

**LA INFLUÈNCIA DE LES CAPACITATS  
DE LES EXTREMITATS INFERIORS EN  
EL RENDIMENT ESPORTIU.  
VALORACIÓ D'UN PROTOCOL  
D'ENTRENAMENT PER RETARDAR  
L'APARICIÓ DE LA FATIGA  
NEUROMUSCULAR**

Treball de final de Grau de Ciències de  
l'Activitat Física i de l'Esport

Arnau BAENA RIERA

Curs 2018-2019

Tutora: Xantal Borràs Boix

Vic, 17 de maig de 2019





## Resum

La fatiga neuromuscular és una resposta fisiològica que s'entén com qualsevol reducció de la capacitat de producció de força o potència associada amb un increment real o subjectiu de la dificultat d'un exercici, independentment de si la tasca es pot seguir desenvolupant o no. Aquesta té un efecte perjudicial sobre el rendiment físic, pel que serà un element no desitjat en esportistes de tots nivells. D'aquesta manera, l'objectiu d'aquest estudi va ser la valoració de l'efecte d'un protocol d'entrenament de 6 setmanes per retardar l'aparició de la fatiga neuromuscular en un grup d'esportistes joves de diferents modalitats. Aquest va seguir una metodologia basada en l'aprenentatge diferencial i la prevenció de lesions, i per avaluar les adaptacions generades, es van tenir en compte la reacció d'alguns indicadors davant un protocol de generació de fatiga: (1) Alçada i ràtio de temps de vol - temps de contacte en salt des d'esquat, amb contramoviment, i des de caiguda; (2) Velocitat mitjana i pèrdua d'aquesta de forma lineal general i angular del genoll en esquat. Es van detectar millores en els valors d'alçada en salt des de caiguda, en la ràtio esmentada en salt des d'esquat i des de caiguda, en la velocitat mitjana angular, en la pèrdua de velocitat lineal general, i en la fatiga subjectiva, mentre que els resultats en la resta de casos no van ser els esperats. No obstant això, s'hipotetitza que la causa d'aquesta situació pot haver estat influenciada per diferents aspectes, de manera que aquest estudi s'hauria de repetir en unes condicions més òptimes per determinar l'efecte real del procediment. **Paraules clau:** Aprenentatge diferencial, prevenció de lesions, salt vertical, esquat.

## Abstract

Neuromuscular fatigue is a physiological response that is conceived as any decrease in strength or power production capacity, which is associated with an increment in real or subjective exercise difficulty, regardless of whether the task can still be performed or not. Its occurrence has a detrimental effect on physical performance, therefore making it an undesirable manifestation for any kind of sportsperson. Bearing in mind the aforementioned arguments, the aim of this study was to assess the effect of a 6-week training programme with the intention of delaying the onset of neuromuscular fatigue in a group of multidisciplinary young sportspeople. Its methodology was based on differential learning and injury prevention, and in order to judge the adaptations generated, the reaction of some indicators when facing a fatiguing protocol was analysed: (1) Height and ratio of flight-to-contraction time in squat jump, countermovement jump and drop jump; (2) General linear and knee angular mean velocity and its decrease during the squat movement. Improvements were detected in the values of height in drop jump, of the abovenamed ratio in squat jump and drop jump, of angular mean velocity, of general linear velocity decrease, and of subjective fatigue, while the results for the other cases were not the expected ones. Notwithstanding, it is hypothesised that there are various aspects of the study that could have contributed to the observed situation, hence implying that it should be performed in more optimal conditions to gauge the real effect of the procedure. **Keywords:** Differential learning, injury prevention, vertical jump, squat.

# Índex

1. Introducció.....	2
2. Marc Teòric.....	4
2.1. Què és la fatiga neuromuscular? .....	4
2.2. Importància del seu control .....	10
2.3. Mètodes d'avaluació.....	11
2.4. Instruments de mesura .....	20
2.5. Metodologies d'entrenament.....	23
2.5.1 Un exemple pràctic.....	26
3. Objectius i hipòtesi .....	32
4. Procediment .....	33
4.1. Material i mètode .....	33
4.1.1. Mostra .....	33
4.1.2. Protocol d'entrenament.....	35
4.1.3. Valoració de la FN .....	44
4.1.4. Instruments .....	52
4.1.5. Indicadors .....	56
4.2. Resultats .....	60
4.3. Discussió.....	72
5. Conclusions.....	91
6. Bibliografia.....	96
6.1. Altres fonts usades.....	102
7. Annex .....	104
a) Progressions dels esportistes en els exercicis del protocol d'entrenament desenvolupat .....	104
b) Escala de Borg utilitzada durant les preses de mesures.....	105

# 1. Introducció

El present document ha estat elaborat íntegrament per mi, Arnau Baena Riera, estudiant de quart curs del grau de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport a la UVic-UCC, i representa el meu treball final de grau. El motiu pel qual se'ns fa desenvolupar aquest, és perquè simbolitza la culminació d'aquesta etapa universitària, i implica una mostra que el procés d'aprenentatge al llarg dels diferents anys i assignatures cursades ha existit.

Una vegada dit això, aquest treball avaluarà l'efecte d'un protocol d'entrenament per millorar la resistència a la fatiga neuromuscular en un grup d'esportistes de diferents modalitats. Per tal de fer-ho, aquest tindrà una estructuració que facilitarà l'entesa del procediment seguit per la seva elaboració, la qual es definirà a continuació.

Primerament, es desenvoluparà una fonamentació teòrica, en la qual s'explicarà què és aquest tipus de fatiga, quina és la importància del seu control, diferents mètodes i instruments per mesurar-la, i metodologies pel seu entrenament. Una vegada fet això, es passarà a fer una definició dels objectius que em vaig plantejar per elaborar aquest estudi i la seva hipòtesi, tots aquests factors relacionats amb el protocol d'entrenament i la seva efectivitat en el seu propòsit, el qual ja s'ha esmentat.

Després, es prosseguirà a determinar el procediment pràctic que es va dur a terme per donar resposta a totes les fites que es van voler aconseguir i comprovar la hipòtesi. Per fer-ho, es definirà tant la mostra participant en el treball, com el protocol d'entrenament en qüestió. D'altra banda, i un cop realitzat això, es presentarà la forma en la qual es va produir la valoració de la fatiga neuromuscular, seguida dels instruments i indicadors que es van prendre com a referència per executar-ho.

A continuació, es farà una exposició dels resultats de tot aquest procés, per, tot seguit, desenvolupar una discussió en la qual s'analitzin aquests, i així poder entendre quin va ser l'efecte real de tot el procediment en els participants. Finalment, hi haurà la conclusió, apartat en el qual es revisarà el grau d'assoliment dels objectius i de confirmació de la hipòtesi, i s'esmentaran una sèrie de limitacions que, segons el meu parer, han aparegut en el transcurs d'elaboració d'aquest estudi.

Com a últim apartat, es presentarà el recull de totes aquelles fonts bibliogràfiques utilitzades per la redacció d'aquest document, les quals, tant dins el text com en aquesta secció, estaran fetes en concordança amb el format de l'*American Psychological Association*, ja que és la que s'indica com a recomanada des de la universitat.

A part, trobo destacable esmentar que aquesta manera d'estructurar el treball ha estat l'escollida, ja que, a part que és la que se'ns mostra com a model referent des de les pautes per la seva elaboració, considero que permet fer un seguiment d'aquest per a persones que no tinguin cap mena de coneixement previ respecte a la fatiga neuromuscular. Això és així, ja que primerament es donen totes les bases de forma teòrica per tal d'entendre-la, per a continuació poder passar a la part pràctica amb cert coneixement al respecte, i tenir una major comprensió dels resultats, discussions i conclusions que es puguin produir.

Una vegada dit això, cal recalcar que el motiu pel qual aquest document tan important dins el meu grau té aquesta temàtica, és pel fet que, des del meu punt de vista, la fatiga neuromuscular és un aspecte molt influent en el rendiment final dels esportistes, i que, tot i això, és força desconeguda i es passa per alt en la majoria dels entorns d'entrenament. Per tant, ser capaç de fer una avaluació d'aquesta, és quelcom que considero que pot donar un valor afegit al procediment d'aprenentatge que he assolit mitjançant tots els coneixements que se m'han facilitat en les diferents assignatures que he cursat aquests últims anys en el grau.

A més a més, per aquesta mateixa desconeixença general, les metodologies d'entrenament que existeixen per millorar la resistència a aquesta manifestació moltes vegades són poc comunes, de manera que tenir la possibilitat d'ampliar el meu saber en aquest camp, va ser quelcom que també em va dur a escollir aquesta temàtica. Per tant, la meva motivació rau en el fet de poder rebre coneixements nous que si no fos per aquest treball, no hauria adquirit fins al moment.

Per acabar, crec que s'ha de ressaltar que les característiques del meu ambient també van influir en la decisió de la direcció del meu treball final de grau, ja que aquestes em facilitaven tant l'obtenció de la mostra com d'instruments de mesura, i la disponibilitat de tenir un control que l'entrenament seleccionat es desenvolupava com havia estat plantejat. Un cop feta aquesta introducció, es passarà a les parts ja esmentades en aquesta, i que a l'índex s'han presentat amb els seus títols corresponents.

## 2. Marc Teòric

### 2.1. Què és la fatiga neuromuscular?

La fatiga neuromuscular (FN) és un terme de difícil definició i complex com a fenomen (Drake i Kennedy, 2017), fet que es pot identificar en la diferència que és visible en la literatura que hi ha en diversos camps, i que Taylor (2012) recull i reflexa en la seva tesi, de manera que segons l'àmbit des del qual s'estigui parlant, i com aquest últim autor mostra en el seu treball, aquest tipus d'efecte que es dona en el nostre cos s'entendrà d'una forma o d'una altra:

- A l'àmbit de la biomecànica, és definit com una reducció en la capacitat de generació de força del múscul, o una reducció en la seva eficiència.

- Pels experts en psicologia, es veu com una sensació o percepció de cansament, o una disminució en la funció cognitiva.

- En el cas de la fisiologia, es diu que la FN es manifesta com una limitació d'un sistema fisiològic específic, com per exemple la incapacitat del cor de suplir suficient torrent sanguini al teixit muscular que estigui treballant, o la incapacitat del múscul de produir el cicle d'excitació-contracció.

- Dins la neurologia, es veu com una reducció en la capacitat transmissora nerviosa o en l'activació neuronal.

A més a més, si es fa una revisió dins de la literatura de l'àmbit específic de l'activitat física i de l'esport, es pot veure que aquest concepte, encara que tingui unes definicions semblants, no acaba d'estar completament consolidat com un concepte igual per tots els investigadors. D'aquesta manera, al llarg d'aquest treball la FN serà entesa com Boyas i Guével (2011) la descriuen, i que de forma resumida es veuria reflectida en la següent frase: consisteix en qualsevol reducció de la capacitat de producció de força o potència associada amb un increment real o subjectiu de la dificultat d'un exercici, independentment de si la tasca que es vol fer es pot seguir desenvolupant o no.

Tal com es veu en la definició, la FN és quelcom que serà relacionat amb un exercici en concret, i és que com diferents autors aclareixen (Boyas i Guével, 2011; Buckle, Button, Collins, Pearcey, i Power, 2018; Cairns, Knicker, Sjøgaard, i Thompson, 2005; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), aquesta és directament relacionada amb allò que s'està fent, és a dir, és dependent de la tasca desenvolupada per la persona en qüestió. A part d'aquesta dependència en la tasca, s'ha demostrat que aquesta serà diferent en funció del múscul i la seva composició (Bocock et al., 2018; Boyas i Guével, 2011; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), i, tot i que menys estudiat, un altre factor influent serà l'edat del subjecte (Bocock et al., 2018).

Per tal de seguir amb la delimitació de la FN, és essencial poder entendre quien és el seu origen, ja que, com ja s'ha dit, aquest és complex, i per tant, és important concebre com funciona per tal de comprendre'l millor. D'altra banda, novament es troba que a la literatura hi ha bastant confusió en aquest tema, pel fet que encara s'estan fent investigacions per acabar d'esbrinar-lo.

No obstant això, per la redacció i elaboració d'aquest treball s'ha seguit el que Boyas i Guével (2011) defineixen en el seu treball, i és que aquesta té una doble etiologia: una de central i una de perifèrica. A més a més, aquest origen es pot donar a la vegada o de forma individual (Balloch, 2018), és a dir, tant pot ser d'origen únicament central, com únicament perifèric, o dels dos alhora.

El fet que existeixen aquests dos orígens és clar entre les diferents publicacions realitzades a l'àmbit (Balloch, 2018; Bocock et al., 2018; Boyas i Guével, 2011; Buckle et al., 2018; Drake i Kennedy, 2017), però la controvèrsia es troba en l'explicació de les afectacions generades per cadascun d'ells a la pràctica.

Segons Boyas i Guével (2011), pel que fa a la central, pot ser traduïda en alteracions en l'activació del còrtex motor primari, en la propagació de les ordres del sistema nerviós central cap a les motoneurones, o en l'activació de les unitats motores i músculs, mentre que les afectacions a la perifèrica es donen en la propagació neuromuscular, en el cicle d'excitació-contracció, en la disponibilitat de subministraments energètics, l'estat del medi intracel·lular, l'actuació de l'aparell contràctil, i el reg sanguini.

D'aquesta manera i seguint amb el treball dels autors que s'ha mencionat, es pot entendre que la fatiga central és una degradació de l'activació voluntària del múscul, que és progressiva i deguda a un exercici, i engloba tots els fenòmens fisiològics espinosos i supraespinosos que són capaços d'induir una disminució en l'excitació de les motoneurons. D'altra banda, la fatiga perifèrica està més connectada amb una alteració en la capacitat contràctil muscular, i segons Balloch (2018), aquesta està més relacionada amb la generació de metabòlits i la depleció de reserves energètiques que dificulten les funcions cel·lulars i de contracció del múscul esquelètic.

Per tant, i tenint en compte tot això, cal destacar que la FN no té un origen únic i serà variable en funció de diferents factors, de manera que es pot entendre que aquesta té una etiologia multifactorial (Boyas i Guével, 2011; Cairns et al., 2005).

A causa de tots aquests factors, i per situacions més complexes, hi ha una sèrie de fenòmens relacionats amb la FN que s'han de mencionar, i que són destacables ja sigui per la seva utilitat dins el rendiment esportiu, o per com poden afectar en la identificació de la mateixa en diferents tests o proves.

Primerament, cal parlar de la teoria dels sistemes dinàmics, la qual és discutida per Drake i Kennedy (2017), i que defineixen com el fet que la tècnica utilitzada per desenvolupar un moviment pot ser modificada a l'hora de voler tenir un resultat constant, com per exemple l'alçada d'un salt. A més a més, Aughey, Clubb, Cormack, i Rowell (2018) destaquen que la FN es pot veure reflectida en modificacions en els patrons de moviments dels jugadors durant partits de futbol.

Aquest fenomen també és destacat per part de Balloch (2018), i és que segons l'autor, en esportistes entrenats, la plasticitat del sistema nerviós fa que quan s'està sota un estrès limitant es facilitin desviacions en la tècnica que permetin augmentar la producció de força o altres manifestacions relacionades amb aquesta per tal de mantenir els seus nivells de forma aguda, ja sigui durant un exercici que requereixi el cicle d'estirament-escurçament muscular de forma prolongada, o després de períodes de recuperació.

Seguint amb aquest últim autor, aquestes modificacions en la tècnica són degudes al fet que quan el reflexe d'estirament muscular està afectat com a resultat d'un teixit muscular danyat (com a conseqüència de, per exemple, un exercici que impliqui el reflex d'estirament-escurçament de forma prolongada), hi ha una disminució del múscul per tolerar impactes, i utilitzar forces relacionades amb la seva rigidesa, de manera que s'ha de compensar amb altres estratègies, com augmentar la implicació de la força concèntrica.

A part, i per exemplificar-ho, aquest autor proposa casos de com es dona això, com la possibilitat que en esportistes hi hagi una traducció de la FN en que en la cursa es doni un impacte més extens de les extremitats inferiors, un moviment de flexió de cama més ràpid i ample, una disminució en la força reactiva vertical contra el terra, i un augment en la participació de la musculatura extensora de la cama en la fase d'enlairament per tal de mantenir la velocitat i rendiment, o en el salt amb contramoviment (CMJ) en una menor profunditat de contramoviment, a més a més d'una disminució en la participació del genoll. D'aquesta manera, en aquest treball es proposa que modificacions en la ràtio de temps de vol - temps de contacte (FT:CT) d'entre un 7 i un 8% impliquen un indicador de fatiga dins l'estratègia de salt.

Finalment, s'ha de dir que el fet que es modifiqui el moviment, farà que l'eficiència mecànica, o equivalentment, l'economia del moviment disminueixi, cosa que augmentarà l'energia necessària per fer el moviment en qüestió, la força generada, i les possibilitats de patir una lesió (Aughey et al., 2018; Balloch, 2018), a més a més de generar disminucions en el rendiment (Drake i Kennedy, 2017).

Una vegada esmentat aquest concepte, també cal fer referència a la "intel·ligència muscular" que Boyas i Guével (2011) destaquen en el seu treball, i és que els autors fan incidència en el model de governador central proposat per altres estudis en el que es diu que els diferents receptors i terminacions aferents que es troben a les cèl·lules informen al sistema nerviós central de l'homeòstasi cel·lular, amb l'objectiu de prevenir els efectes negatius de l'activitat física extenuant, de manera que es podria entendre que la FN és un sistema de protecció fet pel nostre propi organisme.

Aquests efectes són definits per Balloch (2018), i és que durant l'exercici màxim o en condicions d'hipòxia, es genera aquest efecte per prevenir danys en els òrgans vitals o el teixit muscular, pel que aquest efecte estaria més relacionat amb la FN d'origen central. No obstant això, aquest model ha estat força criticat i discutit a causa de les seves limitacions, que han estat visibles gràcies als seus resultats contradictoris, tal com indiquen Boyas i Guével (2011).



Per acabar amb la definició més teòrica de la FN, s'ha de destacar la potenciació post-activatòria, i és que és un fenomen que pot portar a confusions quan s'està tractant amb la FN en la pràctica, cosa que es pot veure en el treball d'Antonutto et al. (2016) o Bayios et al. (2016), en els que en els dos casos s'hipotetitza que el no empitjorament en les capacitats musculars dels esportistes participants en els seus estudis són degudes a aquest fenomen.

Boyas i Guével (2011) defineixen aquest succés fisiològic com un augment en l'eficiència de la producció d'activitat muscular produïda per diferents mecanismes (un augment en l'excitabilitat cortical, la generació d'estímuls addicionals i la post-activació com a tal). Aquests fenòmens elèctrics i mecànics que es donen al principi de la contracció muscular permeten a aquest mantenir els nivells previs a la fatiga de força o augmentar-los, mentre que fan que el sistema nerviós central pugui limitar el nombre d'unitats motores que són reclutades addicionalment en l'acció muscular.

