una oclusió entre el 40-80% de la pressió arterial (Patterson et al., 2019). Hi ha una ample gama d'amples del mànec (3-18 cm). Cal senyalar que com més ample sigui el mànec, menor serà la pressió total necessària, tot i que l'ús de mànecs extremadament amples pot limitar el moviment durant l'exercici (Patterson et al., 2019).

Els aparells que existeixen al mercat són: bandes de compressió, tenen un preu baix però no es pot ajustar la pressió, la pressió varia segons la compressió que apliques en la part més proximal de la cuixa, a més, va perdent pressió al cap de l'estona ; aparells amb manòmetre i una bomba de mà, permeten regular a la pressió (mmHg) que es vol realitzar els exercicis amb l'ajuda d'un Doppler, l'inconvenient es que a mesura que es van realitzant les sèries, la pressió que s'aplica disminueix, algunes marques poden ser The Occlusion Cuff® o Fitt Cuffs®; per altra banda, el Gold Standard és les bandes Kaatsu® i Delfi Personal Tourniquet System® (PTS), aquestes mesuren la pressió automàticament i regular-ho abans, durant i després d'una sèrie d'entrenament, com a inconvenient és el seu preu elevat.

2.5.6 Protocol d'actuació per aconseguir una hipertròfia muscular a la cuixa

A continuació, es pot veure quin és el protocol més repetit per la literatura en que es mostren les diferents variables que apareixen en l'ús del BFR per millorar la força i la hipertròfia muscular, són aquests paràmetres: freqüència d'ús, percentatge de la càrrega màxima, temps de restricció, tipus d'exercicis, sèries, amples dels mànecs, repeticions i sèries, pressió del mànec, descans entre sèries, tipus de restricció i tipus d'execució. (figura 6)

Modelo de prescripción de ejercicio con BFR-RE.

Directrices	
Frecuencia	2 a 3 veces por semana (> 3 semanas) o 1 a 2 veces al día (1 a 3 semanas)
Carga	20-40% 1RM
Tiempo de restricción	5-10 min por ejercicio (reperusión entre ejercicios)
Tipo	Grupos de músculos pequeños y grandes (brazos y piernas / uni o bilateral)
Conjuntos	2-4
Brazaletes	5 (pequeño), 10 o 12 (mediano), 17 o 18 cm (grande)
Presión de repeticiones	(75 repeticiones) - 30 × 15 × 15 × 15, o series para fallar 40-80% AOP
Descansar entre series	30-60 s
Formulario de restricción	Continuo o intermitente
Velocidad de ejecución	1-2 s (concéntrico y excéntrico)
Ejecución	Hasta la falla concéntrica o cuando se completa el esquema de repeticiones planificado

Figura 6: Patterson et al. (2019). Protocol per a millorar la força muscular i la hipertrofia

2.5.7 Precaucions d'ús

A continuació es presenta una sèrie de principis a seguir segons l'historial personal, mèdic, social i familiar. Per tant, s'ha de prestar atenció a qualsevol estil de vida que pugui afectar a un d'aquests àmbits. Segons Kacin et al. (2015) aquests són els passos a seguir per saber si aplicar-lo o no amb una eina d'avaluació sobre el risc (figura 7).

MAGNITUDE OF RISK	MEDICAL HISTORY OR LIFESTYLE FACTOR	PATIENT RESPONSE	DECISION
ABSOLUTE	Do you have a family history of clotting disorders (e.g. SLE (lupus), haemophilia, high platelets)?	YES	STOP
		NO	CONTINUE
	Do you have level 1 hypertension (SAP ≥ 140 mmHg)?	YES	STOP
		NO	CONTINUE
	Do you have a past history of DVT or pulmonary embolus?	YES	STOP
		NO	CONTINUE
	Have you suffered from a haemorrhagic or thrombotic stroke?	YES	STOP
		NO	CONTINUE

Figura 7: Eina per a avaluar el desenvolupament d'un risc mèdic amb l'ús de BFR (Kacin et al.,2015)

A més, està contraindicat en persones amb problemes circulatoris, obesitat, diabetis, calcificació arterial, càncer o tumor, problemes renals, tromboembolisme venós, anèmia falciforme, la limfadenectomia i medicaments que augmenten el risc de coagulació (DePhillipo et al.,2018). Per tant, s'han de valorar tots aquests aspectes abans d'aplicar el BFR.

2.5.8 Possibles efectes secundaris

Poden succeir diferents efectes no desitjats pel mal ús de BFR. En un estudi de Nakajima et al. (2006) van recopilar 105 de 195 centres que utilitzaven l'entrenament KAATSU a Japó, del qual van obtenir resultats de 12.642 persones. Els efectes adversos van ser els següents: una hemorràgia subcutània quan es col·loca el mànec amb un excés de pressió i té una incidència del 13,1% dels casos; un entumiment quan es col·loca el mànec amb un excés de pressió i té una incidència del 1,2% dels casos; trombosis venosa profunda (TVP) amb una incidència de 0,055%; una embòlia pulmonar amb una incidència de 0,008%; una rabdomiòlisis amb una incidència de 0,008 %

Malgrat això, comparant l'exercici amb altes càrregues amb el BFR, els ratis de mortalitat són de 0-2,5% per 10.000 persones per l'exercici amb altes càrregues, en canvi en l'entrenament amb BFR no s'ha notificat cap mort. S'ha demostrat que és un mètode segur, però s'ha d'aplicar de forma correcta i supervisada per un professional de la salut (Nakajima et al.,2006)

2.6 Ajudes ergogèniques per augmentar la hipertròfia de la cuixa

2.6.1 Introducció

Una ajuda ergo-gènica es una tècnica o pràctica que serveix per incrementar la capacitat del rendiment, la eficiència per realitzar un treball, la capacitat de recuperar-se de l'exercici i/o la qualitat de l'entrenament promovent unes majors adaptacions a l'entrenament (Leutholtz i Kreider,2001).

Poden ser classificades segons (Silver M. D., 2001): ajudes mecàniques, ajudes psicològiques, ajudes fisiològiques, ajudes farmacològiques, ajudes nutricionals.

Una de les ajudes ergogèniques més conegudes per promoure el guany de massa muscular és la proteïna de sèrum de llet (Whey Protein), aquesta conté un alta concentració de tots els aminoàcids (AA), és de ràpida absorció i digestibilitat (Cribb et al.,2007). La leucina és un dels aminoàcids de cadena ramificada que conté aquest suplement i és el major promotor de creixement muscular a nivell anabòlic (Kimball i Jefferson,2006).

La Australian Institute of Sport (AIS,2021) fa una classificació dels suplementes en 4 grups (A-B-C-D) segons el nivell d'evidència, la seguretat, la legalitat i efectivitat del producte per millorar el rendiment. A és un nivell d'evidència elevat d'eficàcia i seguretat, i D és un suplement il·legal o amb alt risc de contaminació amb d'altres substàncies

dopant. A partir d'aquí, es posarà la classificació segons la AIS i evidència respecte el seu ús.

2.6.2 Beta-Hidroxi-Beta-Methylbutyrate (HMB-Ca)

La Beta-Hidroxi-Beta-Methylbutyrate (HMB-Ca) (nivell C) és un suplement que la evidència científica no dona suport en un benefici entre atletes o no hi ha suficient recerca per tenir una opinió formada (AIS,2021).

El HMB es produeix de forma natural en animals i éssers humans a partir de l'aminoàcid leucina. Té un paper important en múltiples funcions del cos humà, de les quals les més importants són el metabolisme de les proteïnes, la activitat de la insulina i la hipertròfia del múscul esquelètic (Kaczka et al.,2019). La dosis de suplementació amb HMB-Ca oscil·la entre 1,5g-3g dia i es mostra totalment segura fins a 6g diaris de suplementació (Kaczka et al.,2019).

2.6.3 Creatina Monohidrat

Creatina Monohidrat (nivell A): suplement que pot millorar el rendiment esportiu amb un suport científic fort i que pot ésser utilitzat seguint els protocols establerts (AIS,2021).

És una de les ajudes ergogèniques nutricionals més populars i amb més evidència científica pels esportistes. Es un compost orgànic nitrogenat que es troba en els músculs i es pot aconseguir mitjançant proteïna animal. La suplementació produeix un augment de les reserves de PCr entre un 10% i un 40% (Kreider et al.,2017). A més, la suplementació amb creatina millora significativament la massa magra i les fibres tip II (Burke et.,2003).

El mètode més ràpid i popular per augmentar les reserves de creatina muscular, és l'anomenat protocol de "càrrega", seria la suplementació de 0,3g/kg/dia de monohidrat de creatina repartits durant el dia i una duració de 5-7 dies, seguidament de 3 a 5g/dia per mantenir les reserves elevades (Buford et al.,2007). La creatina ha estat estudiada en més de 1000 estudis i es comercialitza des de fa més de 30 anys. Es considera segur i no presenta factors adversos per a la salut. Els efectes secundaris que més s'ha notificat és l'augment de pes, malgrat això, s'ha de tenir precaució en persones amb malalties renals (Kreider et al.,2017).

2.6.4 L-Glutamina

L-Glutamina (nivell C) és un suplement que la evidència científica no dona suport de beneficis entre atletes o no hi ha suficient recerca per tenir una opinió formada (AIS,2021).

La Glutamina és l'aminoàcid (AA) no essencial més abundant en el cos humà, representa més del 50% de la reserva d'AA lliures del múscul-esquelètic, que és la major reserva i el lloc més important per la seva síntesis (Coster et al.,2004).

No s'han vist reaccions adverses a curt termini en quantitats de 20-30g de suplementació. La L-Glutamina és totalment segura, amb unes excepcions en població amb malalties renals o hepàtiques. (Gleeson,2008).

2.6.5 Bisglicinat de Magnesi

Magnesi (nivell C) és un suplement que la evidència científica no dona suport de beneficis entre atletes o no hi ha suficient recerca per tenir una opinió formada (AIS,2021).

El magnesi (Mg) és un mineral essencial que té una paper fonamental en el cos humà. Participa en el procés del metabolisme energètic i ajuda al manteniment de la funció muscular normal. (Zhang et al.,2017). La quantitat diària recomanada (RDA) és de 400-420 mg pels homes i 310-320 mg per les dones majors de 19 anys (NIH,2016). S'ha demostrat que un dèficit de Mg pot provocar una pitjor funció neuromuscular, i per tant una associació amb rampes musculars (Zhang et al.,2017). Sobrepassar les ingestes per sobre 350mg/dia, podria provocar símptomes de toxicitat com: diarrea, deshidratació, nàusees, visió doble, debilitat, parla confusa i enrogiment de la pell degut a la híper-magnèsia (Mordès i Wacker,1977).