Tot i que Antonutto et al. (2016) i Boyas i Guével (2011) indiquin que aquest mecanisme sembla donar-se després de períodes d'activitat curts, els resultats d'Antonutto et al. (2016) o Bayios et al. (2016) en una maratón de muntanya i una mitja maratón respectivament, semblen demostrar que també es pot donar en exercicis de resistència, tant durant (Antonutto et al., 2016) com després d'aquests (Bayios et al., 2016). No obstant això, s'ha de destacar que, tal com diu Bayios et al. (2016), aquest efecte, de la mateixa manera que s'ha destacat per la FN en general, depèn de la tasca que s'hagi desenvolupat, i com es vulgui comprovar. A part, aquests mateixos autors indiquen que el fenomen en qüestió és comú que aparegui en protocols que impliquin una fatiga mecànica, més que metabòlica.

D'altra banda, és destacable que també s'ha pogut veure que la FN i el rendiment en potència que es pot tenir són dependents d'altres factors més enllà dels que s'ha comentat en aquest treball fins al moment. Un exemple d'això és la temperatura, sigui ambiental o externa, i en aquest cas, la humitat també influirà en el sentit que com majors siguin, pitjor (Gutiérrez-Vargas et al., 2018), o interna, ja que si no és suficient, perjudicarà, cosa que denota la importància d'un bon escalfament (Taylor, 2012).

Un altre factor important és el moment del dia (Taylor, 2012), el qual lliga amb la temperatura corporal, i és que mitjançant un bon escalfament, es pot fer que l'hora en la qual es faci l'activitat perdi importància. Per acabar, un altre factor destacable és el moment de la temporada en el que s'està (Taylor, 2012). D'aquesta manera, tots aquests elements s'hauran de tenir en compte a l'hora de fer mesuraments de la FN.

Finalment, també s'ha vist que s'han fet intents per avaluar si es pot influenciar l'aparició de la FN mitjançant diferents estratègies, per exemple amb suplementes com la queratina o la beta-alanina com a l'estudi de Cramer et al. (2006), essent aquesta última l'única que ha donat resultats favorables a l'hora de fer que la FN aparegui més tard, segurament degut a l'augment dels nivells de carnosina que genera. També s'han fet proves com les d'Andersson et al. (2008) per identificar la diferència entre alguns tipus de recuperació per disminuir l'impacte de la FN en jugadores de futbol de nivell internacional, veient que la recuperació activa i passiva tenien els mateixos efectes en aquest fenomen.

## 2.2. Importància del seu control

Una vegada definida, és essencial entendre el perquè com a entrenador, preparador físic o membre del conjunt de professionals d'un equip pot ser interessant mesurar la FN. D'aquesta manera, i a partir de la diferent literatura analitzada per elaborar aquest treball, a continuació es presentaran els principals motius pels quals s'ha de fer el control de la mateixa:

- L'aparició de la fatiga condiona el nivell de rendiment, ja que implica reduccions en la força i la potència (Buckle et al., 2018).

- Mitjançant la seva mesura, es pot controlar la càrrega d'entrenament i la fatiga que es genera en diferents períodes de la temporada (Drake i Kennedy, 2017), ja que a partir de dades aeròbiques, anaeròbiques, cinemàtiques i cinètiques es pot fer una millor planificació de les càrregues dels esportistes (Gurchiek, McBride, i Rice, 2018). A més a més, aquest tipus de dades permeten valorar fenòmens com la teoria dels sistemes dinàmics anteriorment explicada.

- Si es fa un seguiment de la resposta dels esportistes a la càrrega d'entrenament i als partits, és possible entendre millor aquesta, optimitzant l'adaptació dels subjectes i fent un control en el risc de lesions. S'ha demostrat que hi ha una relació molt estreta entre el risc de lesió i les adaptacions o rendiment a l'hora de rebre una càrrega de qualsevol classe, pel que s'ha de saber com l'esportista hi reacciona per potenciar el segon cas (Aughey et al., 2018).

- Quan s'entrena fatigat de forma repetitiva una acció, el subjecte en qüestió adoptarà una sèrie d'estratègies que generarà un patró coordinatiu o adaptació crònica, que no serà la més òptima en el cas que el què interressi sigui tenir el màxim rendiment en situacions de no fatiga (Bennett, Fowler, i Rodacki, 2002).

D'aquesta manera, té sentit afirmar que un esportista, sigui quina sigui la seva realitat, sortirà beneficiat del control de la FN, ja que, com s'acaba de veure, li facilitarà la delineació de càrregues d'entrenament en funció del seu estat, de manera que potenciarà l'aparició de les adaptacions positives esperades i una conseqüent millora en el rendiment esportiu, al mateix temps que es preveurà l'aparició de lesions esportives.

## 2.3. Mètodes d'avaluació

Partint de la base de tot l'explicat fins al moment, és interessant definir el model a partir del qual la FN es pot mesurar, i és que com ja s'ha dit, la FN és complexa i multifactorial (Boyas i Guével, 2011; Cairns et al., 2005), de manera que el model a seguir per mesurar-la serà determinat per una sèrie de factors que Cairns et al. (2005) exposen:

- El sistema de quantificació de fatiga (quan i com serà mesurada aquesta).
- Els subjectes (humans o animals).
- El múscul o grup muscular.
- El tipus de preparació (el subjecte és conscient, anestesiats...)
- El protocol de fatiga (com serà induïda la fatiga: amb quin tipus de contracció, l'exercici en si, i el tipus d'estimulació).
- Les condicions ambientals del múscul.

D'altra banda, seguint amb el que Cairns et al. (2005) defineixen, per tal de fer un aprofundiment en els diferents protocols de fatiga existents per mesurar la FN, a continuació es presenta la figura 1, en la qual es mostra la classificació d'aquests que els mateixos autors presenten en el seu treball en forma d'esquema.

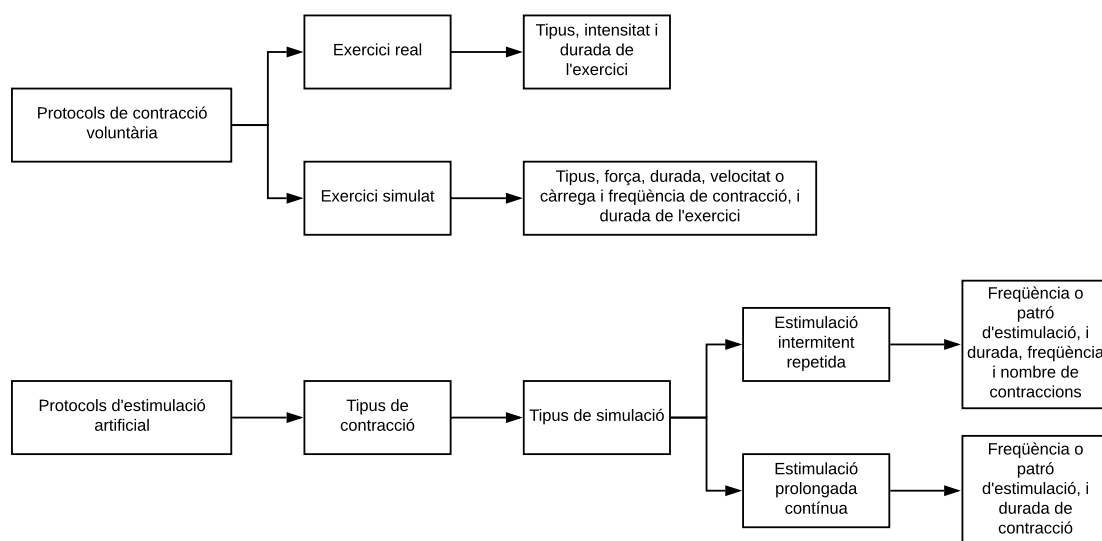


Figura 1: Esquema de Cairns et al. (2005) sobre els protocols de mesura de la FN. Font pròpia.

Veient els dos tipus proposats, Cairns et al. (2005) destaquen la importància i els avantatges que donen els tests d'estimulació artificial en l'estudi de la FN, ja que l'estimulació elèctrica mitjançant la qual es fan, generarà una constant activació muscular, evitant que diferents variacions relacionades amb la percepció d'esforç o la motivació influeixin en el resultat, i així mostrant la FN com a tal. No obstant això, aquests poden arribar a generar una fatiga excessiva i no permeten l'aparició d'accions de protecció neuronal.

A part, es fa menció que els protocols que consisteixen en exercici real són els més pràctics, ja que, dels factors anomenats amb anterioritat, només s'haurà de tenir en compte la selecció de subjectes, el protocol de fatiga, i la quantificació d'aquesta. Aquests tenen una sèrie d'inconvenients, com pot ser que moltes vegades els resultats obtinguts no són consistents, o que hi ha una dependència a factors ambientals com el temps. Hi ha estratègies com la utilització d'ergòmetres que permeten controlar tant aquests factors externs com la càrrega que s'aplica en el subjecte, tot i que la capacitat d'aquests aparells per replicar les condicions reals esportives a escala d'estrès imposat és quelcom discutible.

A més a més, els autors destaquen que normalment els procediments de les proves per mesurar la FN inclouen exercici fins a l'extenuació a un nivell submàxim estandarditzat, la realització del màxim volum de treball possible en un temps determinat, desenvolupar una quantitat de treball predeterminada el més ràpid possible, o un esforç màxim durant un període breu de temps. D'aquesta manera, aquests protocols seran més pràctics i pròxims a la realitat, a més a més que els sistemes fisiològics dels subjectes romandran intactes (sense cap mena d'anestèsia o cirurgia). No obstant això, s'ha de tenir sempre en compte que els aspectes de control són quelcom limitant en aquests.

Finalment, també expliquen que els protocols per exercici simulat tenen un valor molt positiu pel fet de permetre una bona delimitació de les condicions en les quals es donen, es poden centrar en una sèrie de músculs, cosa que facilitarà l'estudi, i els sistemes fisiològics romandran intactes. No obstant això, aquests no es fan amb un patró de moviment que sigui real, ni permeten el control total del medi extracel·lular. El més comú en aquest cas seria la mesura de contraccions musculars sostingudes.

Sabent tot això i l'àmbit en el qual aquest treball està essent desenvolupat, al llarg de la resta del marc teòric es farà una descripció i anàlisi més detallada dels protocols de fatiga per contracció voluntària.

D'aquesta manera, cal definir com s'ha de mesurar la FN en aquests protocols, i és que en ser un fenomen tan complex, hi ha diferents mètodes que són utilitzats. Com indica Taylor (2012), idealment, la millor forma de mesurar-la seria mitjançant un test de rendiment màxim durant una competició esportiva, però això comporta una sèrie de complicacions, a més a més que aquests tipus d'esforços poden suposar una càrrega negativa influent en l'augment de FN durant la temporada competitiva, cosa que no és d'interès. Tenint en compte això, hi ha hagut diferents intents com els d'Aughey et al. (2018) per generar metodologies alternatives que permetin fer el monitoratge de la FN sense generar aquest tipus d'influència contraproductiva, a la vegada que s'eviti utilitzar material molt car, a partir de l'anàlisi de diferents paràmetres de jugadors de futbol en un *small sided game*.

Per tant, i com indica el document de Bemben et al. (2018), és important buscar mètodes per obtenir informació que sigui fiable de manera eficient, i essent el mínim d'invasiu possible per evitar estrès o fatiga no desitjades en els esportistes. A continuació, i de forma resumida, es farà una menció dels diferents tests que Taylor (2012) classifica i avalua en funció de la seva practicitat en el control de la FN:

- Tests de rendiment: Aquests tipus de tests són utilitzats per obtenir un indicador de rendiment, el qual és anomenat així, ja que tindrà una relació molt estreta amb el rendiment real. Dins aquest apartat també s'inclourien tests màxims aeròbics de cursa o ciclisme, però, com ja s'ha dit, aquests no són interessants pel nivell de fatiga que poden generar, de manera que no es tenen en compte. Exemples d'aquest tipus de proves serien les de força màxima, els de salts verticals (essent aquests els més utilitzats), i els esprints, tant en ergòmetre com sense.

Com a aspectes positius, aquests tests permeten controlar els esportistes en diferents moments de la temporada de forma eficient, els resultats donen informació rellevant per als entrenadors, i es poden fer mesures a molts subjectes en poc temps. Cal destacar que l'autor diu que en la majoria dels casos els tests dinàmics són millors que els estàtics, a causa de la naturalesa de molts dels esports, però segons les característiques de la situació, tots dos són igual de vàlids.

D'altra banda, també és destacable entendre que hi ha alguns desavantatges, com que la informació que es rep és limitada pel que fa a la causa dels empitjoraments en els indicadors, i es necessita més recerca per acabar de concretar la validesa d'alguns d'ells que es poden obtenir en aquests tests.

- Indicadors bioquímics: Tenint en compte el fet que l'activitat física genera una sèrie de respostes neuroendocrines, es podria dir que a l'hora de fer un seguiment de l'estat de fatiga d'un esportista és interessant fer un control dels canvis pel que fa a concentracions hormonals. Per tal de fer el seguiment, es poden estudiar aquestes concentracions en sèrum, saliva o plasma, a més a més de poder comprovar concentracions d'altres indicadors en les mateixes mostres. Per tant, es poden destacar l'anàlisi d'hormones com a tal, com la testosterona o el cortisol, o d'aminoàcids i altres enzims, com la glutamina.

S'ha de recalcar que l'autor afirma que si el cost econòmic no suposa un problema i hi ha personal suficient per a poder dur a terme anàlisis de forma ràpida, és interessant poder fer un control d'aquests marcadors en algunes poblacions esportives, sempre tenint en compte la variació intra-individual dels marcadors.

No obstant això, i al contrari del que succeeix en l'anterior cas, aquests processos de valoració de la FN tenen bastants aspectes negatius, ja que es necessita un control molt estricte del context en el qual es donen les mesures, com el lloc on es faci, l'hora del dia, la dieta de l'esportista, o la presència de lesions. A més a més, aquests requereixen professionals experts i un alt cost pel que fa a l'anàlisi en laboratori, a part que es necessiten més estudis per acabar de determinar la relació real d'aquests amb l'estat de FN dels esportistes i el seu rendiment, i s'ha trobat molta variabilitat intra i inter-individual en mostres. Per tot això, s'indica que no és el millor mètode per fer un seguiment rutinari de la FN.

- Freqüència cardíaca: Les adaptacions negatives a un procés d'entrenament potencialment tenen un efecte sobre el sistema nerviós autònom, i es pot generar una conseqüent variació en la freqüència cardíaca. Aquestes modificacions es poden donar tant en la freqüència cardíaca de repòs o mentre s'està dormint, com en la que es dona com a resposta a un exercici, sigui un esforç real o un test estandarditzat de forma màxima o submàxima, o en la variabilitat d'aquesta que es pot donar al llarg d'un període d'entrenament.

Una vegada dit això, cal destacar que aquest mètode és molt accessible i poc invasiu, i com que el sistema nerviós autònom està interconnectat amb altres sistemes fisiològics, el monitoratge de la resposta del mateix a un estímul per mantenir l'homeòstasi donarà informació de les adaptacions funcionals del cos.

Tot i això, l'estudi de la FN a partir d'aquests marcadors ha demostrat que pot generar confusions entre les variabilitats que es donin en els processos d'adaptació, o en els de sobreentrenament o FN. A més a més, es requereixen més estudis, ja que els que s'han fet fins al moment normalment es basen en mostres que ja estan sobreentrenades o s'han fet en poblacions massa específiques. A part, el monitoratge de la freqüència cardíaca en algunes situacions pot ser incòmode, com en el cas de la mesura nocturna, i variacions en el glicogen muscular i en la dieta poden afectar les concentracions de lactat, fent que les condicions prèvies a un test estandarditzat s'hagin de controlar estrictament per assegurar la seva repetibilitat.

- Percepció de l'estrès i la recuperació: A part dels estímuls d'entrenament i les competicions, hi ha una sèrie de factors com la por al fracàs, les expectacions pròpies o de l'entrenador, o qualsevol àrea extraesportiva d'un subjecte que poden influenciar de forma determinant en les capacitats adaptatives d'aquest. A més a més, s'ha demostrat que la percepció subjectiva de fatiga i els seus indicadors psicològics associats poden ser un indicador molt bo per controlar la fatiga real i el procés de sobreentrenament. Alguns tests utilitzats per fer-ho han estat el *Profile of Mood States*, el *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes*, el *Daily Analysis of Life Demands*, i, en alguns casos, s'han elaborat qüestionaris específics pels estudis, cosa que recolza la idea anteriorment esmentada que la FN és quelcom que depèn de la tasca, els músculs implicats i l'edat entre altres factors, ja que hi ha una gran varietat de tests que s'han fet servir.

Aquesta metodologia és senzilla d'administrar i no requereix cap cost, material o expertesa que limiti el seu ús o la recollida i anàlisi de la seva informació. A més a més, la seva utilització de forma prolongada permet un bon seguiment longitudinal de la resposta dels atletes a l'entrenament i, conseqüentment, de la FN.

D'altra banda, hi ha una sèrie de problemes que poden sorgir, com que els subjectes que responen els qüestionaris entenguin quines són les respostes favorables al test i modifiquin el que realment estan percebent. A part, en funció del tipus de test, el temps que es trigui a realitzar, i la llargada de les respostes que es busquin, es pot generar que al llarg del temps aquest no sigui respost de la mateixa manera. Finalment, s'ha de tenir en compte que es necessita més evidència que determini que hi hagi una relació entre els qüestionaris i el nivell de rendiment real.



Una vegada vistos tots aquests mètodes per tal de fer una mesura de la FN, cal destacar que, com ja s'ha dit, la FN és multifactorial i complexa, de manera que depèn de diferents factors, i, per tant, el test que es faci per desenvolupar-ne el monitoratge dependrà del context en el qual s'estigui. A la taula 1 s'ha elaborat un resum de la classificació de Taylor (2012) que s'acaba de desenvolupar.

	<b>Tests de rendiment</b>	<b>Indicadors bioquímics</b>	<b>Freqüència cardíaca</b>	<b>Percepció de l'estrès i la recuperació</b>
<b>Característiques del mètode</b>	Permeten obtenir indicadors de rendiment, que estan molt relacionats amb el real.	S'aconsegueix un seguiment dels nivells hormonals i d'altres indicadors interns de l'esportista.	Hi ha una causalitat de la resposta del sistema nerviós autònom davant de les adaptacions negatives a l'entrenament, cosa que es manifesta en modificacions de la freqüència cardíaca.	Es fa un monitoratge de la fatiga a partir de la percepció subjectiva de la mateixa i altres indicadors associats.
<b>Aspectes positius</b>	Donen informació rellevant alhora que són pràctics i no invasius.	Poden donar un valor afegit al monitoratge de la FN.	És un mètode no invasiu i molt accessible.	Es genera informació de forma senzilla i sense massa dificultat, permetent un seguiment longitudinal de la FN.