2.6.6 Vitamina D

Vitamina D (nivell A): suplement que pot millorar el rendiment esportiu, prevenir o tractar problemes clínics amb dèficits nutricionals amb un suport científic fort i que pot ésser utilitzat seguint els protocols establerts (AIS,2021).

La vitamina D és un micronutrient que es sintetitza principalment per la mitjançant la interacció de la radiació ultra-violeta B (UVB) del sol amb la pell (Vitamina D3) o amb aliments de forma exògena (Vitamina D2) (Zhang i Naughton,2010).

Més de 1000 milions de persones pateixen un dèficit d'aquesta vitamina, es per això que es recomana una suplementació amb una dosi de a 1500-2200 UI/dia (Holick et al.,2012).

2.7 Estudis publicats en diferents protocols sobre l'impacte en la hipertròfia de la cuixa en lesions de Lligament Creuat Anterior (LCA)

A continuació es presenten els protocols que recull la evidència científica respecte a lesions de LCA mitjançant BFR, mitjançant l'ajuda de suplementos ergogènics i amb la combinació d'aquests dos.

2.7.1 Estudis científics amb un protocol de només una restricció del flux sanguini (BFR) en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)

La atròfia muscular i la pèrdua de força són les majors conseqüències de la lesió del LCA. És molt freqüent la debilitat dels quàdriceps, en particular el vast lateral i medial. La restricció de moviment causada per aquesta debilitat, causa una major disfunció global del pacient i un risc major de recaure (Hughes et al.,2018).

En un estudi de Takarada et al.(2000) es va realitzar BFR de forma passiva durant 10 dies en els 4 dies posteriors a la reconstrucció de LCA, executant 5 sèries de 5' a una pressió de 238 mm Hg. Va atenuar en un 50% la disminució del *cross sectional area* (CSA) en els flexors i extensors de genoll. En un estudi prospectiu de Ohta et al.(2003) va demostrar majors increments en el grup de BFR amb càrregues baixes que el grup control en variables com el CSA de la cuixa i la força muscular en les 16 primers setmanes post-operatòries. En un estudi de cas de Lejowski i Pajaczkowski (2011) en una atleta femenina es va reportar un augment del tamany i circumferència de la cuixa lesionada al llarg de 12 setmanes. Malgrat això, no tota la evidència és positiva davant el BFR, en un estudi de Iversen et al. (2016) no es va trobar una atenuació de l'atròfia muscular seguint BFR o grup control al llarg de 2 setmanes post-operatòries.

Els investigadors Hughes et al.(2019) van comparar l'efectivitat d'un entrenament amb BFR (30%RM) contra un entrenament Tradicional d'altas càrregues (70%RM), els resultats van ser similars en millores de força i mida muscular entre els dos procediments

Segons DePhillipo et al. (2018) els exercicis més utilitzats en la literatura científica són: l'extensió de genoll en màquina (knee extension), premsa de cames, elevacions de cames decúbit supí i gambades invertides (lunges).

Hi ha poca literatura sobre les lesions de genoll i més concretament en lesions de LCA, malgrat això sembla ser que és una tècnica efectiva per millorar la força muscular i la atròfia després d'una cirurgia de genoll, en comparació amb mètodes més

convencionals. També cal tenir en compte que les millores apareixen en terminis majors a 2 setmanes fins a les 16 (DePhillipo et al.,2018). A continuació es presenten els resultats (taula 1) sobre el protocol de BFR en pacients intervinguts quirúrgicament per una lesió de LCA.

AUTOR	GRUP CLÍNIC	DISSENY DE L'ESTUDI	EINES DE MEDICIÓ	PROTOCOL	PRESSIÓ UTILITZADA I AMPLADA DEL MÀNEC	DURACIÓ	RESULTATS
Takarada et al. (2000)	Pacients amb reconstrucció del LCA. 16 pacients (8 H, 8 D). 22,4 ± 2,1 anys Experimental. 23 ± 2,5 anys Control.	Assaig clínic aleatoritzat controlat (RCT)	Ressonància magnètica (RM) per mesurar l'àrea muscular de secció transversal (CSA)	5x5' d'oclusió i 3' de reperfusió (descans). Protocol realitzat entre el 3è i el 14è dia post-operatori.	Màneec de pressió pneumàtica. 200-260 mmHg. 9 cm d'ample	Inici al 3r dia del post-operatori. 11 dies de duració	En el grup control i experimental van patir una atròfia del quàdriceps al dia 14. Malgrat això, la pèrdua total va ser d'1,6% de pèrdua de massa muscular respecte a un 2,2% en el grup control.
Ohta et al. (2003)	Pacients amb reconstrucció de LCA. 44 pacients (25 H, 19 D). 22,4 ± 2,1 anys Experimental. 23 ± 2,5 anys Control.	Assaig clínic aleatoritzat controlat (RCT) prospectiu	Biòpsia i Ressonància magnètica (RM) per mesurar l'àrea de secció transversal (CSA) a la 1a i 16è setmana post-operatori	6 cops/ setmana es feien exercicis d'extremitats inferiors amb 20-60 repeticions en 1-3 sèries per dia.	Màneec amb torniquet d'aire. 180 mmHg	Inici a les 2 setmanes del post-operatori. 16 setmanes de duració	La resonància magnètica va mostrar un augment significatiu en el CSA dels extensors de genoll en el grup experimental. En canvi, en el grup control una insignificant reducció.
Iversen et al. (2014)	Pacients amb reconstrucció de LCA. 24 pacients (14 H, 10 D). 24,9 ± 7,4 anys Experimental. 29,8 ± 9,3 anys Control.	Assaig clínic aleatoritzat controlat (RCT) prospectiu	Ressonància magnètica (RM) 2 dies abans de la cirurgia i 16 dies després per mesurar l'àrea de secció transversal (CSA)	2 cops al dia realitzaven 5x20 (100) repeticions d'exercicis de quàdriceps amb 5' d'oclusió i 3' de reperfusió	Màneec pneumàtic de baixa pressió (Delfi®). 130-180 mmHg. 14 cm d'ample	Inici al 2n dia post-operatori. 2 setmanes de duració (14 dies)	El grup experimental i control van patir una reducció significativa del CSA (13,8% i 13,1%) durant la intervenció. No hi va haver diferències pel que fa a la atròfia dels quàdriceps.
Lambert et al. (2019)	Pacients amb reconstrucció de LCA. 14 pacients (8 H, 6 D). 23 ± 7 anys	Assaig clínic aleatoritzat controlat (RCT)	DEXA en el pre-operatori i a les 6 i 12 setmanes post-operatori.	2 cops a la setmana 4 sèries de 30-15-15-15 repeticions amb 30" de descans entre sèries. Es van realitzar exercicis isomètrics de quàdriceps, premsa de cames, curl d'isquio-tibials	Torniquet amb sistema personalitzat (Delfi®). 80% de pressió en la extremitat inferior.	Inici als 10 dies post-operatori. 12 setmanes de duració	El grup control va tenir una disminució en la massa magra de la cuixa a les 12 setmanes comparat amb el grup experimental.

Taula 1: Resum d'estudis sobre el BFR i les lesions de LCA (adaptat de: Charles et al.,2020)

2.7.2 Estudis científics amb un protocol de només ajudes ergogeniques en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)

Hespel et al. (2001) va voler determinar les taxes d'atròfia en persones que tenien la cama enguixada durant dos setmanes. La fase de rehabilitació va durar 10 setmanes amb 3 sessions setmanals amb exercicis d'extensió de genoll, els resultats van ser que el grup amb Cr va produir uns majors canvis que el grup control en la àrea transversal de la fibra muscular (+10%) i en la força màxima (+25%) durant el període de rehabilitació. En un RCT de Tyler et al. (2010) es van fer diferents mesures en la força de la cuixa i van concloure que no produïa millores respecte el grup control. A més, Roy et al.(2005) van concloure que la suplementació no va millorar la hipertròfia i la força del quàdriceps.

Hi ha una associació de nivells baixos de vitamina D amb empitjorament en la força muscular en una recuperació de cirurgia de genoll (Barker et al.,2011).En un altre RCT de Nishiazaki et al. (2015) van demostrar que una artroplàstia total de genoll la suplementació amb HMB i L-Glutamina perdien menys força del quàdriceps que el grup control.

2.7.3 Estudis científics amb un protocol que combini una restricció del flux sanguini (BFR) i les ajudes ergogèniques en ruptures del Lligament Creuat Anterior (LCA)

Mitjançant la cerca a les bases de dades de Pubmed i Google Scholar no s'ha pogut trobar cap estudi que combini l'entrenament amb BFR i l'ús d'alguna ajuda ergogènica en combinació. Davant aquesta falta d'investigació al respecte, es fa més evident la necessitat d'estudi sobre la combinació d'aquestes dues variables combinades i s'inicia un estudi per tal de veure els resultats que se'n obtenen.

3. Justificació, pregunta de recerca i hipòtesis

Justificació

Donada l'alta prevalença de lesions en el LCA, l'augment d'esportistes joves que participen en un esport federat i les conseqüències personals, sanitàries i econòmiques, es proposa un entrenament amb BFR i ajudes ergogèniques per tal d'aplicar en les fases inicials post-quirúrgiques, i així, intentar disminuir la massa muscular perduda, que es causada per la immobilització de la cuixa i per l'impediment d'aixecar càrregues altes (>70%RM).

Pregunta de Recerca

- “Quin és l'impacte de l'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR) en la hipertròfia de la cuixa de la cuixa lesionada per la ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA) en pacients joves que han estat intervinguts quirúrgicament?”
- “Quin és l'impacte d'afegir ajudes ergogèniques en la hipertròfia de la cuixa de la cuixa lesionada per la ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA) en pacients joves que han estat intervinguts quirúrgicament?”

Hipòtesis

- “L'entrenament amb restricció del flux sanguini (BFR) serviran per obtenir un augment en la hipertròfia de la cuixa en comparació al tractament de recuperació habitual”
- “Les ajudes ergogèniques que conté el producte ajudaran a produir un augment en la hipertròfia de la cuixa.”

4. Metodologia

En aquest apartat del treball es presenta la seva part metodològica. A continuació s'exposarà el disseny de l'estudi, la mostra, el procediment de reclutament, les variables i els instruments utilitzats, la intervenció del programa, i finalment, la recollida i anàlisi de dades en una investigació quantitativa.

4.1 Disseny de l'estudi

El disseny d'estudi que s'ha escollit ha estat la metodologia quantitativa i experimental veritable amb pre-tractament i post-tractament de grups aleatoris. Els autors Reichardt i Cook (1986) defineixen el paradigma quantitatiu com: una mesura penetrant i controlada; objectiva; orientada al resultat; fiable amb dades sòlides i repetibles; generalitzable. Per tant, en aquest treball s'ha utilitzat aquesta metodologia perquè es pretenien prendre mesures objectives, controlades i en la recerca de resultats en 3 grups diferenciats i generalitzables.