	Tests de rendiment	Indicadors bioquímics	Freqüència cardíaca	Percepció de l'estrès i la recuperació
<b>Aspectes negatius</b>	No generen informació detallada d'empitjoraments i alguns indicadors necessiten més recerca per acabar de ser fiables.	Requereixen més recerca per acabar de veure la seva relació amb el rendiment, es donen moltes variacions intra i inter-individuals, no és econòmic, i no dóna resultats de forma ràpida, pràctica o eficient. No és un mètode òptim per fer un seguiment rutinari de la FN.	Els resultats poden donar dades complexes a l'hora d'analitzar-les, a vegades pot ser un mètode incòmode pel subjecte, pot dependre de factors diferents de la càrrega d'entrenament, i requereix més recerca.	Les respostes poden modificar-se de forma condicionada, s'ha de vigilar com és el qüestionari si es vol fer de forma continuada, i no hi ha una relació clara amb el rendiment real.

Taula 1: Resum de la classificació que Taylor (2012) fa dels tests per obtenir informació de la FN. Font pròpia.

A continuació s'analitzaran els diferents sistemes de quantificació que es poden utilitzar dins de totes aquestes metodologies per extreure informació, ja que és un dels aspectes que Cairns et al. (2005) destaca com a essencials a l'hora de plantejar un protocol de mesura de la FN. Si es fa una revisió al llarg de tota la literatura, hi ha molts mètodes diferents que s'utilitzen amb aquest fi, de manera que novament es veu representada la complexitat d'aquest fenomen.

Seguint amb aquesta línia, i com ja s'ha vist en la classificació de Cairns et al. (2005) i Taylor (2012), no hi ha una única manera per fer mesures de la FN, de manera que establir de forma exclusiva uns mètodes per sobre els altres és molt complicat, ja que segons el context en el qual es doni la presa de mesures, aquests seran més o menys òptims.

No obstant això, Cairns et al. (2005) proposa una llista de variables i indicadors força representativa del que es pot veure a les diferents publicacions per tal de poder quantificar la fatiga. Un apunt esquemàtic d'aquests es pot veure a la figura 2.

Cal destacar que per la classificació dels indicadors a mesurar, un altre element a tenir en compte és la teoria dels sistemes dinàmics, a la qual ja s'ha fet referència en aquest treball mitjançant els treballs d'Aughey et al. (2018), Balloch (2018), i Drake i Kennedy (2017), i que es podria incloure a aquest llistat sota el títol de modificacions tècniques.

A més a més, dins aquesta mateixa classificació, també es podrien afegir la freqüència cardíaca i els indicadors bioquímics, ja que, com s'ha vist en l'anàlisi de Taylor (2012) dels mètodes de monitoratge de la FN, tots dos poden aportar informació valuosa respecte a la mesura d'aquesta. A la figura 2 es mostra la inclusió dels tres termes mencionats en aquests paràgrafs mitjançant un requadre i una tipografia vermells.

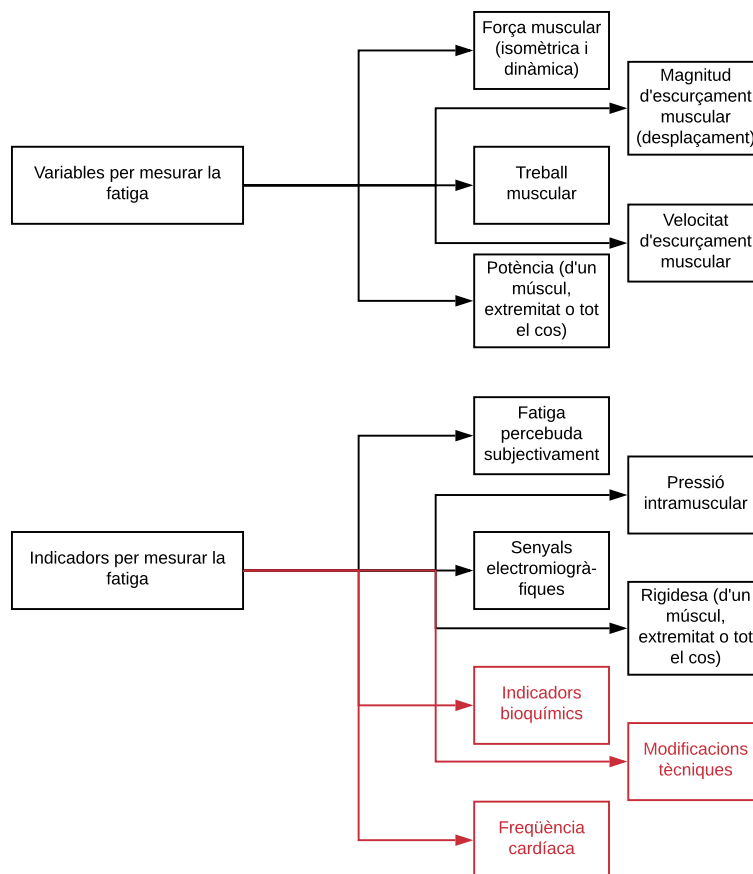


Figura 2: Resum esquemàtic de la classificació de variables i d'indicadors que Cairns et al. (2005) fa, amb la inclusió de tres indicadors més a partir de la literatura referenciada. Font pròpia.

D'aquesta manera, i com es veu en el gràfic, la quantificació d'aquest tipus de reacció del cos a l'exercici físic serà important, sigui mitjançant indicadors interns o externs de l'esportista (Aughey et al., 2018).

Sabent tota aquesta informació, s'ha de destacar que segons Buckle et al. (2018), és important mesurar la FN amb paràmetres específics per la situació en la qual s'estigui, ja que d'aquesta manera es podrà obtenir informació més efectiva a causa de la dependència que té la mateixa respecte a la tasca que s'estigui fent, el múscul que estigui implicat, i l'edat del subjecte entre altres factors, com ja s'ha comentat al llarg d'aquest treball.

Per tant, i tenint en compte l'exposat fins al moment, no hi ha una elecció òptima general dels diferents elements que componen el model d'avaluació de la FN que Cairns et al. (2005) defineixen, sinó que serà diferent en funció d'allò que es vulgui avaluar, de les circumstàncies...

## 2.4. Instruments de mesura

Una vegada analitzats tots aquests aspectes de la FN, és important saber definir quins instruments són els més utilitzats per tal de destacar les diferents variables i indicadors que en són representatives d'ella. A continuació es farà una revisió del material que s'utilitza a la literatura per fer-ho a partir de la proposta de Cairns et al. (2005) que s'ha desenvolupat al subapartat anterior.

En el cas de la força, la potència i el treball muscular, hi ha diferents opcions que es tenen en compte. Una de les més recorregudes pels investigadors han estat les plataformes de força (Andersson et al., 2008; Aughey et al., 2018; Balloch, 2018; Bayios et al., 2016; Bembem et al., 2018; Bennett et al., 2002; Drake i Kennedy, 2017; Gathercole, Sleivert, Sporer, i Stellingwerff, 2015).

A més a més, també s'han utilitzat transductors de posició (Balloch, 2018; Gathercole et al., 2015) o plataformes de contacte, tenint en compte que el ventall de dades que ofereixen aquests és molt menys ampli que el primer mètode mencionat, tot i que com a factor positiu, aquesta última és un instrument molt accessible (Balloch, 2018).

Una altra opció han sigut les cèl·lules fotoelèctriques per tal de poder mesurar una manifestació de la força com és la velocitat (Andersson et al., 2008; Gathercole et al., 2015), i, seguint amb aquesta capacitat, els rellotges de canell capaços de donar la velocitat a la qual es corre també han estat una alternativa (Bayios et al., 2016).

A part, s'ha de destacar la utilització de dinamòmetres o galgues de força, en gran part per mesurar força isomètrica (Andersson et al., 2008; Bennett et al., 2002; Cairns et al., 2005), o, tot i que menys corrent, la de sensors inercials (Gurchiek et al., 2018) o acceleròmetres (Aughey et al., 2018) per veure altres manifestacions d'aquestes variables. A més a més, s'ha vist que es poden emprar cicloergòmetres per a desenvolupar tests per mesurar la potència màxima i conseqüentment la FN (Coad, Dwyer, Gabbett, McLellan, i Wehbe, 2015; Cramer et al., 2006).

Analitzant el cas de la magnitud i velocitat d'escurçament muscular, s'han suggerit mètodes com els transductors de tendons (Cairns et al., 2005; Gutiérrez-Vargas et al., 2018) o els detectors d'estirament òptics (Cairns et al., 2005), però són un dels indicadors més complexos d'avaluar, pel que no hi ha tanta bibliografia en els que es tinguin en compte en comparació als altres casos.

Per tal de mesurar la fatiga percebuda, s'ha vist que hi ha una àmplia utilització de diferents escales, com la de Linkert (Andersson et al., 2008) o la de Borg (Bayios et al., 2016). Algunes altres opcions han estat la generació de formes diferents per mesurar aquesta fatiga subjectiva relativitzant-la amb la càrrega d'entrenament (Aughey et al., 2018), o adaptant-les a la situació en qüestió (Cormack, Coutts, Kelly, McGuigan, i McLean, 2010; Hills i Rogerson, 2018).

Pel que fa a l'avaluació de la pressió intramuscular, la rigidesa i els senyals electromiogràfics, s'han fet servir tècniques força complexes, com són el cas de la tècnica d'interpolació de fibres (Bocock et al., 2018; Buckle et al., 2018), o elèctrodes de superfície bipolar (Bennett et al., 2002; Cramer et al., 2006). A més a més, altres procediments semblants als que s'exposen en el títol d'aquest grup d'indicadors també s'han tingut en compte dins d'ell, com la tensiomiografia mitjançant elèctrodes (Antonutto et al., 2016; Gutiérrez-Vargas et al., 2018).

Fent referència al cas dels indicadors bioquímics, la majoria han estat analitzats mitjançant mostres de sang en diferents elements que són senyals de FN, com l'àcid làctic (Gurchiek et al., 2018; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), l'hematòcrit (Gutiérrez-Vargas et al., 2018), el magnesi (Gutiérrez-Vargas et al., 2018), la creatina quinasa (Andersson et al., 2008; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), la urea (Andersson et al., 2008), o l'àcid úric (Andersson et al., 2008).

Si es fa una anàlisi de com s'ha mesurat la freqüència cardíaca, l'instrument més comú i accessible han sigut els rellotges amb pulsòmetre de diferents marques a partir de la utilització d'una cinta en el pit, com s'ha vist en alguns estudis (Bayios et al., 2016; Gurchiek et al., 2018).

Finalment, per les modificacions tècniques, una proposta força innovadora s'ha mostrat com la utilització de tests com el *FMS* per tal d'avaluar com afecta la FN en els diferents exercicis proposats en el mateix (Armstrong, Brogden, Greig, Milner, i Norris, 2018). Una altra opció han estat les anàlisis 2D fetes amb diferents mètodes, com marcadors reflectants sobre la pell (Bennett et al., 2002), o la utilització de càmeres per fer filmacions en plans que siguin útils per analitzar la tècnica en cada cas (Antonutto et al., 2016). A més a més, hi ha alguns autors que han utilitzat acceleròmetres (Aughey et al., 2018) o sensors inercials (Gurchiek et al., 2018) per veure aquests tipus de modificacions. Per acabar, també hi ha hagut exemples en els quals plataformes de força o contacte s'han emprat per veure canvis en les tècniques de salt (Aughey et al., 2018; Balloch, 2018; Gathercole et al., 2015).

D'altra banda, i per posar fi a aquest apartat, cal destacar que tots aquests instruments poden ser utilitzats per mesurar les diferents variables i indicadors comentats simultàniament per tal d'obtenir més dades i millors, com és en el cas de Gathercole et al. (2015) amb la plataforma de força i el transductor de posició, o en el de Cramer et al. (2006) amb el cicloergòmetre a la vegada que els elèctrodes d'interpolació bipolar, entre d'altres molts. Per tant, i veient tot això, segons allò que es vulgui mesurar, hi haurà una sèrie d'instruments disponibles per tal d'avaluar la FN.

## 2.5. Metodologies d'entrenament

Finalment, per acabar amb el marc teòric, és interessant fer una revisió dels mètodes d'entrenament que es poden utilitzar per desenvolupar una millora a la resistència a la FN, i és que, com és normal, al ser d'origen multifactorial i complexa, hi ha hagut diferents estratègies per tal que subjectes desenvolupessin millores en aquest sentit.

Primerament cal destacar el treball d'Aboodarda et al. (2018), en el que es comprova l'efecte d'un programa de 9 setmanes i un total de 26 sessions d'entrenament en l'execució d'un test incremental màxim d'avaluació del consum màxim d'oxigen i de la potència màxima en cicloergòmetre. Els resultats van demostrar que després de les 9 setmanes, la capacitat de tolerància a la fatiga no va augmentar, i, d'aquesta manera, el programa el qual consistia principalment en el desenvolupament de la resistència mitjançant entrenaments de ciclisme, no va ser suficient per a assolir l'objectiu del test.

D'altra banda, també s'ha volgut veure com afecta l'entrenament de la força en la millora de la tolerància de la fatiga, i això es veu en la investigació de Calbet et al. (2009), en la que es va investigar l'efecte d'un entrenament de 7 setmanes, en les que es feien 2 sessions a cada una d'aquestes, les quals tenien la pressió sobre banc i l'esquat paral·lel com a nucli, i eren complementades mitjançant altres exercicis suplementaris de força, a l'hora de desenvolupar un test en el qual s'avaluava la FN amb les mateixes càrregues absolutes i relatives.

Es va poder veure que encara que no hi hagués modificacions a escala neuronal, a l'hora de treballar amb la mateixa càrrega relativa, les persones que van dur a terme aquest entrenament eren capaces de suportar una major concentració de metabòlits relacionats amb la fatiga i la demanda metabòlica (acumulacions de lactat i amoníac en sang) abans d'arribar a la fallada muscular.

Un altre mètode estudiat és l'entrenament mitjançant electroestimulació cutània, com és en el cas del treball elaborat per Gondin, Jubeau, Maffiuletti, Martin, i Zory (2007), en el que es va analitzar els efectes d'un protocol amb aquest tipus d'entrenament durant 4 setmanes, i què succeïa les 4 setmanes següents després de finalitzar aquest primer període si deixaven d'entrenar, essent el test de fatiga una sessió igual a les d'entrenament que el grup experimental realitzava durant les primeres 4 setmanes, en les quals cal destacar que es desenvolupaven 4 d'aquestes per cada una d'elles.



Els resultats van mostrar una disminució en la fatiga central després de les primeres 4 setmanes d'entrenament, mentre que en les següents 4 que ja no s'entrenava es va veure una millora en aspectes de fatiga perifèrica. Aquests efectes retardats van ser atribuïts al fet que segurament va haver-hi un sobreentrenament en acabar el primer període de 4 setmanes, i hi havia una necessitat d'un temps de desentrenament per poder gaudir al màxim de les adaptacions neuromusculars desenvolupades amb l'electroestimulació cutània.

Tot i això, s'ha de tenir en compte que els autors d'aquest estudi, encara que creguin que els resultats són interessants per població clínica i esportiva a causa de la naturalesa limitant de la FN en els dos àmbits, remarquen que aquests són molt importants en certes poblacions i situacions clíniques, com en la rehabilitació per a pacients immobilitzats.

D'aquesta manera, i com era d'esperar després de veure el desenvolupament d'aquest treball, s'ha vist que no hi ha un únic mètode clar que pugui ser utilitzat com a mesura de millora de tolerància a la FN, ja que, com ja s'ha dit, la FN té una dependència de la tasca que s'estigui desenvolupant, pel que a l'hora de fer tests per avaluar millores de protocol d'entrenament, l'important serà utilitzar paràmetres específics per l'entrenament que s'estigui fent, i d'aquesta manera poder obtenir de forma efectiva una millor visió del desenvolupament de la FN (Buckle et al., 2018).

Un clar exemple d'això és l'estudi de Cadore et al. (2019) en el que es mostra com dos grups milloren de forma diferent la seva tolerància a la FN mitjançant la capacitat de manteniment de força màxima voluntària en protocols concèntrics i excèntrics, en funció de si havien fet un entrenament d'un tipus de contracció o l'altra de 6 setmanes i 2 sessions per cada una d'aquestes. No obstant això, s'ha de destacar que en el cas d'aquest últim estudi, el grup d'entrenament concèntric va millorar tant en el protocol concèntric com excèntric, mentre que l'excèntric, tot i que de forma més significativa que la seva contrapart, únicament en l'excèntric.

A més a més, i com a conclusió de l'anàlisi feta en aquest apartat, es podria dir que l'entrenament de resistència no és suficient per desenvolupar una millora en el retardament en l'aparició de la FN, tot i que s'haurien de desenvolupar més tests referents a aquest tema, ja que com s'ha vist a la literatura, pot ser que en l'estudi no s'utilitzessin les variables més representatives per valorar la capacitat de l'entrenament per desenvolupar les millores esperades, o el test utilitzat no fos el millor per veure reflectit el treball fet, cosa que respondria a l'especificitat de la FN ja comentada (Boyas i Guével, 2011; Buckle et al., 2018; Cairns et al., 2005; Gutiérrez-Vargas et al., 2018).

Tot i això, sembla que l'entrenament de la força, tant de forma concèntrica com excèntrica, és el que ha donat millors resultats a l'hora d'avaluar la millora de la resistència a la fatiga en l'àmbit esportiu i més pràctic. A part, la duració òptima de l'estímul per assolir adaptacions sembla no estar definida, ja que estudis de 4, 6, i 7 setmanes van permetre identificar-ne.

### 2.5.1 Un exemple pràctic

Una vegada analitzades les diferents metodologies que es poden trobar a la literatura per tal d'entrenar la resistència a la FN, a continuació es farà la definició d'un programa que és desenvolupat a Vic amb esportistes considerats d'alt rendiment que té el mateix objectiu. El motiu pel qual es farà això és que, com es veurà en els següents apartats, part de la mostra participant en el meu treball de camp forma part d'aquest projecte, factor que comportarà una sèrie d'adaptacions a la meua intervenció, les quals es destacaran quan es faci l'explicació d'aquesta. Per tant, per definir la metodologia seguida, el programa es basa en dos pilars de forma principal:

- L'aprenentatge diferencial: Tot i que hi ha diferents autors que el defineixen de forma similar, una percepció d'aquest plantejament que engloba bastant totes les altres és la de Leite, Memmert, Sampaio, i Santos (2016b), la qual diu que dins les metodologies no linears, l'aprenentatge diferencial fa una exploració de les fluctuacions i dels mecanismes adaptatius en el binomi percepció-acció a partir del desenvolupament de moviments complexos sense repeticions entre aquests i amb una constant presència de ressonàncies estocàstiques. Per tant, es proposen infinites variacions en la tècnica de moviment, per tal que els esportistes estiguin preparats per fer front a les situacions competitives.

Seguint amb aquests autors, les variacions i l'adaptabilitat que ofereix la combinació de diferents patrons motors entrenats per una mateixa acció, permet als jugadors una millor reorganització de les seves habilitats, i així desenvolupar estratègies de moviment més òptimes de forma autònoma. A més, Beckmann, Frank, Michelbrink, i Schöllhorn (2008) indiquen que en aquesta metodologia d'ensenyament fins i tot s'anima als subjectes a fer l'exercici de forma errònia, fet que Leite et al. (2016b) corroboren.

Fent referència a les ressonàncies estocàstiques en les quals es basa tot aquest procés, aquestes són definides per De Koning, Kamper, Rabiús, Savelsbergh, i Schöllhorn (2010) com un fenomen en el qual mitjançant l'aplicació de "soroll", entès com quelcom que genera fluctuacions a un sistema o persona que són necessàries per fer una adaptació funcional a una situació inestable, es pot produir un senyal feble, el qual permetrà una millor detecció del moviment o solució ideal enfront un entorn canviant, de manera que hi haurà una adaptació més adequada i ràpida. A part, Mayer-Kress, Michelbrink, Newell, i Schöllhorn (2009), diuen que aquestes són d'especial interès, ja que tenen presència en diferents processos de control motor, i generen un potencial elevat per relacionar-se amb un gran nombre de camins d'aprenentatge.

S'ha de destacar que aquest plantejament s'ha mostrat com a millor opció que altres d'entrenament més tradicional en diferents casos, entenent aquests últims de la manera que Beckmann et al. (2008) defineixen, és a dir, aquelles metodologies que tenen com a objectiu l'assoliment d'un moviment específic definit per les instruccions d'entrenament, i que es caracteritzen per correccions d'errors i repeticions.

D'aquesta manera, i com Davids, Hegen, i Schöllhorn (2012) diuen en el seu treball, el que es busca amb l'aprenentatge diferencial és que en comptes de seguir un camí directe i tancat cap a allò que es vol aprendre, en el sentit de fer moltes repeticions i correccions tècniques, aquesta metodologia es mostra més beneficiosa, ja que pertorba als aprenents cap a patrons de moviments més funcionals a la pràctica.

Aquest efecte positiu és visible en diferents exemples de la literatura, com podria ser l'entrenament de la millora tècnica en sortides de patinatge sobre gel (De Koning et al., 2010), en serveis de bàdminton (Henz i Schöllhorn, 2016), o en habilitats motores i el rendiment general en el bàsquet (Gomes, Leite, Mateus, Santos, i Vaz, 2015).

A aquesta idea cal afegir el que Araújo, Chow, Davids, Hristovski, i Passos (2012) diuen, i és que hi ha evidències que amb aquest protocol es pot passar d'un patró de moviment tancat a un altre d'adaptatiu a la situació en la qual una persona es pugui trobar, sempre gràcies a l'entrenament amb variabilitat del moviment, la qual ha de ser tant qualitativa com quantitativa (Beckmann et al., 2008). El motiu d'això rau en el fet que mitjançant aquesta en el sistema intrínsec de moviment de la persona, s'engrandeix l'àrea de possibles solucions que es conceben, o cosa que és el mateix, l'espai conceptual de tots els moviments possibles davant una situació (Araújo et al., 2012). A més a més, cal dir que aquest efecte positiu de l'aprenentatge diferencial es veu augmentat en situacions sota pressió (Henz i Schöllhorn, 2016).

Per tant, dins el projecte, al llarg de les sessions amb els esportistes, una vegada l'exercici a desenvolupar és explicat, únicament es fan correccions que siguin sobre aspectes lesius que es puguin donar en la tècnica d'execució, ja que, com indiquen Araújo et al. (2012), en casos en els quals la salut es pugui posar en perill, si no es tracta d'experts, és millor no generar excessiva variabilitat.

Cal remarcar que aquests autors indiquen que aquesta metodologia s'ha d'aplicar amb la màxima variabilitat en esportistes amb experiència elevada, és a dir, quan ja es troben a l'etapa de control dins el procés d'aprenentatge, mentre que per novells, aquesta s'ha de controlar, ja que encara estan a l'etapa coordinativa. Per tant, els subjectes amb més experiència, com que tindran uns patrons de moviment coordinatiu estables disponibles, el "soroll" que es pugui generar amb la variabilitat per pertorbar-los, suposarà un estímul per fer-los sortir de la seva base estable d'habilitats. D'altra banda, les persones que encara estan aprenent no requereixen tanta variabilitat, ja que aquests tindran l'objectiu d'aprendre patrons de moviment estables.

A més a més, i seguint amb aquest argument, Leite, Mateus, Sampaio, i Santos (2016a) diuen que l'aprenentatge diferencial s'ha de prendre amb precaució amb esportistes que no tenen molt rerefons en l'activitat en la qual s'estiguin desenvolupant, ja que si no, és possible que no s'assoleixi un resultat efectiu, cosa que és aplicable en els esportistes del projecte, ja que com es comentarà més endavant, fa menys d'1 any que treballen la prevenció de lesions dins aquest, la qual, com es mostrarà, és l'altre pilar en el qual se sustenta.

Aquest fet també és indicat per Faigenbaum i Myer (2010), els quals diuen que per tal de produir una disminució del risc de lesions en esportistes joves, com es veurà que és el cas dels subjectes que formen part del programa, durant el desenvolupament de l'entrenament de força, cosa que com s'explicarà a continuació és molt important dins el projecte, és essencial que hi hagi indicacions en la biomecànica del moviment per part d'un expert durant els exercicis. Per tant, encara que no es desenvolupi al màxim el plantejament de l'aprenentatge diferencial, ja que en el transcurs de les sessions no s'anima a fer la tècnica errònia, es dóna molta variabilitat dins la seguretat dels esportistes, cosa que sí que segueix la línia de la metodologia per a novells.

D'aquesta manera, dins el projecte es fa un desenvolupament de l'aprenentatge diferencial, sempre fent adaptacions al mateix tenint en compte que els participants són novells en la majoria d'exercicis, de manera que la variabilitat que es dóna és controlada.

- La prevenció de lesions: Segons Agel, Dick, i Hootman (2007), tot i que l'esport a nivells no professionals, que com es definirà, pot ser el cas dels esportistes participants en el projecte, sigui segur, és important que un equip esportiu de qualsevol mena tingui un programa de prevenció de lesions, ja que el risc d'aquestes és inherent dins de qualsevol competició esportiva (Howe, Read, i Waldron, 2017), i aquesta situació produeix un control dels factors de risc per patir-les.

No obstant això, aquest projecte d'esportistes d'alt rendiment va néixer per tal de poder oferir aquest servei, ja que la majoria dels clubs en els quals els nois i noies participants desenvolupen la seva activitat no tenen el pressupost o el temps per poder fer-ho. A més a més, i per sumar importància a aquest fet, s'ha de destacar que Agel et al. (2007) indiquen que aquells esportistes que tenen major rendiment, com és el cas dels implicats en el projecte, i passen més hores exposats a l'activitat física, tenen major risc de lesió.

D'altra banda, i seguint amb el que Agel et al. (2007) defineixen en el seu estudi, hi ha dades que demostren que lesions moderades i greus en nois i noies d'entre 6 i 15 anys, com podria ser un esquinç de turmell, van suposar una seqüela permanent els següents 12 anys després que aquest es produís en un 23% dels casos analitzats, de manera que encara que el període de recuperació immediat moltes vegades fos de 10 dies o més, aquesta morbiditat és un factor molt greu a tenir en compte per tal d'evitar-lo.

A més a més, aquests mateixos autors destaquen que la majoria de factors que predisposen a una lesió esportiva poden ser potencialment treballats dins un programa de prevenció de lesions desenvolupat amb criteri.

D'aquesta manera, també serà important comentar que en el mateix treball d'Agel et al. (2007), també es diu que les lesions seran molt dependents del tipus d'esport i les característiques d'aquest, pel que això s'ha de tenir en compte en el moment de plantejar un protocol de prevenció de lesions. A part, es destaca que els exercicis destinats a fer aquesta prevenció haurien de ser per treballar lesions en general, és a dir, per exemple, focalitzant aquesta en evitar lesions en extremitats inferiors, i no únicament en les que es donen en una estructura anatòmica concreta d'aquestes. Tenint en compte tot això, dins el programa, els diferents esportistes reben un entrenament amb exercicis que varia en funció de les seves característiques i les de l'esport que practiquen.

Per tant, la metodologia del projecte d'esportistes d'alt rendiment de Vic utilitza exercicis de diferent mena per tal de desenvolupar aquest paper de prevenció de lesions, incloent-hi línies de treball com la pliometria, el treball de l'equilibri, l'entrenament de la força amb sobrecàrrega, o l'adquisició d'habilitats entre altres, totes elles contemplades com bones mesures de reducció dels factors de risc de lesió per la literatura científica, com per exemple Howe et al. (2017).

Addicionalment, és important destacar que l'entrenament de la força amb sobrecàrrega en persones que es troben en les edats dels subjectes descrits és adient, ja que, com indiquen Faigenbaum i Myer (2010) hi ha molta controvèrsia en la societat respecte a aquest tema a causa que en el passat, molts metges consideraven que aquest era perjudicial per al desenvolupament musculoesquelètic dels executants, però dins l'evidència científica s'ha mostrat com quelcom positiu, i actualment s'està acceptant cada vegada més. D'aquesta manera, aquests mateixos autors senyalen que quan es fa aquesta mena d'entrenament sense supervisió ni correccions per part d'un professional, el risc de lesió serà el mateix per la gent jove que pels adults.

Tenint en compte això, els mateixos autors descriuen que sense el guiatge d'un professional amb coneixements sobre la matèria, l'entrenament de la força amb sobrecàrrega en persones joves suposarà una probabilitat augmentada de patir lesions, com a conseqüència de comportaments insegurs, la mala utilització del material, o la falta d'una supervisió adequada. Per tant, i sabent això, dins el projecte la ràtio de professional de l'activitat física - esportista mai és superior d'1:3.

A més a més, seguint amb el aquest treball de Faigenbaum i Myer (2010), cal considerar la importància que en el cas que s'iniciï aquest tipus d'entrenament amb la presència d'un professional adient, és essencial que l'augment de càrrega que això suposa sigui comunicat a les altres persones que s'encarreguen del desenvolupament esportiu del noi o la noia en qüestió, per tal d'evitar lesions degudes a una mala gestió del volum, la intensitat o la freqüència d'entrenament. Des del projecte, i per tal d'evitar això, tots els exercicis desenvolupats són enviats la setmana abans de la seva realització als entrenadors dels participants.

Una vegada definits aquests dos pilars, cal dir que a l'estudi de Beckmann, Davids, i Schöllhorn (2010) els relacionen, i és que els autors indiquen que els sistemes d'entrenament o teràpies més tradicionals que es basen en la repetició, a causa de la individualitat de cada moviment, a més a més de la baixa probabilitat que dos moviments idèntics es reproduïxin, tenen una efectivitat que ha de ser qüestionada.

D'aquesta manera, els autors proposen que els protocols de treball que es basen en l'aprenentatge diferencial, pel fet que ja s'ha vist d'oferir avantatges a l'hora d'adquirir habilitats, el seu respecte a la individualitat de les persones, i la seva variabilitat, són adequats per ser aplicats tant a tasques d'entrenament, com a programes de rehabilitació i prevenció de lesions. A més a més, els autors indiquen que aquesta metodologia pot suposar un bon mètode per evitar lesions per sobreús gràcies a la variabilitat en la qual es basa.

Per finalitzar amb aquesta dissecció del projecte, s'ha d'indicar que seguint aquests dos fonaments bàsics, els esportistes realitzen dues sessions setmanals d'entre 45 minuts i 1 hora, les quals tenen un funcionament diferent:

- Sessió 1: En aquesta es presenten 6 exercicis als participants, els quals els han de desenvolupar al ritme que creguin convenient per tal de completar-los tots abans que transcorri 1 hora. En cadascun d'aquests, s'ha de fer 3 sèries de 10 repeticions.

- Sessió 2: En aquesta se segueix una metodologia de treball intermitent, en la qual es fan 4 voltes a 6 exercicis, els quals s'han de fer durant 30 segons, i es donen 15 de descans per poder fer el canvi entre estacions, de manera que es fa 1 sèrie de cadascun per volta.



### 3. Objectius i hipòtesi

Una vegada definida què és la FN, el perquè és important el seu control, la forma en la qual es pot avaluar, amb quins instruments es pot fer aquesta mesura, i diferents maneres d'entrenar la seva resistència, en les següents línies es plantejaran les fites que es van voler aconseguir amb el desenvolupament d'aquest treball.

D'aquesta manera, l'objectiu general de la part pràctica del present escrit va ser el següent:

1. Valorar els efectes d'un protocol d'entrenament sobre la resistència a la FN en un grup de subjectes de diferents esports.

D'altra banda, i de forma específica, es van plantejar dos més:

2. Analitzar si la fatiga aguda a escala neuromuscular modifica la velocitat lineal general i l'angular de l'articulació del genoll de desplaçament durant el moviment d'esquat, i l'alçada i el temps de producció de força en el salt vertical.

3. Identificar quins dels paràmetres utilitzats són els millors indicadors de FN.

Per tant, i sabent els objectius i tota la informació recollida fins al moment, la hipòtesi que vaig plantejar va ser que mitjançant l'aplicació d'un entrenament de 6 setmanes, la resistència a la FN augmentaria en aquells participants de l'estudi que el rebessin.

## **4. Procediment**

### **4.1. Material i mètode**

#### **4.1.1. Mostra**

En el primer apartat de la part pràctica d'aquest treball, es durà a terme una descripció dels participants que van permetre el seu desenvolupament. Com es podrà veure a continuació, aquests van estar dividits en dos grups, els quals s'explicaran de forma detallada.

Primerament, va haver-hi un que va desenvolupar el protocol d'entrenament de 6 setmanes, el qual serà anomenat grup experimental, que va estar compost per 8 esportistes de diferents modalitats (3 d'hoquei, 2 de gimnàstica artística, 1 de tennis taula, 1 de bàsquet, i 1 de natació) considerats d'alt rendiment, dels quals 3 eren nois i 5 noies, amb una edat de  $15,38 \pm 2,39$  anys i  $60,81 \pm 14,21$  quilos de pes en iniciar aquest projecte. Aquests, a més a més de les sessions d'entrenament i partits que tenien amb els seus equips respectius, participaven per primera vegada a un programa de talent esportiu que es duu a terme a Vic, el qual s'ha explicat a l'últim subapartat del marc teòric.

A més a més, cal dir que d'aquests 8, 7 portaven fent els entrenaments del projecte des del setembre de 2018, mentre que l'altre esportista va iniciar la seva implicació en ell immediatament quan es va començar a fer aquest treball de camp.

D'altra banda, també va participar un grup de subjectes que no va tenir cap estímul addicional al qual estaven acostumats, o grup control, el qual estava format per 6 esportistes (3 d'hoquei, 1 de gimnàstica artística, i 2 de natació), 3 nois i 3 noies, amb una edat de  $16,33 \pm 2,66$  anys i un pes de  $62,00 \pm 9,63$  quilos. Els criteris d'inclusió d'aquests en el treball van ser que havien de formar part de l'equip d'entrenament i competició d'algun dels subjectes del grup experimental, i que tinguessin una càrrega de treball similar a aquests.

Abans de prosseguir amb aquest apartat, cal fer referència al fet que es van utilitzar com a motius d'exclusió de la participació en aquest treball haver patit una lesió que impedis la pràctica esportiva, la qual fos present des de 10 dies abans fins al mateix moment de la presa de mesures dels tests que s'explicaran més endavant en aquest apartat, per així evitar resultats condicionats per aquesta situació, i el canvi d'opinió referent a la voluntat de participar-hi. D'aquesta manera, tot i que inicialment els grups d'esportistes definits havien d'estar formats per 12 persones cada un, finalment, i com es pot veure, tots dos van perdre subjectes.

#### 4.1.2. Protocol d'entrenament

En aquest subapartat i els següents que formen part d'aquesta secció del treball es definirà la manera en la qual es van desenvolupar tant el protocol de fatiga com la seva mesura, a més a més de quin va ser l'estímul d'entrenament que va rebre el grup experimental per tal de millorar la resistència a la FN. Tenint en compte això, primerament es farà una explicació de com va ser aquest últim.

Per començar, s'ha de destacar que aquest treball és un estudi experimental en el qual es va fer una valoració de l'efecte d'un entrenament de 6 setmanes sobre la resistència a la FN dels subjectes que són participants d'un projecte d'esportistes d'alt rendiment que ja s'ha esmentat, i per fer-ho, es van prendre unes mesures tant al grup experimental com al grup control definits anteriorment. Dins aquests, i per acabar de deixar-ho clar, els primers van rebre l'entrenament en qüestió, mentre que als altres no se'ls va fer desenvolupar cap mena d'exercici afegit al què suposava la seva rutina esportiva habitual (figura 3). S'ha de dir que en iniciar aquest treball l'objectiu era que el període fos més llarg, és a dir, de 8 setmanes, però per motius de compromisos dels esportistes, aquest finalment es va veure reduït.

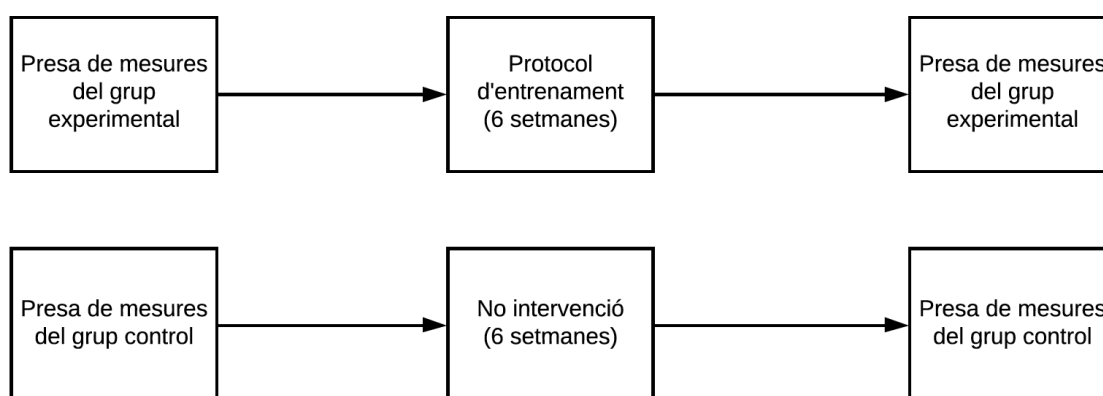


Figura 3: Procediment en el qual es va basar el desenvolupament del treball. Font pròpia.

A l'hora de plantejar els exercicis d'entrenament, es va tenir en compte allò que s'ha definit en el marc teòric, és a dir, quan s'ha intentat que l'aparició de la FN sigui més tardana, s'ha demostrat que els exercicis de musculació, siguin excèntrics o concèntrics, són els que més resultats han donat dins la literatura analitzada (Cadore et al., 2019; Calbet et al., 2009).

D'altra banda, el fet que el període d'entrenament finalment fos de 6 setmanes no hauria de suposar cap limitació, ja que, com ja s'ha pogut veure, dels estudis analitzats, alguns tenen duracions inferiors (Gondin et al., 2007), iguals (Cadore et al., 2019), i superiors (Calbet et al., 2009), i tots ells han donat resultats positius. A part, la freqüència d'entrenament del protocol que va tenir la mateixa duració era igual a la del que es va aplicar en aquest treball, factor que com es podrà veure més endavant, implica dues sessions setmanals.