Segons Sampieri et al.(1998) els experiments veritables són els que reuneixen aquests tres requisits per aconseguir control i validesa interna, aquesta validesa ens determina fins a quin punt l'investigador pot atribuir la variació observada en la variable dependent a la presència de la variable independent (Campbell i Stanley,1978). Ha de complir aquests requisits:

1. Grups de comparació
2. Equivalència dels grups
3. Aleatorització de la mostra

En l'estudi s'han organitzat 3 grups de forma aleatòria: Grup control (tractament sense BFR ni ajudes ergogèniques), grup experimental 1 (BFR) i grup experimental 2 (BFR i ajudes ergogèniques). S'han utilitzat proves abans i després per analitzar la evolució dels grups.

4.2 Mostra

La mostra en la qual s'ha fet l'estudi experimental veritable ha sigut de 6 pacients (n=6) que han patit una ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA), tenen entre 15 a 24 anys, participen en un esport com a federats i han estat intervinguts quirúrgicament fa menys de 2 mesos.

La pertinença a un dels 3 grups ha estat realitzat aleatòriament mitjançant un sorteig amb els 6 noms i 6 papers en que hi havia dues lletres repetides i significava a quin grup li pertocava (A-B-C) a cadascú.

Dels participants, hi havia dos grups que van participar en l'estudi com a grup experimental (n=4) i un grup control (n=2). És va assignar a cada pacient de forma aleatòria a un dels 3 grups (n=2).

Aquest experiment es va portar a terme al centre d'entrenament personalitzat R3 de Manresa, que ofereix serveis de readaptació especialitzat en la prevenció, la recuperació de lesions i la millora del rendiment físic en esportistes professionals o amateurs. En el centre els hi deriven pacients que provenen de la Clínica Sant Josep de Manresa i l'hospital Sant Joan de Déu de Manresa.

A continuació es presenten els criteris d'inclusió i exclusió, són els següents:

Criteris d'inclusió	Criteris d'exclusió
1. Haver patit recentment una ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA) amb una intervenció quirúrgica inferior a 2 mesos.	1. No patir una ruptura del Lligament Creuat Anterior (LCA) amb una intervenció quirúrgica superior a 2 mesos.
2. No tenir cap contraindicació per l'ús de l'aparell de restricció del flux sanguini (BFR).	2. Patir alguna contraindicació per l'ús de l'aparell de restricció del flux sanguini (BFR).

<p>3. No tenir cap contraindicació per la ingesta de suplementació relacionada amb el producte (R-Cover®).</p> <p>4. Ser un esportista federat.</p> <p>5. No estar prenent cap altre tipus de suplementació.</p> <p>6. Tenir entre 15 a 24 anys d'edat.</p>	<p>3. Patir alguna contraindicació per la ingesta de suplementació relacionada amb el producte (R-Cover®).</p> <p>4. No ser un esportista federat</p> <p>5. Prendre alguna altre suplementació</p> <p>6. Seguir un altre protocol de rehabilitació al que es proposa</p> <p>7. Ser major de 25 anys d'edat.</p>
---	---

Taula 2: Criteris d'inclusió i exclusió. Font: pròpia

4.3 Procediment de reclutament

Després de seleccionar quins eren els criteris d'inclusió o exclusió a l'hora de participar en l'estudi, es va programar quin era el procediment per reclutar els pacients per tal de planificar si volien participar en aquest programa.

Primerament, l'accés a realitzar aquest TFG va ser gràcies a poder realitzar les Pràctiques II en el grau de Ciències de la Activitat Física i l'Esport (CAFE) a la Universitat de Vic (UVIC-UCC) al centre privat R3 de Manresa, al Bages.

Els passos per la obtenció dels pacients van ser els següents:

1. Es va parlar amb l'encarregat del centre per si volia participar en l'estudi (novembre del 2020).
2. Es va cercar pacients del centre que complien els nivells d'inclusió i exclusió per participar en l'estudi (gener del 2021).
3. Dels pacients que van rebre la proposta, tots van acceptar realitzar-ho (n=6) (gener del 2021).
4. A mitjans de febrer es va explicar als pacients en que consistia la intervenció. Es pretenia que coneguessin quins eren els objectius, les proves a realitzar, els riscos, la voluntarietat de la seva participació, la confidencialitat de l'estudi i si existien interessos econòmics. En el cas que estiguessin d'acord, es firmava l'acord de consentiment informat en el qual s'explicava més àmpliament les conseqüències de participar en l'estudi (Annex 1).
5. A finals del mes de febrer, es va citar individualment als pacients per programar els horaris i sessions.
6. El dia 1 de març s'iniciava la intervenció d'un mes de duració.

4.4 Variables i instruments

Segons Sampieri et al. (1998), defineixen la variable com una propietat que pot fluctuar i la seva variació es susceptible de mesurar-se o observar-se. En aquest TFG s'han mesurat les següents variables descriptives:

- Gènere (Home-Dona)
- Pes (kg)
- Edat (anys)
- Alçada (cm)

En les variables descriptives es va utilitzar una bascula (Tanita BC-730 Innerscan) per mesurar el pes corporal (kg), un altímetre portàtil (Seca 213, Hamburg, Alemanya) per mesurar l'alçada (veure annex 2).

La variable principal (dependent) que es va mesurar i estudiar va ser la hipertròfia de les dues cuixes, en especial atenció a la cuixa del genoll lesionat. Per mesurar-ho es va utilitzar un plicòmetre (Harpenden) (Booth et al., 1996) per determinar el percentatge de teixit adipós de les cuixes i una cinta mètrica (RealMet Bcn) per mesurar els perímetres de les cuixes (cm) (veure annex 2). Per veure més informació sobre les especificacions dels instruments, mirar la annex 2.

Aquests resultats es van obtenir dels perímetres de les dues cames de la cuixa mitja (cm) i de la cuixa a 1 cm per sota el plec gluti (cm) mitjançant una cinta mètrica, també amb el plec de la cuixa (mm) mitjançant un plicòmetre Harpenden (Booth et al., 1996). Es van realitzar les mesures abans de la intervenció i després de la intervenció, en les quals, es va prendre 2 cops les mesures dels 3 punts anatòmics anteriorment descrits i es va fer la mitjana de les 2 mesures.

Abans d'iniciar el protocol d'entrenament amb BFR es va fer una valoració prèvia mitjançant 3 mesures antropomètriques establertes per la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK), aquestes serien: el perímetre de la cuixa mitja, el perímetre d'1cm per sota el plec del gluti (cm) i el plec de la cuixa (mm) (Esparza et al., 2019). Aquestes mesures es van realitzar mitjançant un plicòmetre (Harpenden) i una cinta mètrica (Realmet). Es van fer 3 cops les mesures dels 3 perímetres i també 3 cops les mesures del plec cutani per tal de que fossin més fiables i precises, a més, es va mesurar 2 cops l'alçada i el pes. Al finalitzar la intervenció dels 3 grups, es va portar a terme les mateixes mesures (veure annex 3)

La hipertròfia muscular de la cuixa es va obtenir amb les dades de les mesures en les dues cuixes, es va prestar especial atenció en la cuixa lesionada, amb aquestes dades es pretenia determinar les diferències en l' abans i el després en l'àrea de secció transversal (CSA) del múscul de la cuixa. Es va utilitzar la següent fórmula per determinar el CSA de les cuixes (Canda,2015), en que es va agafar la mitjana del perímetre mig de la cuixa (cm) i el plec del mig de la cuixa (mm). Canda (2015) proposa la següent fórmula:

$$\text{CSA cuixa (cm}^2\text{)} = (\text{perímetre cuixa (cm)} - \pi * \text{plec cutani cuixa anterior(cm)})^2 / 4\pi$$

L'aparell amb el qual es va aplicar la restricció del flux sanguini (BFR) va ser de la marca Mad-Up Pro ® (veure annex 4), aquesta mesura el ritme cardíac, la densitat muscular i la pressió d'oclusió de la extremitat (LOP), que es la pressió a la que es taponava la extremitat. Aquesta pressió es podia regular abans i durant l'entrenament mitjançant la sincronització amb el moviment i la contracció muscular (Mad-Up, 2020). També el grup d'intervenció 2 se'ls va suplementar amb l'ajuda ergogènica R-Cover+ ® de la marca Advanced Sport & Nutritions Lab (AS&NL).

4.5 Intervenció del programa d'exercici físic

El programa d'intervenció es va dur a terme de l'1 de març fins el 29 de març, aquesta intervenció va durar 4 setmanes en les quals hi havia 2 sessions setmanals (dimarts i dijous), per tant, 8 sessions en el mes de març. La sessió durava entre 15'-20'. El protocol consistia en un escalfament de 5' amb una bicicleta estàtica a una intensitat baixa i una cadència lliure. Seguidament es va fer 1 ronda de 4 sèries amb 30-15-15-15 repeticions d'extensió de quàdriceps en una màquina (Titanium Strength TSF01 Leg Extensions) les dues primeres sèries i les dues restants es realitzava una flexió de genoll en una màquina (A300 Leg Curl Pro, Keiser ®) a una intensitat del 30% de la 1RM. En el cas del GE1 i GE2 es realitzava amb una oclusió de la cuixa lesionada a un 80% d'oclusió (Patterson et al.,2019). Finalment, es feien 3' de bicicleta a una intensitat baixa i una cadència lliure (en el grup intervenció es feia sense l'aparell BFR per permetre el retorn venós en el flux sanguini cap als músculs). En l'annex 5 es pot veure un exemple de sessió pels 3 grups.

El grup control realitzava el mateix procediment però sense l'aparell de BFR. En el grup experimental 2 (BFR i ajudes ergogèniques) van seguir el mateix procediment que el grup experimental 1 però després de la sessió es prenia un sobre (8,93g) del suplement

R-Cover+® de la marca Advanced Sport & Nutritions Lab (AS&NL) en els 30' posteriors a la sessió. En l'annex 6 es pot veure el contingut del producte en concret.

Les sessions es realitzaven de forma individual en diferents horaris per tal de tenir una major seguretat i comoditat dels pacients.

4.6 Recollida i anàlisi de dades

La recollida de dades de la variable dependent (la hipertròfia de les dues cuixes, en especial atenció a la cuixa del genoll lesionat) es va realitzar una setmana abans de la intervenció, en tots els grups, i una setmana després de la intervenció. Es van mirar les diferències en el CSA de la cuixa entre els grups (grup control, grup experimental 1 i grup experimental 2) i també les diferències en el CSA entre les dues cuixes dels pacients lesionats.