Una vegada dit això, és important tenir en compte que el fet que els esportistes del grup experimental formessin part d'un projecte d'entrenament per a esportistes d'alt rendiment, va ser quelcom condicionant, pel que la meua intervenció, per tal d'evitar interferències en el desenvolupament del programa en qüestió, es va limitar a complementar aquest, mitjançant la proposta d'uns exercicis determinats per atendre a l'especificitat de la FN a l'hora de respondre al protocol de mesura, sempre seguint les pautes d'aquest programa que ja estava en funcionament, és a dir, buscant la prevenció de lesions mitjançant la metodologia de l'aprenentatge diferencial. A continuació, es farà una explicació més en profunditat de les mesures preses:

- Millora de la resistència a la FN: Amb l'objectiu de desenvolupar adaptacions que retardin l'aparició d'aquest fenomen, es van tenir en compte principalment 2 factors definits a la fonamentació teòrica:

· La FN és dependent de la tasca que s'estigui desenvolupant (Boyas i Guével, 2011; Buckle et al., 2018; Cairns et al., 2005; Gutiérrez-Vargas et al., 2018).

· Els exercicis d'entrenament de la força són els que més efectius s'han mostrat per aquesta finalitat (Cadore et al., 2019; Calbet et al., 2009).

Per tant, a l'hora de plantejar els exercicis es va tenir en compte com seria la mesura de la FN, a més a més que tots aquests fossin desenvolupats mitjançant metodologies que suposessin un entrenament de la força. A part, s'ha de tornar a destacar que com no es volia interferir en excés en el desenvolupament del projecte dels esportistes, es van respectar les línies de treball que es porten en les seves sessions, de manera que, principalment, les que es van utilitzar van ser:

- La pliometria: Segons la *National Strength and Conditioning Association* (2018), s'entén com aquells exercicis que emfatitzen la transició ràpida des del moviment excèntric al concèntric, o cosa que és el mateix, el cicle estirament-escurçament, de manera que la força excèntrica, l'estímul reflex i la contribució elàstica són majors a causa de la càrrega excèntrica. Per tant, s'indica que aquests són idonis pel desenvolupament de la potència i la força.

- Els exercicis amb gomes elàstiques: A partir de la definició de la *NSCA* (2018), l'objectiu d'aquests és donar una resistència contínua en el moviment, cosa que és percebuda com un bon mètode d'entrenament per part de l'associació. Aquesta l'inclou dins els procediments d'entrenament de força variable, ja que permet un increment progressiu o exponencial en la tensió d'aquestes gomes al llarg del rang de moviment d'un exercici a causa de les seves propietats viscoelàstiques.

- *L'offset loading*: Es tracta d'una metodologia força innovadora que segons Seedman (2017) permet treballar sobre la mecànica i la tècnica de moviment, i que únicament implica utilitzar una sobrecàrrega major a un hemisferi corporal que a un altre. Aquest mateix autor destaca que es pot fer amb diferent material, com manuelles, barres amb discs, gomes elàstiques o *kettlebells* entre altres.

- Prevenció de lesions: Per tal d'atendre aquesta qüestió, es van prendre diferents estratègies, com les de donar consells sobre la biomecànica del moviment quan es veia que un exercici s'estava fent de forma lesiva (Faigenbaum i Myer, 2010) o implicar un component unilateral a alguns exercicis per evitar descompensacions entre extremitats, les quals s'han mostrat com a risc de lesió en el cas que superin el 15% (Fort-Vanmeerhaeghe, Gual, Romero, i Unnitha, 2016).

A més a més, s'ha de destacar que altres metodologies emprades com la pliometria s'han mostrat com una bona mesura de prevenció de lesions si es fan dins d'intervencions ben dissenyades i controlades per experts (Faigenbaum i Myer, 2010; Howe et al., 2017).

- Aprenentatge diferencial: Com ja s'ha comentat en altres subapartats, a l'hora de desenvolupar les sessions s'intentava que els subjectes poguessin experimentar amb diferents formes d'executar la tècnica de cada exercici, i les correccions i guiatge es feien quan les accions que es donaven podien suposar un risc per la seva salut (Araújo et al., 2012), ja que, com s'ha dit, l'entrenament de la força amb sobrecàrrega s'ha mostrat positiva en persones joves sempre sota el control d'una persona amb coneixement (Faigenbaum i Myer, 2010). En aquest cas, com que els subjectes no tenien molta experiència en la majoria dels exercicis que desenvolupaven, moltes vegades es donaven situacions que els podien posar en perill, a més a més de generar un estat en el qual l'efectivitat del mètode es disminuís si no es feia un control de la variabilitat (Leite et al., 2016a).

No obstant això, i per fer èmfasi en la necessitat de variabilitat qualitativa i quantitativa que Beckmann et al. (2008) diu que ha d'haver-hi en aquesta metodologia, els exercicis presentats tot i tenir el mateix objectiu de treball, eren modificats cada 2 setmanes per tal que els subjectes haguessin de fer front a nous estímuls desconeguts per ells que els hi permetessin un descobriment de noves solucions per fer front a un problema al qual ja estaven acostumats. D'aquesta manera, es permetia la variabilitat controlada que s'ha definit per tal que aquests poguessin fer un procés d'adaptació.

Un cop explicada la metodologia, s'ha de destacar que la proposta d'entrenament que vaig desenvolupar es va basar en 12 exercicis, dels quals 2 s'aplicaven a la sessió 1, mentre que 2 a la segona, el funcionament de les quals s'ha explicat en el marc teòric, de manera que, com s'acaba de destacar, cada dues setmanes s'anaven canviant. No obstant això, s'ha de remarcar de nou que l'objectiu del treball amb aquests exercicis era similar entre algun d'ells, ja que es volia assolir la variabilitat qualitativa i quantitativa de l'aprenentatge diferencial, però sense que aquesta fos excessiva, ja que si no els subjectes podrien no desenvolupar les adaptacions esperades, pel fet que hi hagués una pèrdua de l'efectivitat del mètode.

Finalment, és interessant destacar que a part dels exercicis proposats, els subjectes van seguir fent el desenvolupament normal del projecte, és a dir, els 4 exercicis restants a la sessió 1 i els 4 altres a la 2 van estar executats independentment de la intervenció, de manera que en ser un estímulo al qual ja estaven acostumats i que no tenia el mateix objectiu específic que els plantejats per mi, no es van contemplar dins l'avaluació de la seva millora a la resistència a la FN.

Una vegada definit tot això, a continuació es presentaran els exercicis que es van seguir al llarg de les 6 setmanes, dividits en blocs segons a quines d'aquestes i a quina sessió es van donar, i mitjançant la nomenclatura que Carreras, Cos, Cos, i Medina (2011) ofereixen per aconseguir un vocabulari específic dels diferents exercicis per desenvolupar la força, per tal de facilitar l'entesa entre els professionals del món de l'esport:

#### - Setmanes 1-2

· Sessió 1: 1. Salt a calaix mitjançant un CMJ seguit d'un salt des de caiguda (DJ) per baixar d'aquest. De les 3 sèries de 10 repeticions, 1 era bilateral, i 2 unilaterals (1 amb la cama esquerra, i 1 amb la dreta). L'alçada era adequada a la que es podia assolir.

2. Mig esquat amb barra agafada amb una mà de forma lateral. Dins les 3 sèries, es feien 20 repeticions, és a dir, 10 amb la barra a cada mà. Aquest exercici es va fer amb un 30% del pes corporal sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

· Sessió 2: 3. Tisores amb manuelles amb diferent pes a cada mà. Durant les 4 sèries de 30 segons, 2 eren amb el pes més gran a una mà, i les altres, amb aquest a l'altra. Els pesos a utilitzar eren el 20% del pes corporal i el 5% d'aquest a cada manuela, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

4. Mig esquat amb *hexbar* i gomes elàstiques per assolir resistència variable. Les 4 sèries de 30 segons es feien amb un 25% del pes corporal, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

#### - Setmanes 3-4

· Sessió 1: 5. Salt des d'esquat (SJ) seguit d'un DJ partint i caient a terra. De les 3 sèries de 10 repeticions, 1 era bilateral, i 2 unilaterals (1 amb la cama esquerra, i 1 amb la dreta).

6. Pes mort amb barra i diferent pes de disc a cada costat d'aquesta. Es desenvolupaven 3 sèries de 20 repeticions, de les quals 10 amb el pes més alt a cada costat. La massa total de la barra i els discs suposava el 35% del pes corporal, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.



· Sessió 2: 7. Tisores amb salt i manuelles amb diferent pes a cada mà. Durant les 4 sèries de 30 segons, 2 eren amb el pes més gran a una mà, i les altres, amb aquest a l'altra. Els pesos a utilitzar eren el 20% del pes corporal i el 10% d'aquest a cada manuela, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

8. Mig esquat frontal amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable. Les 4 sèries de 30 segons es van fer amb un 35% del pes corporal, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

#### - Setmanes 5-6

· Sessió 1: 9. Salt a calaix mitjançant un CMJ. De les 3 sèries de 10 repeticions, 1 era bilateral, i 2 unilaterals (1 amb la cama esquerra, i 1 amb la dreta). L'alçada era adequada a la que es pogués assolir, intentant aconseguir una progressió respecte a la qual s'utilitzava a les dues primeres setmanes.

10. Mig esquat amb barra des de *land mine*. Dins les 3 sèries, es feien 20 repeticions, és a dir, 10 amb la barra que vingués de cada costat. Aquest exercici es feia amb un 40% del pes corporal sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

· Sessió 2: 11. Esquat complet seguit de tisores (1 amb cada cama) amb manuelles amb diferent pes a cada mà. Durant les 4 sèries de 30 segons, 2 eren amb el pes més gran a una mà, i les altres, amb aquest a l'altra. Els pesos a utilitzar eren el 25% del pes corporal i el 5% d'aquest a cada manuela, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

12. Mig esquat amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable. Les 4 sèries de 30 segons es feien amb un 45% del pes corporal, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva.

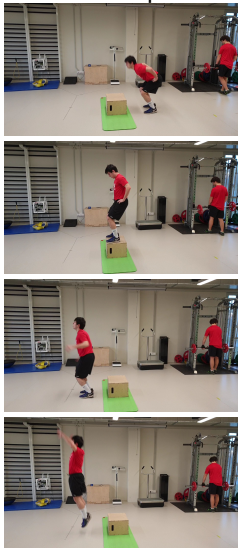





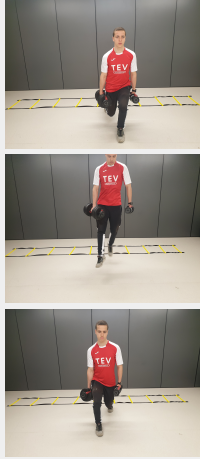

Al final d'aquest subapartat es presentarà la taula 2, en la qual aquests exercicis es mostraran mitjançant fotografies perquè es pugui entendre de forma més clara com era l'execució d'aquests, a la vegada que es classificaran en funció de la metodologia i moviment o objectiu que volien desenvolupar.





A més a més, s'ha de destacar que al llarg de les 6 setmanes es va tenir en compte el principi de l'entrenament de progressió, el qual és definit per Bosch, Lambert, Pearce, Sayers, i Viljoen (2008) com el fet que un esportista s'ha de veure sotmès sota un estímul de sobrecàrrega de forma regular per tal d'aconseguir adaptacions a l'entrenament, el qual es pot assolir mitjançant diferents estratègies com són la modificació del tipus d'exercici, del temps de descans entre sessions d'entrenament, de la intensitat, de la durada, i/o de la freqüència de l'estímul.

En aquest cas, la progressió es va fer en funció del percentatge del pes corporal que els esportistes havien d'aixecar, o l'alçada que havien de saltar, de manera que la variable que es modificava era la de la intensitat. A l'annex a) es presenten les diferents evolucions dels subjectes als qui se'ls va fer realitzar aquests exercicis. S'ha de remarcar que els quilos que es mostren en aquest suposen el percentatge exacte del pes corporal dels esportistes, i que la càrrega final a desplaçar es va adaptar al material disponible.

D'aquesta manera, també es va tenir en compte un factor que aquests autors destaquen molt en el mateix treball, i és el fet de la individualització que és necessària dins els programes d'entrenament per tal d'assolir els resultats esperats, de manera que es busca que aquest s'acomodi a les necessitats de l'esportista. Per tant, si en algun moment algun subjecte no podia mobilitzar el pes que s'esperava amb una tècnica adient, o no podia assolir les alçades de salt esperades, es van fer modificacions dels exercicis perquè pogués fer-ho de forma òptima.

Per posar fi a aquest subapartat, cal dir que aquest últim fet va en consonància amb el que és destacat en el mateix treball, i és que si la intensitat d'un exercici és massa elevada per un subjecte, aquest pot desenvolupar símptomes de sobreentrenament o incrementar el seu risc de lesió.

	Exercicis pliomètrics (entrenament de la força i prevenció de lesions)	Offset loading (entrenament de la força amb sobrecàrrega atenent a la mecànica i tècnica de moviment)	Treball unilateral (prevenció de lesions)	Exercicis amb gomes elàstiques (entrenament de la força amb sobrecàrrega i prevenció de lesions)
Setmanes 1-2	<p>1. Salt a calaix mitjançant un CMJ seguit d'un DJ per baixar d'aquest.</p> 	<p>2. Mig esquat amb barra agafada amb una mà de forma lateral.</p> 	<p>3. Tisores amb manuelles amb diferent pes a cada mà.</p> 	<p>4. Mig esquat amb <i>hexbar</i> i gomes elàstiques per assolir resistència variable.</p> 
Setmanes 3-4	<p>5. Salt des de SJ seguit d'un DJ partint i caient a terra.</p> 	<p>6. Pes mort amb barra i diferent pes de disc a cada costat d'aquesta.</p> 	<p>7. Tisores amb salt i manuelles amb diferent pes a cada mà.</p> 	<p>8. Mig esquat frontal amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable.</p> 

	Exercicis pliòmètrics (entrenament de la força i prevenció de lesions)	Offset loading (entrenament de la força amb sobrecàrrega atenent a la mecànica i tècnica de moviment)	Treball unilateral (prevenció de lesions)	Exercicis amb gomes elàstiques (entrenament de la força amb sobrecàrrega i prevenció de lesions)
Setmanes 5-6	<p>9. Salt a calaix mitjançant un CMJ.</p> 	<p>10. Mig esquat amb barra des de <i>land mine</i>.</p> 	<p>11. Esquat complet seguit de tisores (1 amb cada cama) amb manuelles amb diferent pes a cada mà.</p> 	<p>12. Mig esquat amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable.</p> 

Taula 2: Exercicis desenvolupats pel grup experimental. Font pròpia.

### 4.1.3. Valoració de la FN

Després de veure l'entrenament a desenvolupar pels subjectes del grup experimental, a continuació es definirà l'estratègia que es va seguir per tal de fer les mesures de la FN de la mostra general d'aquest treball, anteriorment i posteriorment de les 6 setmanes d'aplicació o no aplicació de l'entrenament. Per fer-ho, es va decidir realitzar una adaptació del protocol que Gathercole et al. (2015) van desenvolupar, ja que aquest es va mostrar com a vàlid per generar i identificar FN, fet que donarà més consistència al meu treball. Aquestes modificacions es van fer per atendre a les limitacions temporals que hi havien a l'hora de dur a terme les sessions, les edats dels esportistes, i certes diferències en exercicis i materials utilitzats per obtenir dades respecte a l'estudi al qual s'ha fet referència.

Així doncs, a continuació es definirà com es va desenvolupar el pla d'acció, el qual cal dir que a partir del que s'ha indicat en el marc teòric, segons la classificació de Cairns et al. (2005), la mesura de la FN que es realitzava en aquest era mitjançant un protocol de mesura per contracció voluntària amb exercici real. Per tant, els elements que calen definir en aquests són 3: la selecció de subjectes, la qual ja s'ha vist, el protocol de fatiga, i la quantificació d'aquesta.

D'aquesta manera, s'ha de dir que aquests dos últims factors es van fer abans i després del període d'entrenament, en unes sessions que van tenir una duració estimada d'1 hora, les quals es van desenvolupar a partir dels següents passos:

1. 10 minuts d'escalfament al mateix lloc on es desenvolupaven els tests destinats a generar la FN, controlat per una persona que indicava als subjectes què haurien de fer en cada moment. Aquests es van repartir en 2,5 minuts de carrera a ritme suau, 2,5 minuts d'estiraments dinàmics (genolls amunt, talons al cul, coces a l'aire, i mobilitzacions d'abductors i d'adductors actives, canviant entre aquests cada mig minut), i 5 minuts per completar 5 esprints de 10 metres i 5 més de 20 a un ritme seleccionat pel subjecte.

2. 5 minuts de recuperació activa (els subjectes podien caminar, i sense permetre que s'asseguessin en cap moment, se'ls proveïa amb aigua). En els primers 2 minuts d'aquests, els esportistes havien de fer 3 salts d'intensitat creixent de cada un dels tipus dels quals serien analitzats a manera de preparació, i en el minut següent, practicaven la tècnica d'esquat perquè els controladors poguessin fer les correccions pertinents.

3. Presa de mesures abans de l'estímul de fatiga. Es van desenvolupar 3 CMJ, 3 SJ, i 3 DJ, amb 30-45 segons de descans entre salt. Si en el desenvolupament d'algun d'aquests es veia una tècnica errònia, el salt en qüestió es feia repetir. A més a més, es va fer 1 sèrie de 10 repeticions d'esquat a velocitat màxima, en la que la càrrega a moure era del 50% del pes corporal de l'esportista, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva, i, en el cas que a la sessió de familiarització s'hagués vist que no era possible, s'utilitzava la càrrega determinada en aquesta per fer l'exercici.

4. Desenvolupament de l'estímul de fatiga, el qual consistia en dos Yo-Yo test IR2, que es desenvolupaven fins que cap esportista pogués mantenir el ritme. En el cas que alguns duressin més que altres mantenint la intensitat imposada per la prova, es feia que els que no haguessin pogut fer-ho, seguissin corrents fins que els seus companys pareessin encara que no arribessin a les línies a temps, de manera que no disposaven d'un major temps per recuperar-se.

Aquest test, el qual es va fer seguint les indicacions de Gathercole et al. (2015), que coincideixen amb altres de la literatura científica (Bangsbo, Iaia, i Krstrup, 2008; Bangsbo et al., 2006), consisteix a fer de forma repetida carreres de 20 metres d'anada i tornada (40 metres en total), els quals en el cas del meu estudi estaven delimitats per cons, i que es produeixen en velocitats creixents, i amb descans de 10 segons entre elles. Els ritmes de cursa i de descans eren marcats de forma auditiva. Entre els dos tests, hi va haver 5 minuts de recuperació activa (es podia caminar, i sense permetre que s'asseguessin en cap moment, es proveïa als subjectes amb aigua).