Aquest anàlisi de dades va ser recollits i enviats a la bases de dades analitzat mitjançant el programa Microsoft Excel (versió 16.35) en el qual es van realitzar les taules i les gràfiques dels resultats.

5. Resultats

Seguidament es poden observar els resultats que es van portar a terme durant el mes de març. El grau de compliment va ser del 100% dels participants en les 8 sessions que durava el programa.

5.1 Mostra de l'estudi

La estadística descriptiva quantitativa (mitjana i desviació estàndard (DT)) que es pot veure en la taula 4, hi ha les diferents variables demogràfiques separades per grups (n=6). En el GC (n=2) la mitjana d'edat és de 18 anys ($\pm 1,41$), hi ha 1 dona i 1 home, el pes corporal de 65,3 kg ($\pm 1,3$), l'alçada d'1,68 ($\pm 0,06$) i un pacient li van realitzar una cirurgia amb l'auto-empelt dels isquiotibials de la cuixa esquerra i l'altre pacient dels isquiotibials en la cuixa dreta. En el GE1 (n=2) la mitjana d'edat és de 23 anys ($\pm 1,41$), hi ha 2 dones, el pes corporal és de 62,7 kg ($\pm 0,57$), l'alçada d'1,64 ($\pm 0,06$) i un pacient li van realitzar una cirurgia amb l'auto-empelt dels isquiotibials de la cuixa dreta i l'altre pacient dels isquiotibials en la cuixa esquerra. En el GE2 (n=2) la mitjana d'edat és de 19,5 anys ($\pm 2,12$), hi ha 1 home i 1 dona, el pes corporal de 67,8 kg ($\pm 10,75$), l'alçada d'1,75 ($\pm 0,06$) i un pacient li van realitzar una cirurgia amb l'auto-empelt del tendó patel·lar de la cuixa esquerra i l'altre pacient dels isquiotibials en la cuixa esquerra.

En les mitjanes totals es descriu una mostra en que hi ha 4 dones i 2 homes, amb una mitjana d'edat de 20,2 anys ($DT \pm 2,57$), un pes corporal (kilograms) mig de 65,3 kg ($DT \pm$

2,55) i una alçada (metres) mitjana de 1,69 m ($DT \pm 0,06$). Dels participants, 5 van ser realitzar una reconstrucció del LCA amb un auto-empelt dels isquiotibials (4HT) i 1 amb un auto-empelt del tendó patel·lar (BPTB). El mes de la operació quirúrgica es va realitzar el mes de gener en 4 participants i al mes de febrer en 2 participants.

VARIABLES DEMOGRÀFIQUES	GRUP CONTROL (n=2)	GRUP EXPERIMENTAL 1 (n=2)	GRUP EXPERIMENTAL 2 (n=2)	MITJANA I DT TOTAL (n=6)
EDAT (anys \pm DT)	18 ($\pm 1,41$)	23 ($\pm 1,41$)	19,5 ($\pm 2,12$)	20,2 ($\pm 2,57$)
SEXE (Home-Dona)	1 Dona -1 Home	2 Dones	1 Home – 1 Dona	2 Homes- 4 Dones ($\pm 1,41$)
PES (kilograms \pm DT)	65,3 ($\pm 1,3$)	62,7 ($\pm 0,57$)	67,8 ($\pm 10,75$)	65,3 ($\pm 2,55$)
ALÇADA (metres \pm DT)	1,68 ($\pm 0,06$)	1,64 ($\pm 0,05$)	1,75 ($\pm 0,06$)	1,69 ($\pm 0,06$)
Auto-empelt, cuixa lesionada i mes d'intervenció quirúrgica	4HT Esquerra-gener / 4HT Dreta-gener	4HT Dreta-gener / 4HT Esquerra- febrer	BPTB Esquerra-gener / 4HT Esquerra-febrer	

Taula 3: Mesura basal de la mostra en la pre-intervenció (4HT(auto-empelt del tendó de la corba),BPTB(tendó patel·lar) i DT(desviació estàndard)). Font: pròpia

5.2 Impacte del programa d'exercici físic en els perímetres i plecs cutanis de les dues cuixes

En la taula 5 es presenten les 3 mesures antropomètriques en les dues cuixes de la mostra en la pre-intervenció. En la cama no lesionada, en el grup control (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 57,1 cm , el perímetre de la cuixa (cm) és de 49,6 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 22,9 mm. En el grup BFR (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 60,7 cm , el perímetre de la cuixa (cm) és de 51,4 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 29,2 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 56,1 cm , el perímetre de la cuixa (cm) és de 50,1 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 25,3 mm. Les mitjanes totals de tot el grup en la cuixa no lesionada són: el perímetre del gluti (cm) és de 57,9 cm ($DT \pm 2,4$), el perímetre de la cuixa (cm) és de 50,4 cm ($DT \pm 0,9$) i el plec de la cuixa (mm) és de 25,8 ($DT \pm 3,2$).

En la cuixa lesionada, el grup control (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 56,6 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 48,8 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 22,1 mm. En el grup BFR (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 59 cm, el perímetre de la cuixa (cm)

és de 49,3 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 27,9 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 54,8 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 47,1 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 25,4 mm. En la cuixa lesionada, les mitjanes de tot el grup són de: en el perímetre del gluti (cm) és de 56,8 cm (DT± 2,1), el perímetre de la cuixa (cm) és de 48,4 cm (DT± 1,1) i el plec de la cuixa (mm) és de 25,1 (DT± 2,9).

En la taula 4 es presenten les 3 mesures antropomètriques en les dues cuixes de la mostra en la post-intervenció. En la cama no lesionada, en el grup control (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 57,5 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 50,3 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 23,2 mm. En el grup BFR (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 61,1 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 53,5 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 29,4 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) el perímetre del gluti (cm) és de 56,5 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 50,7 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 25,5 mm. Les mitjanes totals de tot el grup en la cuixa no lesionada són: el perímetre del gluti (cm) és de 58,4 cm (DT± 2,4), el perímetre de la cuixa (cm) és de 51,5 cm (DT± 1,8) i el plec de la cuixa (mm) és de 26 (DT± 3,1).

En la cuixa lesionada, el grup control (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 57,4 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 49,9 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 22,2 mm. En el grup BFR (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 60,7 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 51,1 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 28,3 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) té un perímetre del gluti (cm) de 56,1 cm, el perímetre de la cuixa (cm) és de 49 cm i el plec de la cuixa (mm) és de 24, mm. En la cuixa lesionada, les mitjanes de tot el grup són de: en el perímetre del gluti (cm) és de 58 cm (DT± 2,4), el perímetre de la cuixa (cm) és de 50 cm (DT± 1,1) i el plec de la cuixa (mm) és de 25 (DT± 3,1).

PRE-INTERVENCIÓ						
GRUP	CUIXA NO LESIONADA			CUIXA LESIONADA		
	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETRE CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETRE CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)
CONTROL	57,1	49,6	22,9	56,6	48,8	22,1
BFR	60,7	51,4	29,2	59,0	49,3	27,9
BFR+ERGO	56,1	50,1	25,3	54,8	47,1	25,4
MITJANA TOTAL	57,9	50,4	25,8	56,8	48,4	25,1
DT	2,4	0,9	3,2	2,1	1,1	2,9
POST-INTERVENCIÓ						
GRUP	CUIXA NO LESIONADA			CUIXA LESIONADA		
	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETRE CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETRE CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)
CONTROL	57,5	50,3	23,2	57,4	49,9	22,2
BFR	61,1	53,5	29,4	60,7	51,1	28,3
BFR+ERGO	56,5	50,7	25,5	56,1	49,0	24,5
MITJANA TOTAL	58,4	51,5	26,0	58,0	50,0	25,0
DT	2,4	1,8	3,1	2,4	1,1	3,1

Taula 4: Mesures antropomètriques pre i post-intervenció (BFR(Restricció del flux sanguini), ERGO(ajudes ergogèniques) i DT(desviació estàndard)).Font: pròpia.

En la taula 5 es mostren els resultats finals de les 3 mesures antropomètriques en les dues cuixes. En la cuixa no lesionada, el grup control ha obtingut una millora en (n=2) el perímetre del gluti (cm) de +0,4 cm , en el perímetre de la cuixa (cm) és de +0,7 cm i el plec de la cuixa (mm) ha augmentat +0,3 mm. En el grup BFR (n=2) el perímetre del gluti ha augmentat (cm) un de +0,5 cm , el perímetre de la cuixa (cm) amb +2,2 cm i el plec de la cuixa (mm) amb un augment de +0,3 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) el perímetre del gluti (cm) ha augmentat un +0,5 cm , el perímetre de la cuixa (cm) amb +0,6 cm i el plec de la cuixa (mm) amb +0,3 mm. Les mitjanes totals de tot el grup en la cuixa no lesionada són: el perímetre del gluti (cm) ha augmentat un +0,4 cm (DT± 0,03), el perímetre de la cuixa (cm) és de +1,1 cm (DT± 0,88) i el plec de la cuixa (mm) amb un augment de 0,3 mm (DT± 0,03).

Seguidament, es presenten els resultats en la cuixa lesionada, el grup control ha obtingut una millora en (n=2) el perímetre del gluti (cm) de +0,8 cm , en el perímetre de la cuixa (cm) és de +1,1 cm i el plec de la cuixa (mm) ha augmentat +0,1 mm. En el grup BFR (n=2) el perímetre del gluti ha augmentat (cm) un de +1,7 cm , el perímetre de la cuixa (cm) amb +1,9 cm i el plec de la cuixa (mm) amb un augment de +0,4 mm. En el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) el perímetre del gluti (cm) ha augmentat un +1,3 cm , el perímetre de la cuixa (cm) amb +1,9 cm i el plec de la cuixa (mm) amb una

disminució del 0,9 mm. Les mitjanes totals de tot el grup en la cuixa lesionada són: el perímetre del glutí (cm) ha augmentat un +1,2 cm (DT± 0,43), el perímetre de la cuixa (cm) és de +1,6 cm (DT± 0,43) i el plec de la cuixa (mm) amb una disminució de 0,1 mm (DT± 0,7).

RESULTATS FINALS MESURES ANTROPOMÈTRIQUES						
GRUP	CUIXA NO LESIONADA			CUIXA LESIONADA		
	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETR E CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)	PERÍMETRE GLUTI (cm)	PERÍMETR E CUIXA (cm)	PLEC CUIXA (mm)
CONTROL	0,4	0,7	0,3	0,8	1,1	0,1
BFR	0,5	2,2	0,3	1,7	1,9	0,4
BFR+ERG O	0,5	0,6	0,3	1,3	1,9	-0,9
MITJANA TOTAL	0,4	1,1	0,3	1,2	1,6	-0,1
DT	0,03	0,88	0,03	0,43	0,43	0,70

Taula 5: Resultats finals mesures antropomètriques (BFR(Restricció del flux sanguini), ERGO(ajudes ergogèniques) i DT(desviació estàndard)).Font: pròpia.

5.3 Impacte del programa d'exercici físic en l'àrea de secció transversal (CSA) de les dues cuixes

En la taula 6 es poden observar els resultats obtinguts del CSA de les dues cuixes. El grup control (n=2), ha passat de tenir 143,1 cm² en la cuixa no lesionada a obtenir 147,2 cm² després de la intervenció, això suposa un augment de 4,1 cm² en la cuixa no lesionada. En canvi, en la cuixa lesionada han passat d'una cuixa de 139,4 cm² a 146,6 cm², això suposa un augment de 7,2 cm². Per tant, l'augment ha estat major en la cuixa lesionada (+7,2 cm²) que en la cuixa no lesionada (+ 4,1 cm²).

En el grup BFR (n=2) han passat de tenir 141,6 cm² en la cuixa no lesionada a obtenir 155,9 cm² després de la intervenció, això suposa un augment de 14,3 cm² en la cuixa no lesionada. En canvi, en la cuixa lesionada han passat d'una cuixa de 130,4 cm² a 141,8 cm², això suposa un augment de 11,4 cm². Per tant, l'augment ha estat major en la cuixa no lesionada (+14,3 cm²) que en la cuixa no lesionada (+ 11,4, cm²).

Per últim, en el grup BFR i ajudes ergogèniques (n=2) han passat de tenir 141,4 cm² en la cuixa no lesionada a obtenir 144,7 cm² després de la intervenció, això suposa un augment de 3,3 cm² en la cuixa no lesionada. En canvi, en la cuixa lesionada han passat

d'una cuixa de 121,8 cm² a 135,4 cm², això suposa un augment de 13,6 cm². Per tant, l'augment ha estat major en la cuixa lesionada (+13,6 cm²) que en la cuixa no lesionada (+ 3,3 cm²).

De mitjana grupal (n=6), en la cuixa no lesionada s'ha passat de 142 cm² (DT± 0,94) a 149,3 cm² (DT± 5,89), el que suposa un augment de 7,3 cm² de mitjana. En canvi, en la cuixa lesionada s'ha passat de 130,5 cm² (DT± 8,82) a 141,3 cm² (DT± 5,62), el que suposa un augment de 10,8 cm² de mitjana.

RESULTATS PRE-INTERVENCIÓ ÀREA DE SECCIÓ TRANSVERSAL (CSA) DE LA CUIXA		
GRUP	CUIXA NO LESIONADA	CUIXA LESIONADA
	CSA CUIXA (cm ²)	CSA CUIXA (cm ²)
CONTROL	143,1	139,4
BFR	141,6	130,4
BFR+ERGO	141,4	121,8
MITJANA TOTAL	142,0	130,5
DT	0,94	8,82
RESULTATS POST-INTERVENCIÓ ÀREA DE SECCIÓ TRANSVERSAL (CSA) DE LA CUIXA		
GRUP	CUIXA NO LESIONADA	CUIXA LESIONADA
	CSA CUIXA (cm ²)	CSA CUIXA (cm ²)
CONTROL	147,2	146,6
BFR	155,9	141,8
BFR+ERGO	144,7	135,4
MITJANA TOTAL	149,3	141,3
DT	5,89	5,62

Taula 6 :Resultats del CSA en la pre i post-intervenció en tots els grups (BFR(Restricció del flux sanguini), ERGO(ajudes ergogèniques), CSA(Àrea de secció transversal) i DT(desviació estàndard)).Font: pròpia.

5.4 Impacte del programa d'exercici físic en la millora de l'àrea de secció transversal (CSA) de les dues cuixes

En la taula 7 i la figura 8, es poden observar els resultats obtinguts en format percentatge de millora en el CSA de les dues cuixes. El grup control (n=2), ha millorat un 2,87% en la cuixa no lesionada i un 5,16% en la cuixa lesionada, per tant, hi hagut un augment de 2,29% d'augment en la cuixa lesionada respecte la no lesionada. En el grup BFR (n=2), ha millorat un 10,1% en la cuixa no lesionada i un 8,74% en la cuixa lesionada, per tant, les diferències en les millores han sigut inferiors en la cuixa lesionada que la no lesionada, exactament de 1,36% inferior respecte la cuixa no lesionada. En el grup BFR

i ajudes ergogèniques (n=2), ha millorat un 2,33% en la cuixa no lesionada i un 11,17% en la cuixa lesionada, per tant, hi hagut un augment de 8,84% d'augment en la cuixa lesionada respecte la no lesionada.

De mitjana hi hagut un augment del 5,1% en la cuixa no lesionada (DT± 4,34) i un 8,36% (DT± 3,02) en la cuixa lesionada. Per tant, un augment de 3,26% major en la cuixa lesionada respecte la no lesionada

CANVIS EN L'ÀREA DE SECCIÓ TRANSVERSAL (CSA) (%)		
GRUP	CUIXA NO LESIONADA	CUIXA LESIONADA
	VARIACIÓ CSA (%)	VARIACIÓ CSA (%)
CONTROL	2,87 %	5,16 %
BFR	10,10 %	8,74 %
BFR+ERGO	2,33 %	11,17 %
MITJANA TOTAL	5,10 %	8,36 %
DT	4,34	3,02

Taula 7: Canvis en el CSA post-intervenció en tots els grups (BFR(Restricció del flux sanguini), ERGO(ajudes ergogèniques), CSA(Àrea de secció transversal) i DT(desviació estàndard)).Font: pròpia.

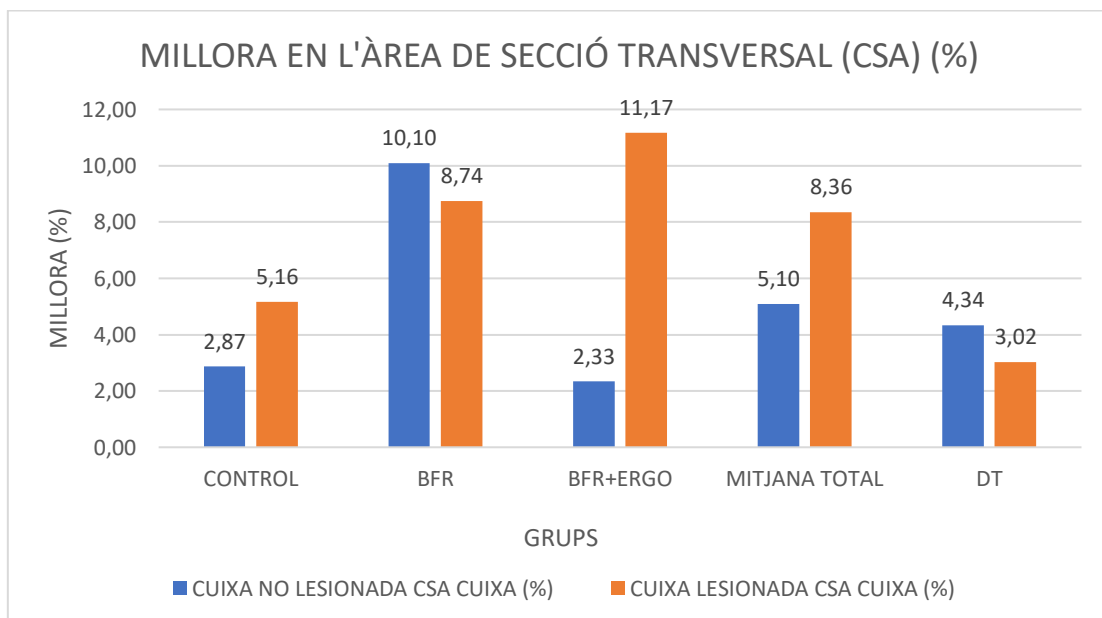


Figura 8: Canvis en el CSA post-intervenció en tots els grups (BFR(Restricció del flux sanguini), ERGO(ajudes ergogèniques), CSA(Àrea de secció transversal) i DT(desviació estàndard)).Font: pròpia.

6. Discussió

El present estudi mostra que la realització d'un programa d'entrenament de 4 setmanes amb una restricció del flux sanguini té un impacte positiu en la hipertròfia de la cuixa lesionada per la ruptura del LCA en pacients joves que han estat intervinguts quirúrgicament. A més, sembla que té un impacte lleugerament major en la hipertròfia de la cuixa lesionada si s'afegeix la suplementació amb ajudes ergogèniques.

Els resultats obtinguts mostren que l'aplicació del BFR amb càrregues una intensitat relativament baixes (20-30% d'1RM), altes repeticions per sèrie (15-30 repeticions) i intervals de descans curts (30") (Takarada et al.,2000) proporcionen beneficis en l'augment del CSA de la cuixa lesionada. En el grup BFR i el grup BFR i ajudes ergogèniques van tenir un augment de 8,74% i d'11,17% del CSA en la cuixa lesionada, aquest resultat es va ratificar per Ohta et al. (2003) que hi va haver un augment significatiu en els músculs extensors de l'àrea del rati del fèmur, el grup BFR va tenir un augment de 10 punts, en canvi, el grup control es va mantenir igual. En els músculs flexors de genoll l'augment va ser similar, 5 punts pel grup control i 6 punts pel grup BFR. En l'estudi de Lambert et al. (2019) va mostrar que la massa magra de l'extremitat lesionada va disminuir en el GC, però en el grup BFR es va mantenir tant a la setmana 6 com a la 12.

Els resultats obtinguts mostren que apart d'augmentar la massa muscular, ajuda a prevenir l'atròfia muscular que succeeix després d'una cirurgia del LCA. Els autors Iversen et al. (2014) van demostrar que 16 dies després de la cirurgia, el grup BFR va perdre el 13,8% i el GC va perdre un 13,1% del CSA del quàdriceps.

En el grup BFR i ajudes ergogèniques hi hagut uns resultats millors en la cuixa no lesionada que en el grup BFR i el grup control. Aquests resultats es pot demostrar gràcies a la suplementació en creatina ja que augmentava el CSA de les fibres musculars en un 10% (Hespetl et al.,2001). A més, els investigadors Nishiazaki et al. (2015) van demostrar que una artroplàstia total de genoll, la suplementació amb HMB i L-Glutamina els pacients perdien menys força del quàdriceps que el GC. Malgrat això, en altres investigacions s'ha demostrat que la suplementació no millorava la hipertròfia i la força del quàdriceps després de la cirurgia de LCA (Tyler et al.,2010; Roy et al.,2005).