5. 5 minuts de recuperació activa (els subjectes podien caminar, i sense permetre que s'asseguessin en cap moment, se'ls proveïa amb aigua). En els primers 2 minuts d'aquests, els esportistes havien de fer 3 salts d'intensitat creixent de cada un dels tipus dels quals serien analitzats a manera de preparació, i en el minut següent, practicaven la tècnica d'esquat perquè els controladors poguessin fer les correccions pertinents.

6. Presa de mesures després de l'estímul de fatiga. Es van desenvolupar 3 CMJ, 3 SJ, i 3 DJ, amb 30-45 segons de descans entre salt. Si en el desenvolupament d'algun d'aquests es veia una tècnica errònia, el salt en qüestió es feia repetir. A més a més, es va fer 1 sèrie de 10 repeticions d'esquat a velocitat màxima, en la que la càrrega a moure era del 50% del pes corporal de l'esportista, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva, i, en el cas que a la sessió de familiarització s'hagués vist que no era possible, s'utilitzava la càrrega determinada en aquesta per fer l'exercici.

A més a més, i seguint amb la metodologia de Gathercole et al. (2015), una setmana abans de les primeres mesures, es va desenvolupar una sessió de familiarització amb els subjectes de l'estudi. L'objectiu d'aquestes, com s'indica per part dels mateixos autors, va ser que els participants dins el meu treball poguessin saber què és el que anaven a fer en el protocol, i així tinguessin una consistència en l'execució dels exercicis el dia de test com a tal. La seva duració va ser d'aproximadament 1 hora, i el desenvolupament d'aquestes va ser el següent:

1. Presa del pes dels esportistes per poder utilitzar una càrrega adequada en l'esquat.

2. 10 minuts d'escalfament al mateix lloc on es desenvolupaven els tests destinats a generar la FN, controlat per una persona que indicava als subjectes què haurien de fer en cada moment. Aquests es van repartir en 2,5 minuts de carrera a ritme suau, 2,5 minuts d'estiraments dinàmics (genolls amunt, talons al cul, coces a l'aire, i mobilitzacions d'abductors i d'adductors actives, canviant entre aquests cada mig minut), i 5 minuts per completar 5 esprints de 10 metres i 5 més de 20 a un ritme seleccionat pel subjecte.

3. Desenvolupament d'un test de Yo-Yo IR2 sense arribar a una fatiga excessiva.

4. Pràctica dels exercicis mesurats en el protocol. Es van desenvolupar sèries de 4 salts dels 3 tipus que s'avaluaven en el test (SJ, CMJ i DJ) en els que no es passava d'un tipus a l'altre fins que els esportistes aconseguien fer una sèrie de salts amb una alçada que no variés més d'un 10% entre ells. Posteriorment es van fer sèries de 10 esquats en les que la càrrega a moure era del 50% del pes corporal de l'esportista, sempre que es pogués assolir una tècnica no lesiva, i, si no era el cas, es disminuïa aquesta càrrega. En aquest últim exercici, s'anaven fent sèries fins que l'execució fos l'adequada.



La distribució de les diferents estacions de mesura dins les sessions de familiarització i de test com a tal es van realitzar de la mateixa forma als protocols desenvolupats abans i després de les 6 setmanes en el cas de cada individu. No obstant això, va haver-hi 3 subjectes que per causes mediambientals, l'escalfament i l'estímul de fatiga dels dies de les preses de mesures van ser aplicats dins d'un edifici, i 2 altres que per motius d'organització van haver de fer totes les sessions en una zona diferent. A continuació es definiran les condicions en més profunditat.

Primerament, en el cas del grup més nombrós de subjectes, pel que fa a l'escalfament i al Yo-Yo test, aquests es van fer sobre una recta de ciment a l'aire lliure (imatge 1), i per les mesures de salt i d'esquat, es van establir dues estacions en les quals es trobava el material per fer-les (imatge 2 i 3).



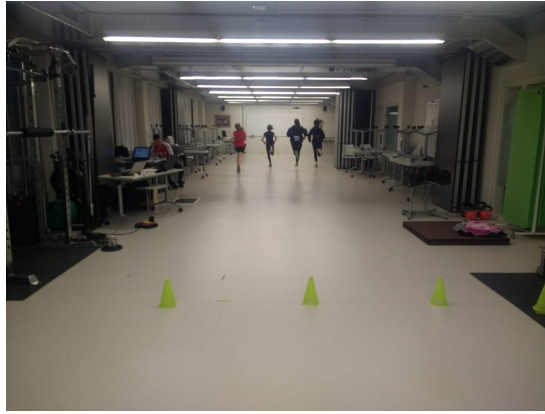
Imatge 1: Desenvolupament del Yo-Yo test a l'espai habitual. Font pròpia.



Imatges 2 i 3: Estacions de mesura d'esquat i salt a l'espai habitual. Font pròpia.

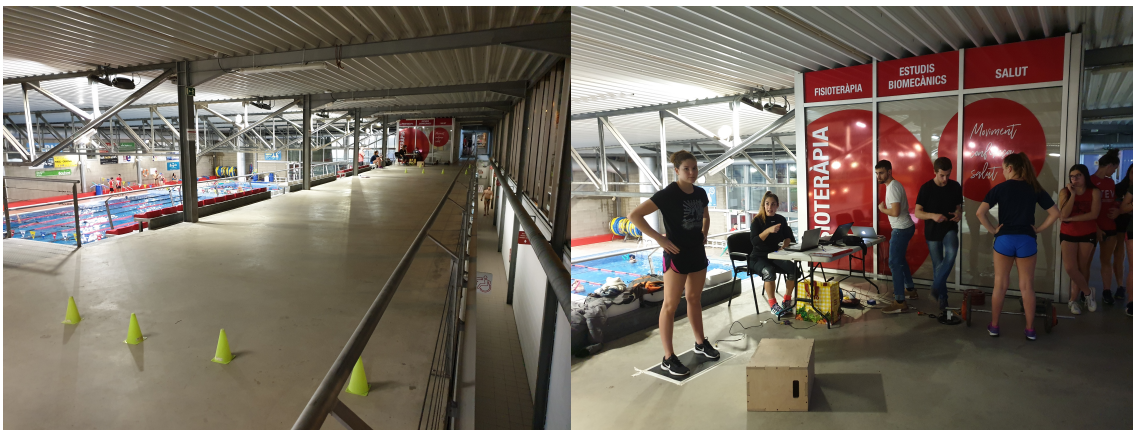
D'altra banda, el segon grup al qual s'ha fet referència, va utilitzar les mateixes estacions de mesura, però pel que fa a l'escalfament i al Yo-Yo test, a causa de les condicions meteorològiques es van haver de desenvolupar dins l'espai on es prenen les mesures de salts i esquat (imatge 4).





Imatge 4: Desenvolupament del Yo-Yo test dins l'espai de les estacions de presa de mesura. Font pròpia.

Finalment, el grup que va haver de fer tot el procés en una ubicació diferent per causes organitzatives, va realitzar tant l'escalfament, com l'estímul de fatiga, com la presa de dades, a una recta al costat d'una piscina coberta (imatge 5 i 6).



Imatges 5 i 6: Desenvolupament del protocol al costat d'una piscina coberta. Font pròpia.

Una vegada dit això, cal esmentar que en els dies de mesura, va haver-hi entre 1 i 5 persones controladores per tal que el desenvolupament dels mateixos fos l'òptim, en funció del nombre de subjectes de la mostra que eren presents.

A més a més, és important comentar que a l'hora de realitzar els tests, es van fer en grups de com a molt 4 persones, els quals moltes vegades eren formats tant per participants del grup control com de l'experimental, per tal d'evitar acumulacions de més de 2 subjectes a cada estació de mesura. La distribució i ordre dins aquestes van ser aleatoris per evitar que aquests poguessin influir en les dades recollides. No obstant això, si es començava amb els salts, s'havien de fer els tres tipus amb tots els intents abans de poder passar a fer els esquats.

S'ha d'indicar que es va elegir desenvolupar aquest protocol, ja que Gathercole et al. (2015) van demostrar que l'especificitat de la fatiga generada en l'estímul induït pel Yo-Yo test produïa uns efectes a partir dels quals, mitjançant l'anàlisi de sobretot els resultats en el CMJ i el DJ, es generaven uns efectes prou sensibles per a ser detectats, i així identificar la FN. Segons aquests mateixos autors, això és així, ja que, deguda a la relació de la tasca desenvolupada amb la FN, la naturalesa del cicle estirament-escurçament d'aquests salts es veu més afectada per la càrrega excèntrica que és produïda a la cursa del test.

D'altra banda, els investigadors d'aquest estudi remarquen que el SJ, tot i tenir una sensibilitat menor, també és un mètode bo per la mesura de la FN, ja que, encara que sigui més limitat, permet una repetibilitat marcada. D'aquesta manera, tots tres salts dins aquest protocol s'han mostrat com uns bons indicadors d'aquesta manifestació, fet que es comentarà de nou en les pròximes parts del treball.

A continuació es farà una definició de com els subjectes van dur a terme aquests salts tant en les mesures que s'acaben de descriure com en els exercicis vists al subapartat anterior. Per fer-ho, s'ha de dir que les instruccions que se'ls hi van donar van ser les que García-López i Villa (2003) defineixen a partir d'una recopilació de la literatura de referència, afegint algunes indicacions explicades pels creadors del protocol que es va seguir:

- SJ: Es tracta d'un salt amb les dues cames de forma simultània, el qual està precedit d'una flexió d'aquestes a 90° aproximadament de manera sostinguda durant uns 3 segons (Gathercole et al., 2015), des de la qual s'ascendeix verticalment sense cap mena de rebot o contramoviment, fet que implicarà que suposi una representació de la força explosiva. En tot moment les mans han d'estar en contacte amb la cintura de l'executant.

S'ha de destacar que els participants havien d'esperar en la posició de flexió de genolls fins que la persona responsable els hi digués quan podien iniciar l'acció. A més a més, cal dir que aquest és el que requereix una tècnica més complicada, ja que és molt fàcil que puguin haver-hi moviments que influeixin en el salt, cosa que si succeïa, es feia repetir l'intent, com indica Gathercole et al. (2015). Això es feia quan hi havia presència d'una tècnica errònia en qualsevol dels tres salts, com s'ha indicat en l'explicació del protocol, però és important destacar-ho en aquest, ja que és en el que més es produïa a causa del factor explicat.

- CMJ: Partint d'una extensió de genolls en bipedestació, es fa un moviment ràpid de flexió-extensió del genoll, el qual segons Gathercole et al. (2015) ha d'arribar a una profunditat que sigui còmode pel subjecte, de manera que sense cap classe de pausa es faci un salt. Aquest avalua la força explosiva amb influència per la reutilització de l'energia elàstica. En el desenvolupament d'aquest salt, els subjectes rebien un senyal de quan podien iniciar el moviment.

Dins la literatura, aquest s'indica com el mètode que s'utilitza de forma rutinària per avaluar la FN i les adaptacions a l'entrenament en esportistes (Bemben et al., 2018), cosa que és visible pel fet que aquest ha estat àmpliament utilitzat (Antonutto et al., 2016; Drake i Kennedy, 2017; Gathercole et al., 2015; Gurchiek et al., 2018). D'altra banda, cal destacar que aquest té força controvèrsia de si s'ha de fer amb influència de braços (moviment lliure d'aquests) o sense (amb les mans a la cintura).

Enfront aquest fet, Bemben et al. (2018) indiquen que, encara que les dues formes siguin vàlides, la no utilització de braços permet isolar l'acció de les extremitats inferiors i quantificar canvis aguts en la FN i la fatiga general, pel que aquesta execució va ser l'escollida en el desenvolupament dels tests.

- DJ: És un salt que consisteix a caure des d'una alçada estandarditzada, la qual en el cas dels tests va ser de 30 centímetres per tothom, contactar amb els peus a terra i flexionar els genolls per, de forma contínua, efectuar un salt, de manera que es pugui avaluar la força explosiva amb aprofitament del reflex miotàctic. En aquests, els subjectes rebien un senyal de quan podien iniciar el salt des de la caiguda.

S'ha de dir que tot i que altres autors com Gathercole et al. (2015) indiquin que s'ha de fer amb les mans a la cintura, en el desenvolupament de les sessions de familiarització es va veure que d'aquesta manera molts subjectes perdien l'equilibri, fins i tot arribant a caure's, de manera que es va decidir modificar la tècnica perquè poguessin fer una lliure utilització d'aquests, ja que aquesta execució permetia moviments més naturals i segurs per ells.

A més a més, en aquest salt es va seguir el protocol que els mateixos autors defineixen en el seu estudi, és a dir, se li deia als subjectes que no saltessin, sinó que es deixessin caure de l'alçada de 30 centímetres, i que saltessin el més alt possible, amb el mínim temps de contacte que poguessin.

Adicionalment, és important recalcar que per tots els salts es motivava als subjectes que saltessin el màxim que poguessin i d'una forma natural per ells, a més a més que el contacte amb el terra es produís de la forma més atlètica possible, cosa que s'ha pogut veure a la literatura (Bemben et al., 2018).

D'altra banda, s'ha de destacar que la inclusió de la sèrie de 10 esquats a velocitat màxima al protocol de Gathercole et al. (2015) es va fer per tal de poder extreure dades d'un moviment en el qual el cycle estirament-escurçament tingués un paper important, i que no impliqués un salt. A més a més, és remarcable que tant en els tests pre com en els post, la càrrega que va mobilitzar cada esportista respectivament va ser la mateixa, ja que el seu pes corporal no va variar de forma prou significativa per modificar la massa que suposava el 50% d'aquest.

D'aquesta manera, en l'execució de l'esquat dins el protocol de mesura i els exercicis d'entrenament, es va seguir el que Schoenfeld (2010) defineix com una tècnica adequada per aquesta. Segons aquest autor, aquest s'inicia amb el subjecte en una posició dempeus, amb els genolls i la cintura estesos al complet, seguit d'una flexió d'aquestes dues articulacions i el turmell, fent un gest similar al d'asseure's a una cadira. En el moment que s'assoleix la profunditat que es vulgui, l'executor reverteix el moviment per tornar a la posició inicial. En el cas de l'estudi, la que es buscava és el que aquest mateix autor defineix que es dona a un mig esquat, és a dir, una flexió d'entre 70° i 100°.

A part, s'ha de destacar que per comprovar que es generava una fatiga, es va utilitzar l'escala de Borg 3 cops durant les sessions de test: abans de començar l'escalfament, just abans d'iniciar el primer Yo-Yo test, i just en acabar el segon d'aquests. Aquest tipus d'escales són una manera d'avaluació de la fatiga subjectiva, que, com ja s'ha vist en el marc teòric a la classificació de Taylor (2012), són utilitzades en la literatura. En el cas específic de l'escala de Borg, aquesta ha estat emprada per Bayios et al. (2016), i, com en el seu cas, es va utilitzar la que dona valors d'entre 6 i 20.

Per acabar, i una vegada explicat tot el procediment que es va seguir, s'ha de dir que fent referència a la classificació de Taylor (2012) vista a la fonamentació teòrica, aquest test de mesura de la FN és emmarcat dins dels de rendiment, ja que es van realitzar a partir de salts verticals, a més a més de moviments que impliquen manifestacions de la força. El motiu pel qual això es recalca és que aquest fet, juntament amb els que s'han comentat anteriorment, es van efectuar amb la intenció d'ajudar en la validesa del procés.

#### 4.1.4. Instruments

A continuació de la definició del protocol, és important identificar tots els materials que es van plantejar com a instruments per recollir les dades en el seu desenvolupament. A continuació, es presentaran els que es van seleccionar.

Primerament, s'ha de destacar que es va fer mesures de la temperatura i la humitat, pel que en les parts del protocol desenvolupades en interiors, es va utilitzar les dades que donaven un termòmetre de paret el qual oferia les dues informacions, mentre que per les exteriors es van fer servir les dades que el Servei Meteorològic de Catalunya oferia al portal web [meteo.cat](http://meteo.cat).

D'altra banda, pel que fa a la fatiga subjectiva, com ja s'ha dit, l'instrument va ser una escala de Borg visual, que anava d'una puntuació de 6 a 20, en la qual aquesta última xifra representa la fatiga màxima. Un exemple del model concret utilitzat es pot veure a l'annex b). Aquest instrument, com s'ha pogut veure en la fonamentació teòrica, ha estat utilitzat a la literatura (Bayios et al., 2016), i s'ha demostrat que és un mitjà fiable i vàlid juntament amb altres escales de percepció subjectiva de l'esforç per tal d'identificar la presència de FN, encara que pugui tenir alguns inconvenients que influeixin en la seva exactitud, com s'ha indicat en el resum que s'ha fet en el marc teòric sobre la classificació de Taylor (2012).

Una vegada dit això, cal remarcar que en el cas dels salts, es va mesurar l'alçada que s'assolia i la ràtio FT:CT, mentre que en l'esquat, la velocitat mitjana i el percentatge de pèrdua de velocitat, de forma lineal i angular en el genoll en els dos indicadors. Tots aquests s'expliquen amb més profunditat en el següent subapartat.

En el cas de la mesura de l'alçada de tots els salts, el seu temps de vol, i el temps de contacte únicament del DJ, es va utilitzar una plataforma de contactes juntament amb el software *Chronojump-Boscosystems*, el qual ha estat validat per De Blas, Guerra, López, i Padullés (2012), de manera que és una eina fiable i que ofereix exactitud en les seves mesures de salt. A més a més, com s'ha vist en el marc teòric, la utilització de plataformes de contactes en estudis de FN s'ha mostrat com un bon mitjà de mesura d'aquesta quan es tenen recursos limitats (Balloch, 2018).

A tot això se li ha d'afegir el fet que per avaluar el temps de contacte en el SJ i el CMJ, es va utilitzar l'aplicació de telèfon mòbil *MyJump2*, la qual s'ha demostrat que és un instrument vàlid, fiable i exacte (Balsalobre, Glaister, i Lockey, 2015), i en aquest cas es va fer servir mitjançant una gravació feta a una freqüència de 240 fotogrames per segon amb un telèfon Samsung Galaxy S9+.

S'ha de destacar que per identificar aquest temps de contacte es van utilitzar diferents referents pels dos salts pel fet que, com que no es disposava d'una plataforma de forces, no es podia tenir una identificació exacta de quan s'iniciava el desenvolupament d'aquesta fase del salt. Pel que fa al SJ, es va fer una adaptació del que Bennet et al. (2002) identifica com a moment en el qual l'extensió dins un CMJ es dóna, ja que la tècnica del SJ i el CMJ emprada en el meu treball, una vegada s'inicia l'extensió d'aquest, és igual.