La pèrdua de massa muscular és elevada al llarg dels primers 3 mesos després d'una reconstrucció del LCA. L'entrenament amb BFR permet produir adaptacions en la hipertròfia muscular sense comprometre un risc amb càrregues baixes del 30% 1RM. En l'estudi de Hughes et al. (2019) es va demostrar que l'entrenament BFR produïa una

hipertròfia similar (5,8% i 6,7% de millora, respectivament) a un entrenament amb altes càrregues (>70% 1RM).

El protocol d'actuació pel guany de massa muscular en la cuixa lesionada va tenir una freqüència de 2 cops per setmana, una càrrega del 30% 1RM, una durada de 10' amb la restricció sanguínia, una pressió del 80% de la LOP, 75 repeticions en total (30x15x15x15 repeticions), un descans entre repeticions de 30 segons i una restricció continua (Patterson et al.,2019). En altres estudis es realitzaven 5x20 repeticions durant 2 cops al dia (Iversent et al.,2014), altres 2 cops a la setmana realitzaven 4x30-15-15-15 repeticions amb 30 segons de descans.

Els exercicis escollits van ser l'extensió de genoll en una màquina de cadena cinètica oberta (CCO) i una flexió de genolls en una màquina de CCO. Lambert et al. (2019) es realitzaven exercicis isomètrics de quàdriceps, premsa de cames i curl d'isquiotibials. Altres protocols utilitzaven un press unilateral de cames (Hughes et al.,2019).

La investigació ha estat condicionada i limitada pels següents factors que s'expliquen a continuació:

En primer lloc, la mostra ha estat baixa (n=6). Malgrat que es va planificar l'estudi amb el centre R3, i va haver certa dificultat en trobar pacients que complissin amb els criteris d'inclusió degut a la seva concreció. Tot i haver-hi grup control, GE1 i GE2, la mostra és massa petita per determinar si els mètodes emprats són completament fiables en lesions de LCA.

En segon lloc, la manca de temps per part de l'investigador, del centre i dels pacients, no ha permès una major durada del programa que podria haver donat uns resultats més fiables. A més, també es podrien haver aplicat altres tests vinculats en la percepció del dolor i la funcionalitat del genoll en l'osteoartritis (WOMAC test o KOOS), en testos sobre la funcionalitat i qualitat de vida (SPPB, LFFDI o l'escala IKDC) o testos sobre la força isomètrica màxima.

En quart lloc, la dificultat de controlar completament els pacients en la seva vida, produeix que puguin haver hagut variacions en els aspectes que influeixen en la hipertròfia (bon descans nocturn, control de l'estrès o alimentació adequada i alta en proteïna). Es per això que en futures investigacions s'haurien de controlar aquestes variables per tal de determinar exactament el paper que té en la hipertròfia en els pacients i determinar amb major valides quina es la causa del increment o descens.

En cinquè lloc, el fet de que la marca AS&NL proporcionés el seu producte per tal de comprovar si produïa millores afegides va causar que s'utilitzés el seu producte que

conté diferents ingredients, fet pel qual no es pot determinar en quin percentatge ha contribuït cada ingredient que conté el producte en produir una hipertròfia en la cuixa lesionada.

En sisè lloc, les mesures antropomètriques es van realitzar segons les indicacions de la ISAK, malgrat això, per tal de determinar el CSA el millor mètode és la ressonància magnètica (IRM), però que no s'ha portat a terme degut al seu elevat cost. Això es pot haver vist afectat a l'hora dels resultats en que les mesures poden ser diferents degut a que en la majoria d'estudis s'utilitza el IRM.

Referent a la prospectiva d'investigació, aquest TFG és un estudi pilot que sembla indicar que combinar el BFR amb ajudes ergogèniques és més eficaç en la hipertròfia de la cuixa que exercicis més tradicionals. Es per això que es podria realitzar en mostres de major nombre i durant una durada més elevada per tal de poder afirmar amb major rotunditat. Aquest estudi es podria realitzar amb la inclusió de diferents testos, que s'apliquessin en els pacients i fossin quantitatius i/o qualitius, per tal de donar una major amplitud i profunditat a aquest problema. Com a implicació en un futur, aquest programa es podria realitzar en centres de fisioteràpia i gimnasos per la rehabilitació i readaptació en lesions articulars de genoll i d'altres lesions lligamentoses per tal de produir una hipertròfia en el múscul.

7. Conclusions

La realització d'un programa d'entrenament de 4 setmanes en pacients joves esportistes que han patit una lesió almenys 3 mesos després d'una cirurgia per la reconstrucció del LCA, obtenen beneficis en l'augment de la hipertròfia de la cuixa lesionada i un benefici incrementat si es suplementa amb ajudes ergogèniques. Per tant, l'aplicació d'aquesta tècnica de restricció del flux sanguini amb la combinació d'ajudes ergogèniques permeten unes millores majors en la hipertròfia de la cuixa que una metodologia més convencional. Es necessita més recerca i estudis de major durada i qualitat per treure'n conclusions amb més exactitud i precisió.

8. Reflexions i/o valoració personal del procés d'elaboració del TFG

Aquest treball final de grau és la culminació a una etapa en el grau de CAFE que ha anat despertant el meu interès de forma progressiva en l'àmbit de la salut, la readaptació de lesions i l'entrenament esportiu. La participació en un estudi científic en un entorn real i professional m'ha permès conèixer de més a prop la realitat que em trobaré. El fet

d'haver pogut estar al costat de grans professionals del centre R3, m'ha permès conèixer més sobre la lesió del LCA, mètodes a aplicar, i concretament, aprendre com realitzar l'entrenament amb BFR.

Aquesta experiència m'ha ajudat a nivell personal i professional, el que trobo més important és que m'ha introduït molt profundament en la investigació científica i com s'ha de realitzar per tal de complir amb tots els requeriments. A més, m'ha aportat una visió més ampla per tal d'aplicar en els casos clínics que em pugui trobar com a professional, a part de despertar un interès en la formació i actualització en un àmbit canviant i en continu moviment com és el de la salut i l'esport.

Durant el treball he pogut aplicar els coneixements i experiències que he pogut viure al llarg del grau que m'han servit de gran ajuda, especialment les optatives del últim curs en que he pogut treure-hi més aplicació pel meu TFG. En aquest treball, com durant tot el grau, he patit alts i baixos, però al final ho he aconseguit , així doncs, aquest treball no serà ni el primer ni l'últim. Aquest només és l'inici del camí per arribar a ser un gran professional en l'àmbit de l'esport i la salut.

10. Bibliografia

1. Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 17(7), 705-729.
2. Ardern, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., ... & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British journal of sports medicine*, 50(14), 853-864.
3. Asociación Española de Artroscopia. (2001). Informe sobre el perfil de la cirugía artroscópica en España. *Cuadernos de Artroscopia*, 8(1), 10-21.
4. Australian Institute of Sport (2021,març). *AIS position statement. Supplements and sports foods in high performance*. Recuperat 25 març 2021, de https://www.ais.gov.au/data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods-abridged_v2.pdf
5. Barker, T., Martins, T. B., Hill, H. R., Kjeldsberg, C. R., Trawick, R. H., Weaver, L. K., & Traber, M. G. (2011). *Low Vitamin D Impairs Strength Recovery After Anterior Cruciate Ligament Surgery*. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 16(3), 201–209. doi:10.1177/2156587211413768
6. Benjaminse, A., Gokeler, A., & van der Schans, C. P. (2006). Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 36(5), 267-288.
7. Booth, R. A., Goddard, B. A., & Paton, A. (1966). Measurement of fat thickness in man: a comparison of ultrasound, Harpenden calipers and electrical conductivity. *The British journal of nutrition*, 20(4), 719–725. <https://doi.org/10.1079/bjn19660073>
8. Buford, T. W., Kreider, R. B., Stout, J. R., Greenwood, M., Campbell, B., Spano, M., Ziegenfuss, T., Lopez, H., Landis, J., & Antonio, J. (2007). International Society of Sports Nutrition position stand: creatine supplementation and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 4, 6. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-4-6>
9. Burke, D. G., Chilibeck, P. D., Parise, G., Candow, D. G., Mahoney, D., & Tarnopolsky, M. (2003). Effect of creatine and weight training on muscle creatine

- and performance in vegetarians. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(11), 1946–1955. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000093614.17517.79>
10. Campbell, D., i Stanley, J. (1978). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*. Buenos Aires: Amorrortu.
 11. Canda, A. (2015). Puntos de corte de diferentes parámetros antropométricos para el diagnóstico de sarcopenia. *Nutrición Hospitalaria*, 32(2), 765-770.
 12. Charles, D., White, R., Reyes, C., & Palmer, D. (2020). A SYSTEMATIC REVIEW OF THE EFFECTS OF BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING ON QUADRICEPS MUSCLE ATROPHY AND CIRCUMFERENCE POST ACL RECONSTRUCTION. *International journal of sports physical therapy*, 15(6), 882–891. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200882>
 13. Coster, J., McCauley, R., & Hall, J. (2004). Glutamine: metabolism and application in nutrition support. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 13(1), 25–31.
 14. Cribb, P. J., Williams, A. D., Stathis, C. G., Carey, M. F., & Hayes, A. (2007). Effects of whey isolate, creatine, and resistance training on muscle hypertrophy. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 298–307. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247002.32589.ef>
 15. DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L., & LaPrade, R. F. (2018). Blood flow restriction therapy after knee surgery: indications, safety considerations, and postoperative protocol. *Arthroscopy techniques*, 7(10), e1037-e1043.
 16. Duthon, V. B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Ménétrey, J. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 14(3), 204–213. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0679-9>
 17. Esparza, F., Vaquero, R., Marfell, M. (2019). *Protocolo Internacional para la Valoración Antropométrica*. Universidad Católica de Murcia (UCAM).
 18. Filbay, S. R., & Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 33(1), 33-47.
 19. Gleeson M. (2008). Dosing and efficacy of glutamine supplementation in human exercise and sport training. *The Journal of nutrition*, 138(10), 2045S–2049S. <https://doi.org/10.1093/jn/138.10.2045S>
 20. Goldblatt, J. P., Fitzsimmons, S. E., Balk, E., & Richmond, J. C. (2005). Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon

- versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 21(7), 791-803.
21. Griffin, L. Y., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Bahr, R., Beynnon, B. D., DeMaio, M., ... Yu, B. (2006). Understanding and Preventing Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(9), 1512–1532. doi:10.1177/0363546506286866
 22. Griffin, L. Y., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Bahr, R., Beynnon, B. D., DeMaio, M., ... & Yu, B. (2006). Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *The American journal of sports medicine*, 34(9), 1512-1532.
 23. Grindem, H., Snyder-Mackler, L., Moksnes, H., Engebretsen, L., & Risberg, M. A. (2016). Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *British journal of sports medicine*, 50(13), 804–808. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096031>
 24. Holick, M. F., Binkley, N. C., Bischoff-Ferrari, H. A., Gordon, C. M., Hanley, D. A., Heaney, R. P., Murad, M. H., & Weaver, C. M. (2012). Guidelines for preventing and treating vitamin D deficiency and insufficiency revisited. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 97(4), 1153–1158. <https://doi.org/10.1210/jc.2011-2601>
 25. Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., ... & Patterson, S. D. (2019). Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: a UK National Health Service randomised controlled trial. *Sports Medicine*, 49(11), 1787-1805.
 26. Hughes, L., Rosenblatt, B., Paton, B., & Patterson, S. D. (2018). Blood Flow Restriction Training in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery: A review. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 106–113. doi:10.1097/bto.0000000000000265
 27. Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of sport and health science*, 5(1), 115–118. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>
 28. Kacin, A., Rosenblatt, B., Žargi, T. G., & Biswas, A. (2015). Safety considerations with blood flow restricted resistance training. *Annales Kinesiologiae*, 6(1), 3-26
 29. Kaczka, P., Michalczyk, M. M., Jastrzab, R., Gawelczyk, M., & Kubicka, K. (2019). Mechanism of Action and the Effect of Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyrate (HMB) Supplementation on Different Types of Physical Performance - A

- Systematic Review. *Journal of human kinetics*, 68, 211–222.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0070>
30. Kaeding, C. C., Léger-St-Jean, B., & Magnussen, R. A. (2017). Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clinics in sports medicine*, 36(1), 1-8.
 31. Kimball, S. R., & Jefferson, L. S. (2006). Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. *The Journal of nutrition*, 136(1 Suppl), 227S–31S.
<https://doi.org/10.1093/jn/136.1.227S>
 32. Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., Ziegenfuss, T. N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D. G., Kleiner, S. M., Almada, A. L., & Lopez, H. L. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 18. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0173-z>
 33. Lejkowski, P. M., & Pajaczowski, J. A. (2011). Utilization of Vascular Restriction Training in post-surgical knee rehabilitation: a case report and introduction to an under-reported training technique. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 55(4), 280–287.
 34. Lepley, L. K., Wojtys, E. M., & Palmieri-Smith, R. M. (2015). Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *The Knee*, 22(3), 270–277.
<https://doi.org/10.1016/j.knee.2014.11.013>
 35. Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International journal of sports medicine*, 31(01), 1-4.
 36. Logerstedt, D. S., Snyder-Mackler, L., Ritter, R. C., Axe, M. J., & Godges, J. J. (2010). Knee stability and movement coordination impairments: knee ligament sprain: clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability, and health from the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(4), A1-A37.
 37. Mad-Up. (2020). Mad-Up Pro. Recuperat el 24 de gener de 2021, de <https://mad-up.com/en/mad-up-pro>
 38. Ministerio de Cultura y Deporte. (2019, maig). Anuario de Estadísticas Deportivas Recuperat 11 de febrer de: <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:dc406096-a312-4b9d-bd73-2830d0affb2d/anuario-de-estadisticas-deportivas-2019.pdf>

39. Mordes, J. P., & Wacker, W. E. (1977). Excess magnesium. *Pharmacological reviews*, 29(4), 273–300.
40. Moreno C. Estudio epidemiológico de las lesiones Deportivas del aparato locomotor en la provincia de Salamanca 1991-1994.[Tesis Doctoral]. Salamanca: Universidad de Salamanca, Facultad de Medicina; 2002.
41. Moreno,C., Rodríguez,V i Seco,J. (2008). Epimediología de las lesiones Deportivas. Moreno Pascual, C., Rodríguez Pérez, V., & Seco Calvo, J. (2008). Epidemiología de las lesiones deportivas. *Revista Fisioterapia*, 30(1), 40–48.doi:10.1016/s0211-5638(08)72954-7
42. Murphy, D. F., Connolly, D. A. J., & Beynnon, B. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British journal of sports medicine*, 37(1), 13-29.
43. Murphy, D. F., Connolly, D. A. J., & Beynnon, B. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British journal of sports medicine*, 37(1), 13-29.
44. Mutualitat Catalana de Futbolistes (2017, maig 25). Anàlisi epidemiològic de 125.251 lesions de futbolistes de la mutualitat durant cinc temporades. Recuperat 25 de gener 2021, de: https://www.mcf.cat/wp_mcf/2017/05/25/analisi-epidemiologic-de-125-251-lesions-de-futbolistes-de-la-mutualitat-durant-cinc-temporades/
45. Naciones Unidas (2021,març).Juventud. Recuperat 12 de març de: <https://www.un.org/es/global-issues/youth>
46. Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., ... & Nagata, T. (2006). Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *International journal of KAATSU training research*, 2(1), 5-13.
47. Nishizaki, K., Ikegami, H., Tanaka, Y., Imai, R., & Matsumura, H. (2015). Effects of supplementation with a combination of β -hydroxy- β -methyl butyrate, L-arginine, and L-glutamine on postoperative recovery of quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 24(3), 412–420. <https://doi.org/10.6133/apjcn.2015.24.3.01>
48. Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 74(1), 62–68. <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>
49. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise:

- Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
50. Pró,A. (2011). Anatomía clínica (1a ed.). Editorial Médica Panamericana S.A.
51. Pujals, C., Rubio, V. J., Marquez, M. O., Sánchez Iglesias, I., i Ruiz Barquín, R. (2016). Comparative sport injury epidemiological study on a Spanish sample of 25 different sports. *Revista de psicología del deporte*, 25(2), 0271-279.
52. Roy, B. D., de Beer, J., Harvey, D., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Creatine monohydrate supplementation does not improve functional recovery after total knee arthroplasty. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(7), 1293–1298. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.01.005>
53. Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (1998). Metodología de la investigación (Vol. 1, pp. 233-426). México, DF: Mcgraw-hill.
54. Sepúlveda, F., Sánchez, L., Amy, E., & Micheo, W. (2017). Anterior cruciate ligament injury: return to play, function and long-term considerations. *Current sports medicine reports*, 16(3), 172-178.
55. Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 19(8), 669-675.
56. Smith, H. C., Vacek, P., Johnson, R. J., Slauterbeck, J. R., Hashemi, J., Shultz, S., & Beynnon, B. D. (2011). Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 4(2), 155–161. doi:10.1177/1941738111428282
57. Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
58. Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusions diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(12), 2035-2039.
59. Tyler, T. F., Nicholas, S. J., Hershman, E. B., Glace, B. W., Mullaney, M. J., & McHugh, M. P. (2004). The effect of creatine supplementation on strength recovery after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial. *The American journal of sports medicine*, 32(2), 383–388. <https://doi.org/10.1177/0363546503261731>

60. Van Dyck, P., Vanhoenacker, F. M., Lambrecht, V., Wouters, K., Gielen, J. L., Dossche, L., & Parizel, P. M. (2013). Prospective comparison of 1.5 and 3.0-T MRI for evaluating the knee menisci and ACL. *JBJS*, 95(10), 916-924
61. van Melick, N., van Cingel, R. E., Brooijmans, F., Neeter, C., van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. (2016). Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British journal of sports medicine*, 50(24), 1506-1515.
62. Waldén, M., Hägglund, M., Magnusson, H., & Ekstrand, J. (2011). Anterior cruciate ligament injury in elite football: a prospective three-cohort study. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 19(1), 11-19
63. Zhang, R., & Naughton, D. P. (2010). Vitamin D in health and disease: current perspectives. *Nutrition journal*, 9, 65. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-65>
64. Zhang, Y., Xun, P., Wang, R., Mao, L., & He, K. (2017). Can Magnesium Enhance Exercise Performance?. *Nutrients*, 9(9), 946. <https://doi.org/10.3390/nu9090946>

11. Annex

11.1 Annex 1: Consentiment informat



MODEL DE CONSENTIMENT INFORMAT PER ESCRIT

Títol de la investigació científica

Jo

He rebut una explicació satisfactòria referent a la investigació, la seva finalitat, els possibles riscos i beneficis d'ella.

He pogut fer preguntes sobre l'estudi.

He parlat amb(Nom de l'investigador).....

Comprenc que la meua participació es voluntària.

Comprenc que puc retirar-me de l'estudi quan jo decideixi pels següents motius:

- Quan desitgi
- Sense donar ningun tipus d'explicacions
- Sense que això repercuteixi en les meves cures mèdiques

Presto lliurement la meua conformitat a participar en aquesta investigació científica

Lloc i Data: Manresa a de/d' de

Nom i cognoms:

NIF:

Firma del participant

11.2 Annex 2: Material utilitzat per les mesures antropomètriques



Plicòmetre Harpenden i cinta mètrica Realmet BCN. Font: pròpia



Tanita BC-730 Innerscan. Font: Tanita



Altímetre SECA 213. Font: Seca

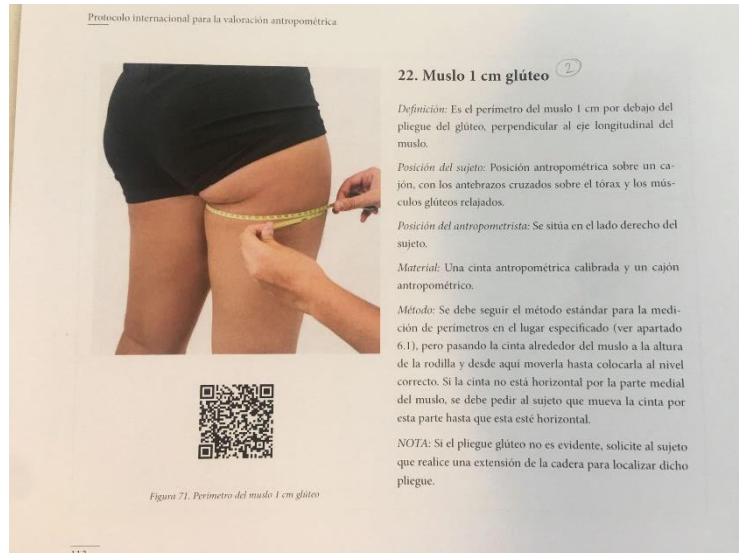
APARELL	MARCA	ESPECIFICACIONS
PLICÒMETRE	HARPENDEN	Graduació de la esfera: 0,20 mm. Rang de mesurament: 0 mm-80 mm Pressió de mesurament: 10 gms/mm ² (constant en tot el rang) Precisió: 99% Repetibilitat: 0,20 mm
BÀSCULA	Tanita BC-730 Innerscan	Pes: 880g. Dimensions de l'article: 26 x 3,5 x 21,59 cm
CINTA ANTROPOMÈTRICA	REALMET BCN	Longitud total: 2m. Ample: 6mm. Pes:100g
ALTÍMETRE	SECA 213	Rangs de medició: 20-205 cm Dimensions: 337 x 2165 x 590 mm Pes net: 2,4 kg