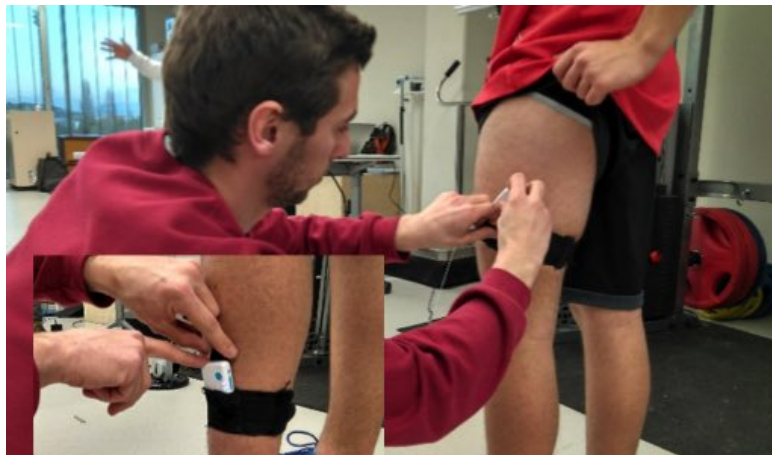
D'aquesta manera, i tenint en compte la definició del moviment de García-López i Villa (2003), Bennet et al. (2002) contempen que l'extensió, o el que seria el mateix en el SJ, l'inici del moviment o temps de contacte, comença a partir del fotograma en el qual s'assoleix la màxima profunditat. Per tant, per avaluar això dins la mesura de les meves dades, es va considerar que el temps de contacte en SJ s'iniciava quan els subjectes, una vegada rebien el senyal de saltar, assolien la màxima profunditat per iniciar l'extensió de maluc, la qual s'ha mostrat com la primera articulació que inicia el moviment en els salts (Bennett et al., 2002), i aquest durava fins al moment que aquests perdien el contacte amb el terra, sempre assumint que no es permetien contramoviments previs al salt.

Pel que fa al temps de contacte en el CMJ, i novament com no es disposava d'una plataforma de forces per identificar quan s'iniciava el moviment i així valorar aquesta dada, es va prendre com a punt de referència el moment el qual García-López i Villa (2003) defineixen que és l'inici d'aquesta acció, és a dir, quan es trenca l'extensió de genolls i s'inicia la flexió d'aquests. El final d'aquesta fase es va entendre que era el moment que els peus deixaven d'estar en contacte amb el terra.

A més a més, s'ha de destacar que la mesura de totes les dades de salt d'un dels subjectes del grup control en els dos dies de test va haver de fer-se completament amb l'aplicació *MyJump2*, ja que en el moment de desenvolupar la primera sessió, la plataforma de contactes donava errors. Per tant, l'alçada, el temps de vol i el temps de contacte del SJ, el CMJ, i el DJ van estar calculats mitjançant l'aplicació. No obstant això, aquesta està preparada per poder fer aquesta tasca, de manera que no es va considerar cap problema.

En el cas de la presa de velocitat lineal a l'esquat, es va utilitzar un encòder lineal amb el mateix software que la plataforma de contactes, és a dir, *Chronojump-Boscossystems*, el qual s'ha mostrat com un instrument vàlid, fiable i exacte a l'hora de donar dades de velocitat i potència en exercicis físics amb sobrecàrrega en l'estudi de Castrillón, Del Àguila, Ramírez, Vivancos, i Zambudio (2014). Aquest encòder era subjectat a la barra mitjançant una tela ajustada que evitava cap moviment no desitjat que pogués interferir en el recull de les dades, i sempre al costat esquerre dels subjectes. S'ha de remarcar que aquest instrument es pot incloure dins dels transductors de posició que s'han vist que s'han utilitzat a altres estudis d'avaluació de la FN (Balloch, 2018; Gathercole et al., 2015).

Finalment, per identificar la velocitat angular del genoll, es va utilitzar un parell de sensors inercials *DyCare*, els quals mitjançant una cingla per cadascun, es col·locaven 1 a la part medial externa de la cuixa esquerra i l'altre a la part medial externa de la cama esquerra (imatge 7). Com ja s'ha comentat, aquest instrument s'ha utilitzat en algun estudi (Gurchiek et al., 2018).



Imatge 7: Col·locació del sistema de sensors inercials. Font pròpia.

D'altra banda, fent referència a aquest model en concret, s'ha comprovat la seva validesa i aplicabilitat per avaluar la flexibilitat activa de la musculatura isquiotibial per part de Duran, Ferrer, i Turmo (2017). S'ha de destacar que les mesures preses amb l'aparell en qüestió, només seran presents per a 6 subjectes del grup experimental i 5 del control, ja que es van produir problemes amb el sistema que van impedir el recull de dades dels restants.

No obstant això, aquest instrument encara està sent sotmès a proves per comprovar la seva validesa en moviments explosius com els salts, de manera que les dades que es presentaran en aquest treball, no se'ls hi donarà tanta importància com les de l'encòder lineal, a causa de la velocitat a la qual es desenvolupaven les repeticions dins la sèrie d'esquats. Tot i això, el motiu pel qual s'ha considerat la seva inclusió en aquest, és per la modificació de la tècnica d'execució que pot aparèixer en el desenvolupament d'aquesta acció sota fatiga, cosa que s'explicarà en el subapartat següent.



#### 4.1.5. Indicadors

Després d'haver exposat tots els instruments utilitzats per la recollida de dades, és important fer un aclariment d'aquelles mesures del grup experimental i del grup control que es van tenir en compte a l'hora de poder comparar quin va ser l'efecte de l'entrenament desenvolupat durant 6 setmanes, les quals s'han esmentat en el subapartat anterior.

La primera mesura que es va agafar de les diferents sessions de test van ser les de temperatura i humitat en la qual es desenvolupaven tant els estímuls de fatiga com la resta de presa de dades. Això és així, ja que com s'ha vist en el marc teòric d'aquest treball, aquestes dues característiques de l'ambient poden influir tant en el rendiment com en l'aparició de la FN (Gutiérrez-Vargas et al., 2018).

D'altra banda, s'ha de dir que, com ja s'ha definit, una altra d'aquestes dades recollides va ser la puntuació dins l'escala de percepció subjectiva d'esforç de Borg. Els resultats que donen aquestes escales s'han mostrat com un mètode fiable i vàlid, encara que aquests poden estar condicionats per altres factors (Taylor, 2012). Per tant, mitjançant les 3 mesures per sessió que es van agafar d'aquesta dada, la intenció era que amb les dues primeres es pogués comprovar el cansament dels subjectes del dia en qüestió sense cap estímulo fora del normal o extenuant, mentre que amb l'última es pretenia assegurar que amb l'estímul de fatiga s'arribés a una FN.

Els següents indicadors que es van tenir en compte a l'hora de valorar la FN, com s'ha dit al subapartat anterior, van ser la mitjana de l'alçada i de la ràtio FT:CT dels tres intents de cada un dels salts que s'han comentat. En el cas de l'alçada, tot i que ha estat un valor que s'ha utilitzat a diferents estudis que es poden trobar a la literatura (Andersson et al., 2008; Bayios et al., 2016; Gathercole et al., 2015; Gurchiek et al., 2018), i per tant es pot entendre com un valor vàlid, fiable i exacte en la detecció de la FN, hi ha diferents estudis més recents que indiquen que la ràtio FT:CT suposa un millor indicador, ja que contempla l'efecte de la teoria dels sistemes dinàmics (Aughey et al., 2018; Balloch, 2018; Bembem et al., 2018; Gathercole et al., 2015).

D'aquesta manera, com que les evidències científiques demostren que aquest últim indicador és més vàlid, fiable, i exacte a l'hora de mesurar la FN, ja que és més sensible a detectar les modificacions que genera aquesta en els subjectes, aquesta dada en qüestió va ser de les que més es van tenir en compte, encara que l'alçada de salt també va ser un valor en el qual es va posar molta atenció. Per tal de calcular-lo, es va fer una divisió del temps de vol entre el temps de contacte de cadascun dels salts.

A més a més, s'ha de destacar que el fet de fer la mitjana dels valors dels tres salts en comptes de simplement utilitzar aquells que pertanyen al millor intent és una estratègia que diferents autors desenvolupen o recomanen a l'hora de fer mesures en la FN (Balloch, 2018; Drake i Kennedy, 2017; Gathercole et al., 2015).

D'altra banda, i com s'ha comentat, Gathercole et al. (2015) indiquen que en el protocol que van desenvolupar, aquells moviments que es mostren més sensibles a les modificacions que puguin succeir a escala neuromuscular són el CMJ i el DJ a causa de la relació del seu component de cicle estirament-escurçament i la càrrega excèntrica que suposa el Yo-Yo test, cosa que és representativa de l'especificitat de la FN en relació a la tasca desenvolupada.

No obstant això, el SJ també es va demostrar en el mateix estudi que era capaç d'identificar alguns canvis, però d'una forma menys òptima, pel que tot i que es van tenir en compte les dades de tots tres salts, en els que més èmfasi es va posar va ser en els dos primers que s'han comentat.

A part, amb les dades d'alçada d'aquests moviments es van poder calcular dos índexs, els quals es van aplicar en funció del que García-López i Villa (2003) resumeixen en el seu treball a partir de la literatura destacable:

- Índex d'elasticitat: Fa una relació del CMJ i el SJ, de manera que es quantifica la influència de l'energia elàstica en el salt. Aquest es calcularà a partir de les seves alçades amb la fórmula  $((\text{CMJ}-\text{SJ}) \times 100) / \text{SJ}$ .

- Índex de reactivitat: Estableix la relació entre el DJ i el CMJ, per tal de mesurar la contribució del reflex miotàctic en el salt. La fórmula que es va utilitzar per fer-ho a partir de les seves alçades va ser  $((\text{DJ}-\text{CMJ}) \times 100) / \text{CMJ}$ .

Aquests dos índexs es van seleccionar com a indicadors, ja que el fet de tenir les dades de 3 salts que formen part del test de Bosco, permet que aquests es puguin contemplar com una font d'informació addicional a tenir en compte, ja que utilitza una dada força representativa a la bibliografia analitzada com és l'alçada dels salts.

Deixant de banda aquests moviments, la resta d'indicadors que es van mesurar en el desenvolupament del treball van ser relacionats amb la sèrie de 10 esquats. En aquesta acció concreta, encara que no tingui un volum d'estudis tan gran com en el cas dels salts pel que fa a la influència de la FN en ella, s'ha demostrat que la disminució gradual de la velocitat d'execució que es dona en les contraccions que s'han de fer per desenvolupar un moviment dinàmic de forma repetida, com és el cas de la sèrie de 10 esquats a màxima velocitat que es va produir en el test, es pot interpretar com una evidència de FN, i la seva mesura pot permetre la quantificació d'aquesta (González-Badillo i Sánchez-Medina, 2011).

Per tant, i com s'ha indicat al subapartat anterior, es van agafar les dades de la velocitat lineal de la barra i de la velocitat angular del genoll, a partir de les quals es va fer una mitjana de la velocitat que hi havia al llarg de la sèrie, a més a més de calcular la pèrdua de velocitat mitjana que hi havia respecte a la millor repetició en cada una d'aquestes en tots dos casos.

S'ha de destacar que la presa de velocitat tant de forma lineal com angular es va fer, ja que hi ha diferents evidències que mitjançant la fatiga, hi ha una modificació de la tècnica d'execució de l'esquat, fet que es pot relacionar amb la teoria dels sistemes dinàmics explicada al marc teòric.

Seguint amb aquesta línia, la modificació tècnica moltes vegades implica una posició més inclinada del tronc, i una menor flexió del genoll (Andersson, Novak, Schipplein, i Trafimow, 1993; Apicella et al., 2014; Schoenfeld, 2010), factors que els mateixos estudis que ho han identificat destaquen com a risc de lesió. D'aquesta manera, tant les dades de velocitat lineal com angular es poden entendre com a vàlides, fiables i exactes en la mesura de la FN.

Tot i això, tenint en compte aquestes modificacions, es pot entendre que encara que no hi hagi una pèrdua de la velocitat lineal com a tal, pot ser que aquesta sí que es trobi a l'angular, factor que seria comparable al que passa en el salt entre l'alçada i la ràtio FT:CT quan hi ha la influència de la FN.

Sabent aquesta informació, una vegada definits, cal dir que, com ja s'ha mostrat en la definició del protocol, els indicadors relacionats amb els salts i els esquats es van prendre dos cops per sessió de tests, 1 abans i l'altre després de l'estímul de fatiga, de manera que en acabar el treball, es va obtenir 4 preses de dades per subjecte.

Finalment, cal destacar que a la taula 3, hi ha un resum dels diferents indicadors de forma més clara, juntament amb els instruments ja definits anteriorment mitjançant els quals es van obtenir. A més a més, i relacionant aquests primers amb el que s'ha vist al marc teòric, tots ells es poden encabir dins la classificació adaptada que es mostra de Cairns et al. (2005) d'indicadors i variables per mesurar la FN, ja sigui dins el grup de fatiga percebuda subjectivament (escala de Borg), de potència (alçada dels salts, i velocitat lineal i angular a l'esquat), o de modificacions tècniques (ràtio FT:CT dels salts, i velocitat angular a l'esquat). Per tant, tots aquests van contribuir en la validesa, fiabilitat i exactitud dels resultats.

<b>Termòmetre de paret (interior) i meteo.cat (exterior)</b>	<b>Escala de Borg (del 6 al 20)</b>	<b>Plataforma de contactes Chronojump -Bosco-sytems</b>	<b>MyJump2</b>	<b>Encòder lineal Chronojump -Bosco-sytems</b>	<b>Sensors inercials DyCare</b>
Temperatura i humitat.	Fatiga subjectiva.	Temps de vol de SJ, CMJ i DJ.	Temps de contacte de SJ i CMJ.	Velocitat lineal de la barra durant l'esquat.	Velocitat angular del genoll esquerre durant l'esquat.
		Temps de contacte de DJ.	Temps de vol i de contacte a SJ, CMJ i DJ (només d'un subjecte).		

Taula 3: Relació dels instruments de mesura i els indicadors utilitzats per avaluar la FN. Font pròpia.

## 4.2. Resultats

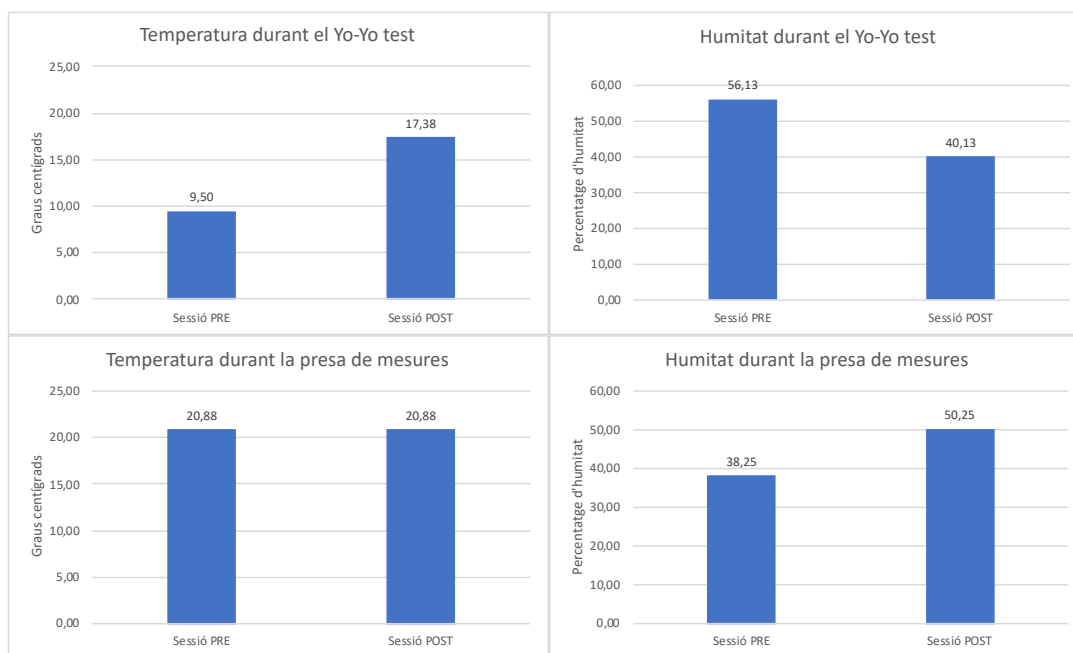
Una vegada es van desenvolupar els tests abans i després de les 6 setmanes de l'entrenament, i que es recollissin les diferents dades dels indicadors esmentats en els apartats anteriors d'aquesta part del treball, a continuació es presentaran les mateixes.

D'aquesta manera, de tota informació obtinguda tant dels tests pre com dels post, s'han seleccionat els elements que s'han mostrat útils per avaluar la FN o que són interessants pel desenvolupament d'aquest treball, i s'ha fet un percentatge de diferència entre la resposta dels participants de l'estudi en l'estat sense fatiga i amb aquesta, a més a més d'un altre comparant la seva actuació abans i després del període de 6 setmanes.

Tot i això, els indicadors relacionats amb la puntuació en l'escala de Borg estan en valors absoluts, ja que es vol mostrar el nivell de fatiga real dels esportistes, a més a més de les temperatures i els percentatges d'humitat, que també es donaran en els seus valors respectius, i que es repetirà en el nombre total d'absències a les sessions d'entrenament.

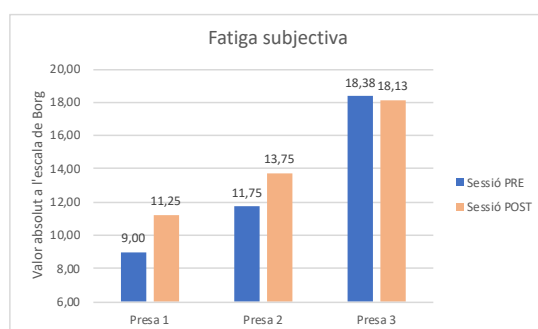
Per tal de plasmar aquests resultats, es representarà la informació que es va obtenir tant del grup experimental com del control en forma de mitjana amb la seva corresponent desviació estàndard. El software utilitzat per desenvolupar els càlculs ha estat el mateix que s'ha fet servir per fer la base de dades dels esportistes, és a dir, Microsoft Excel. A més a més, s'aniran exposant diferents gràfics on es podrà comprovar de forma visual els resultats, en tots ells sense la desviació estàndard.

Per començar, en el cas del grup que va rebre l'entrenament, s'ha de destacar que la temperatura i humitat per desenvolupar el Yo-Yo test va ser de  $9,50\text{ C}^{\circ}\pm 7,91$  i  $56,13\%\pm 12,74$  en la primera vegada i de  $17,38\text{ C}^{\circ}\pm 2,83$  i  $40,13\%\pm 6,17$  en la segona que es va fer, cosa que implica una diferència del  $82,89\%$  i  $-28,51\%$  respectivament, mentre que per les mateixes condicions en el moment de prendre les mesures dels indicadors, aquestes van ser de  $20,88\text{ C}^{\circ}\pm 1,25$  i  $38,25\%\pm 2,96$ , i de  $20,88\text{ C}^{\circ}\pm 0,35$  i  $50,25\%\pm 2,49$  pel primer i el segon cop, cosa que suposa canvis del  $0\%$  i  $31,37\%$ .



Gràfics 1, 2, 3 i 4: Temperatura i humitat durant el Yo-Yo test i les preses de mesures en les sessions prèvies i posteriors al període d'entrenament pel grup experimental. Font pròpia.