Especificacions instruments de mesura. Font: pròpia

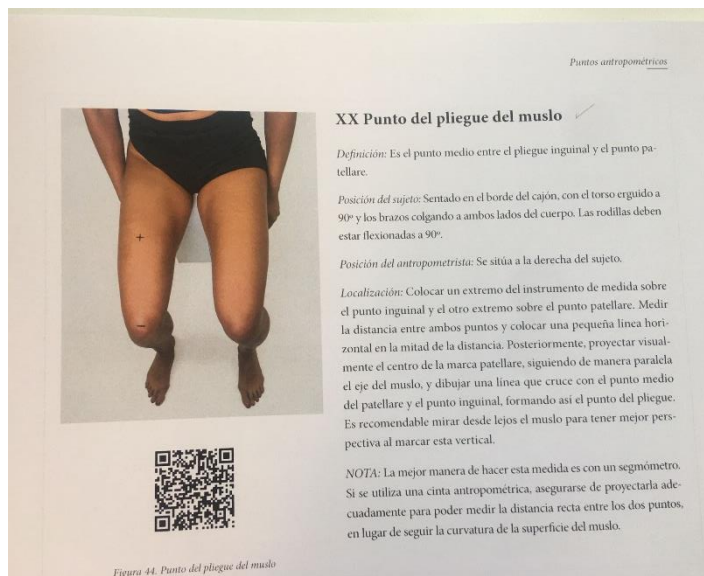
11.3 Annex 3: Mesures antropomètriques per la ISAK



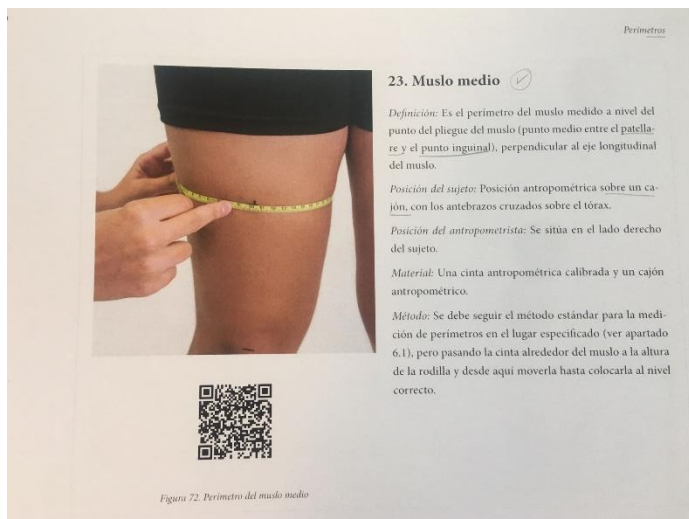
Plec del gluti. Font: ISAK (2019)
Font: ISAK (2019)



Perímetre 1cm del gluti.



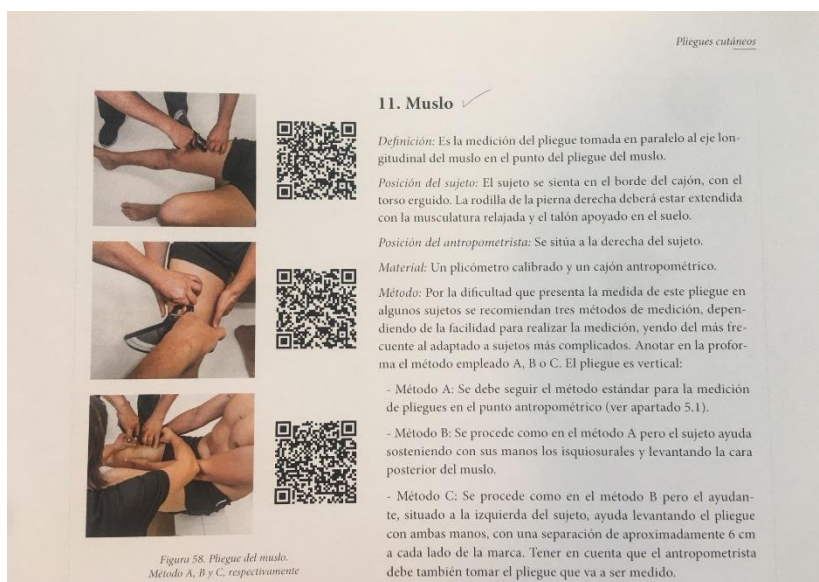
Punt del plec cutani de la cuixa. Font: ISAK (2019)



Perímetre mig de la cuixa. Font: ISAK (2019)
ISAK (2019)



Punt de la patel·la. Font:




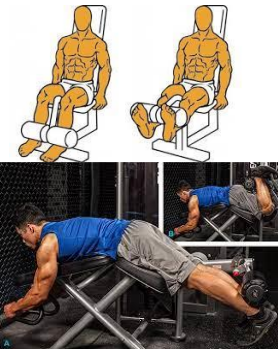

Mesura del plec cutani de la cuixa mitja. Font: ISAK (2019)

11.4 Annex 4 : Aparell Mad-Up Pro per la restricció del flux sanguini


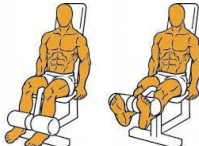



Aparell Mad-Up Pro. Font:pròpia


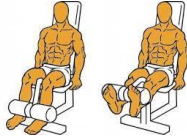



11.5 Annex 5 : Fitxa d'exercicis

FITXA SESSIÓ GRUP CONTROL				
DADES SUBJECTE				
SUBJECTE	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
ESPORT	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
		DURACIÓ INTERVENCIÓ	X	
DADES DE LA LESIÓ (TIPUS)				
SESSIÓ				
1. ESCALFAMENT				
DURACIÓ	5' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			
2. PART PRINCIPAL				
PART	1			
SÈRIES	1			
REPETICIONS	30-15-15-15			
EXERCICI	EXTENSIÓ DE QUÀDRICEPS I FLEXIÓ D'ISQUIOTIBIALS			
DESCANS ENTRE REPETICIONS	30"			
INTENSITAT	30%RM			
3. TORNADA A LA CALMA				
DESCANS ENTRE SÈRIES	3' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			

Font: pròpia

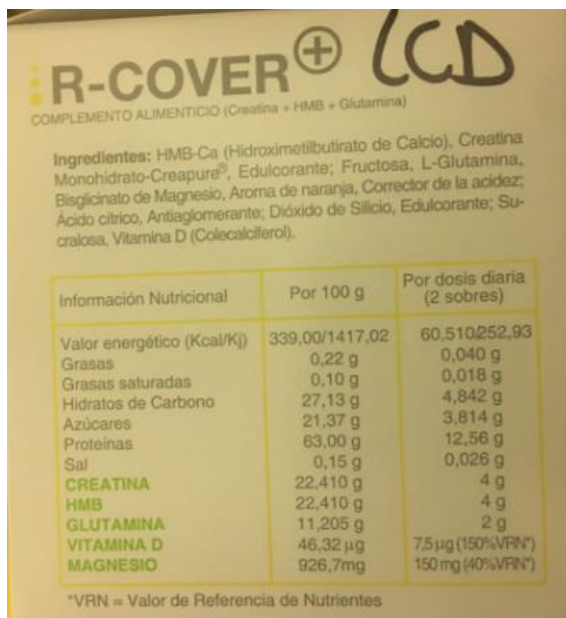
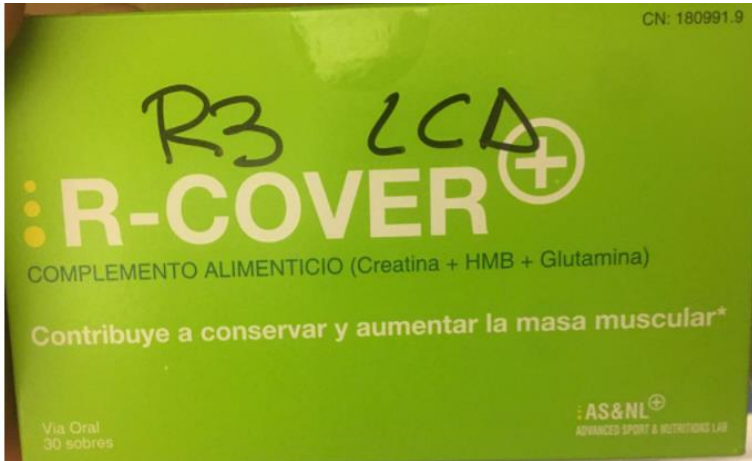
FITXA SESSIÓ GRUP EXPERIMENTAL 1				
DADES SUBJECTE				
SUBJECTE	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
ESPORT	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
		DURACIÓ INTERVENCIÓ	X	
DADES DE LA LESIÓ (TIPUS)				
SESSIÓ				
1. ESCALFAMENT				
DURACIÓ	5' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			
2. PART PRINCIPAL				
PART	1			
SÈRIES	1			
REPETICIONS	30-15-15-15			
EXERCICI	EXTENSIÓ DE QUÀDRICEPS I FLEXIÓ D'ISQUIOTIBIALS			
DESCANS ENTRE REPETICIONS	30"			
INTENSITAT	30%RM			
% LOP (LIMB OCCLUSION PRESSURE)	80%LOP			
		 		
3. TORNADA A LA CALMA				
DESCANS ENTRE SÈRIES	3' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			

Font: pròpia

FITXA SESSIÓ GRUP EXPERIMENTAL 2				
DADES SUBJECTE				
SUBJECTE	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
ESPORT	X	INICI REHABILITACIÓ	X	
		DURACIÓ INTERVENCIÓ	X	
DADES DE LA LESIÓ (TIPUS)				
SESSIÓ				
1. ESCALFAMENT				
DURACIÓ	5' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			
2. PART PRINCIPAL		 		
PART	1			
SÈRIES	1			
REPETICIONS	30-15-15-15			
EXERCICI	EXTENSIÓ DE QUÀDRICEPS I FLEXIÓ D'ISQUIOTIBIALS			
DESCANS ENTRE REPETICIONS	30"			
INTENSITAT	30%RM			
% LOP (LIMB OCCLUSION PRESSURE)	80%LOP			
3. TORNADA A LA CALMA				
DESCANS ENTRE SÈRIES	3' BICICLETA ESTÀTICA			
INTENSITAT	BAIXA- CADÈNCIA LLIURE			
4. AJUDA ERGOGÈNICA				
DOSIS	1 sobre (8,93g)+ aigua els 30' posteriors la sessió			

Font: pròpia

11.6 Annex 6 : Producte AS&NL



Producte R-Cover de la marca AS&NL. Font: pròpia