D'altra banda, en les primeres proves desenvolupades van tenir un RPE només arribar de  $9,00 \pm 2,98$ , mentre que pel test post, de  $11,25 \pm 3,81$ , de manera que la variació va ser d'un 25,00%. Pel que fa a la seva fatiga subjectiva just abans de començar el Yo-Yo test, en el primer cop era de  $11,75 \pm 2,66$ , i en el segon de  $13,75 \pm 3,45$ , cosa que implica una variació de 17,02%. L'última mesura de fatiga en l'escala de Borg, és a dir, la immediata una vegada finalitzat l'estímul destinat a generar la FN, va ser de  $18,38 \pm 1,60$  abans del període d'entrenament, i de  $18,13 \pm 2,23$  després d'aquest, pel que va haver-hi un -1,36% de diferència entre les dues ocasions.

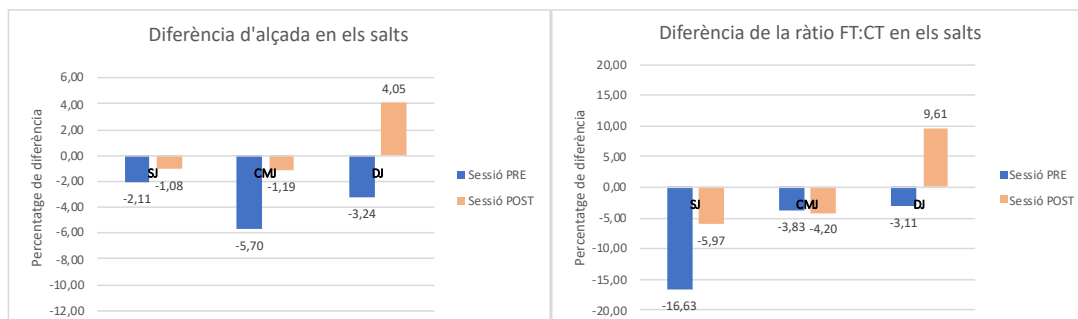


Gràfic 5: Puntuacions a l'escala de Borg en les tres mesures preses en les sessions prèvies i posteriors al període d'entrenament pel grup experimental. Font pròpia.

El següent grup de dades que es presentaran seran les relacionades amb els salts com a tals. Pel que fa a l'SJ, el percentatge de variació en la seva alçada abans i després del Yo-Yo test el primer cop que es van fer les proves va ser de  $-2,11\% \pm 6,45$ , mentre que en el segon de  $-1,08\% \pm 6,34$ , és a dir, va haver-hi una diferència de 48,74%. En l'anàlisi de la ràtio FT:CT del mateix tipus de salt, els resultats mostren que la primera vegada va donar-se una variació de  $-16,63\% \pm 10,20$ , i la segona de  $-5,97\% \pm 10,52$ , de manera que amb l'entrenament de 6 setmanes va aparèixer una modificació del 64,12%.

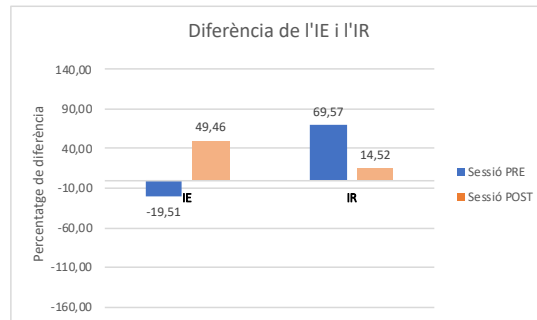
En el cas del CMJ, fent referència a la primera variable que s'ha dit del salt anterior, la seva variació dins el primer test va ser de  $-5,70\% \pm 10,43$ , i pel segon de  $-1,19\% \pm 6,73$ , és a dir, va haver-hi una modificació del 79,15%. En el cas de la ràtio FT:CT, la variació la primera vegada va ser de  $-3,83\% \pm 14,00$ , i la segona de  $-4,20\% \pm 8,76$ , de manera que la situació va canviar en un  $-9,77\%$ .

Pel que fa a l'últim tipus de salt, el DJ, s'ha de dir que la seva alçada es va veure modificada en un  $-3,24\% \pm 8,60$  en la primera ocasió, mentre que en la següent, en un  $4,05\% \pm 17,35$ , per tant va donar-se un 225,06% de diferència. En el cas de la seva relació de temps de vol i de contacte, la mesura va ser de  $-3,11\% \pm 7,54$  i de  $9,61\% \pm 29,96$  respectivament pels dos tests, cosa que implica una variació del 409,43%.



Gràfics 6 i 7: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en l'alçada i la ràtio FT:CT dels tres salts avaluats, en les sessions prèvies i posteriors al període d'entrenament pel grup experimental. Font pròpia.

Si s'analitzen els indicadors escollits per relacionar aquestes dades, per l'índex d'elasticitat, els resultats van ser de  $-19,51\% \pm 140,39$  en el primer i de  $49,46\% \pm 149,88$  en el segon test, mentre que per l'índex de reactivitat de  $69,57\% \pm 151,86$  i  $14,52\% \pm 40,54$ , cosa que implica unes modificacions del  $353,58\%$  i  $-79,13\%$  respectivament per cada element esmentat.

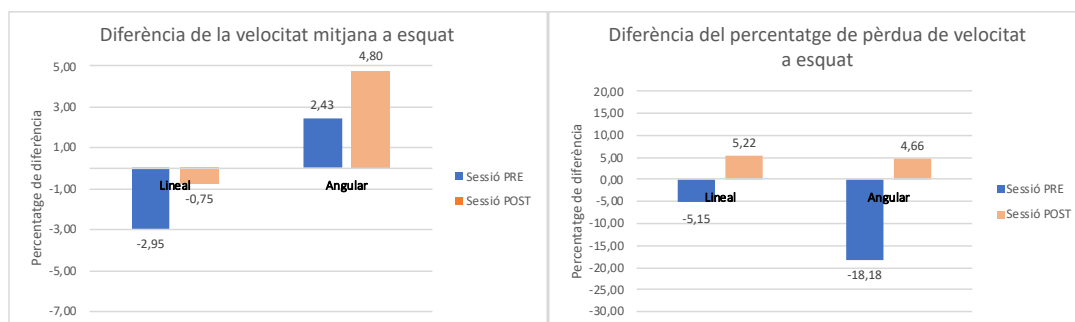


Gràfic 8: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en l'IR i l'IE, en les sessions prèvies i posteriors al període d'entrenament pel grup experimental. Font pròpia.

A més a més, pel que fa a les dades d'encòder que es van obtenir a la sèrie d'esquat, la velocitat mitjana es va veure modificada en un  $-2,95\% \pm 6,28$  entre les mesures abans i després de l'estímul de fatiga en la primera ocasió, i en la segona en un  $-0,75\% \pm 5,82$ , de forma que la variació va ser de  $74,46\%$ . D'altra banda, la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat entre les dues sèries fetes a les proves pre i post va ser de  $-5,15\% \pm 52,39$  en la primera, mentre que per la segona de  $5,22\% \pm 40,08$ , cosa que suposa un  $201,37\%$  de canvi entre aquestes dades.

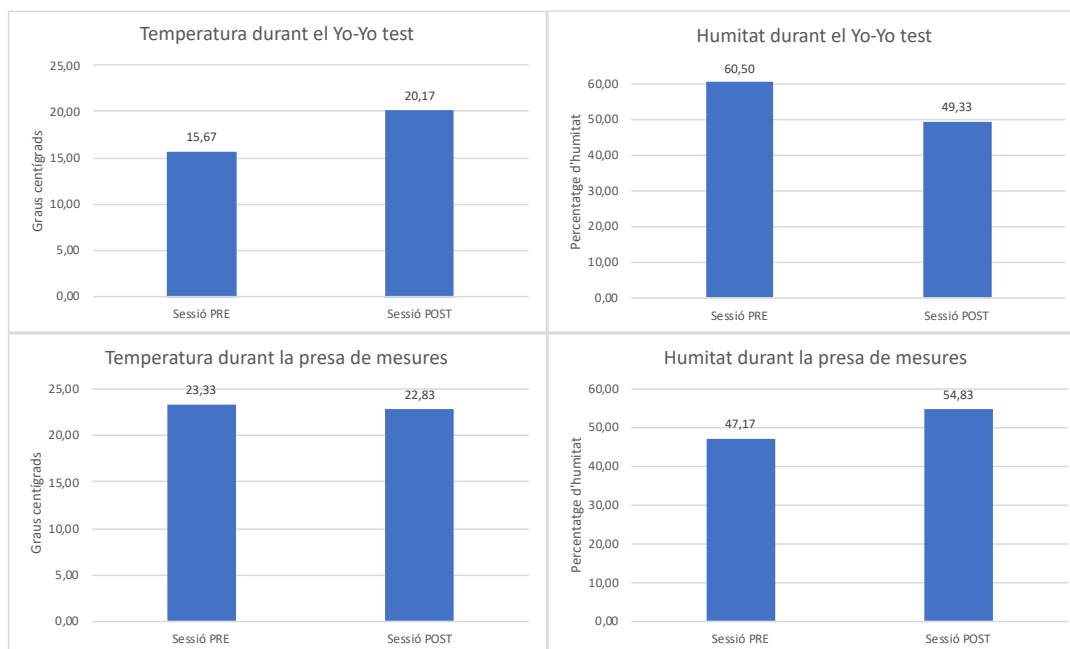
Finalment, en el cas de l'anàlisi del mateix exercici amb el sensor inercial de DyCare, la pèrdua de velocitat mitjana es va veure modificada de  $2,43\% \pm 10,13$  a la primera mesura a  $4,80\% \pm 5,43$  a la següent, és a dir, va haver-hi una modificació del  $97,04\%$ , mentre que en el cas de la diferència del percentatge de pèrdua d'aquesta manifestació, el valor inicial va ser de  $-18,18\% \pm 65,92$  i el final de  $4,66\% \pm 61,59$ , de manera que la variació va ser de  $125,66\%$ . A part, cal puntualitzar que les absències a les sessions d'entrenament d'aquest grup van ser de  $1,13 \pm 1,13$ .





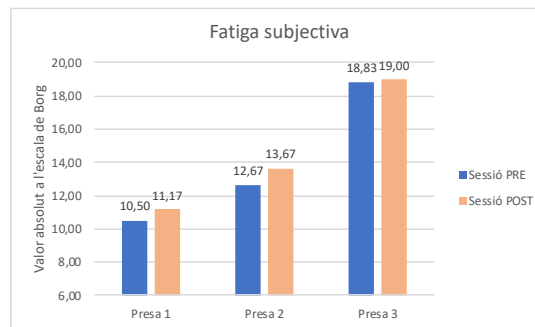
Gràfics 9 i 10: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en la velocitat mitjana i en el percentatge de pèrdua de velocitat a esquat de forma lineal i angular, en les sessions prèvies i posteriors al període d'entrenament pel grup experimental. Font pròpia.

D'altra banda, en el cas del grup control, la temperatura i humitat del Yo-Yo test va ser de  $15,67\text{ C}^\circ \pm 11,62$  i  $60,50\% \pm 12,94$  en les primeres mesures, i de  $20,17\text{ C}^\circ \pm 6,01$  i  $49,33\% \pm 13,91$  en les segones, generant una modificació de  $28,72\%$  i  $-18,46\%$ , mentre que en el cas del test en si, les característiques eren de  $23,33\text{ C}^\circ \pm 3,78$  i  $47,17\% \pm 13,23$ , i  $22,83\text{ C}^\circ \pm 3,25$  i  $54,83\% \pm 8,98$  en les dues situacions respectivament, fet que suposa un canvi de  $-2,14\%$  i  $16,25\%$ .



Gràfics 11, 12, 13 i 14: Temperatura i humitat durant el Yo-Yo test i les preses de mesures en les sessions prèvies i posteriors al període de 6 setmanes pel grup control. Font pròpia.

Tenint en compte els altres valors, la mitjana del seu RPE inicial va ser de  $10,50 \pm 2,95$  en els primers tests, mentre que en els següents de  $11,17 \pm 3,60$ , pel que la modificació va ser de 6,35%. En la segona mesura d'aquesta dada, el primer cop el valor mitjà va ser de  $12,67 \pm 1,86$ , i en el segon de  $13,67 \pm 2,66$ , és a dir, va donar-se un 7,89% de diferència. Pel que fa a l'última vegada que se'ls hi va preguntar la fatiga subjectiva a aquest grup de participants, la mitjana va ser de  $18,83 \pm 0,98$  i  $19,00 \pm 1,10$  per cadascun dels tests respectivament, cosa que implica un canvi de 0,88%.

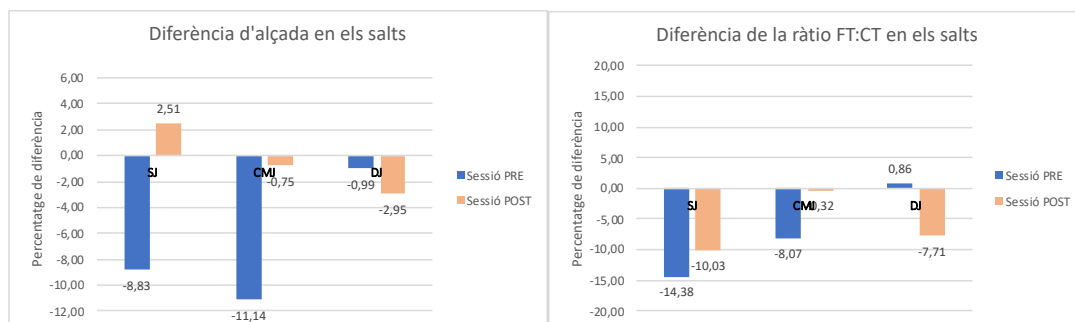


Gràfic 15: Puntuacions a l'escala de Borg en les tres mesures preses en les sessions prèvies i posteriors al període de 6 setmanes pel grup control. Font pròpia.

En el cas dels salts d'aquest grup, el seu SJ tenia una variació d'alçada dins la primera prova de  $-8,83\% \pm 15,57$ , i de  $2,51\% \pm 7,80$  a la segona, pel que va haver-hi una variació de 128,46%. D'altra banda, en la ràtio de FT:CT els valors de la primera ocasió amittjanen  $-14,38\% \pm 9,33$ , mentre que els de la segona  $-10,03\% \pm 11,78$ , cosa que demostra un canvi de 30,23%.

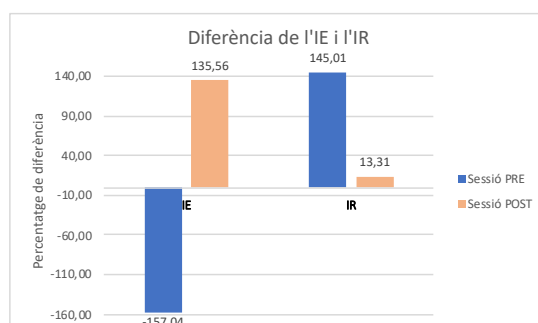
Pel que fa al CMJ, la seva alçada va ser minvada en un  $-11,14\% \pm 22,01$  en les primeres mesures, i en un  $-0,75\% \pm 7,55$  en les segons, és a dir, hi va haver una modificació del 93,24%, i en el cas de la relació entre temps de vol i temps de contacte, va passar de  $-8,07\% \pm 15,29$  a  $-0,32\% \pm 6,22$ , cosa que demostra un canvi del 96,03%.

A més a més, en el DJ els valors de la pèrdua d'alçada van ser de  $-0,99\% \pm 11,09$  el primer dia i de  $-2,95\% \pm 5,20$  el segon, pel que es va donar una variació del -197,44%. D'altra banda, pel que fa a la ràtio ja esmentada en els altres salts, aquesta patia un canvi del  $0,86\% \pm 8,44$  en les primeres mesures, i de  $-7,71\% \pm 12,73$  a la següent ocasió, de manera que la modificació va ser de -1000,65%.



Gràfics 16 i 17: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en l'alçada i la ràtio FT:CT dels tres salts avaluats, en les sessions prèvies i posteriors al període de 6 setmanes pel grup control. Font pròpia.

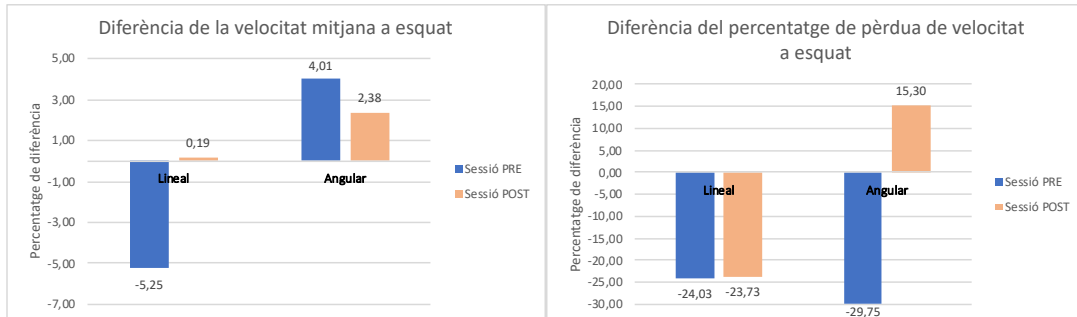
Novament fent referència als diferents índexs calculats amb les dades dels salts, la variació del d'elasticitat va ser de  $-157,04\% \pm 530,71$  i de  $135,56\% \pm 389,40$  a cada test, mentre que pel de reactivitat de  $145,01\% \pm 201,34$  i  $13,31\% \pm 118,33$  respectivament a les dues ocasions. D'aquesta manera, el canvi va ser de  $186,32\%$  al primer cas, i de  $-90,82\%$  al segon.



Gràfic 18: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en l'IR i l'IE, en les sessions prèvies i posteriors al període de 6 setmanes pel grup control. Font pròpia.

Pel que fa a l'anàlisi de l'esquat amb encòder, la diferència de la velocitat mitjana entre la sèrie abans i després de l'estímul de fatiga va ser de  $-5,25\% \pm 7,24$  la primera vegada i de  $0,19\% \pm 7,59$  la segona, implicant un canvi del  $103,55\%$ . En el cas de la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat, a la primera ocasió aquesta va ser de  $-24,03\% \pm 58,80$  i a la segona de  $-23,73\% \pm 59,83$ , és a dir, va haver-hi una modificació de l' $1,24\%$ .

Finalment, en l'anàlisi del mateix moviment amb DyCare, la diferència de velocitat mitjana en el primer test va ser de  $4,01\% \pm 11,27$ , mentre que pel segon de  $2,38\% \pm 9,01$ , fet que representa un canvi de  $-40,60\%$ . Si s'analitza la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat amb aquest instrument, en el primer cas va ser de  $-29,75\% \pm 49,58$ , i en el segon de  $15,30\% \pm 33,37$ , cosa que suposa una variació de  $151,44\%$ .



Gràfics 19 i 20: Percentatge de diferència entre els valors assolits abans i després de l'estímul de fatiga en la velocitat mitjana i en el percentatge de pèrdua de velocitat a esquat de forma lineal i angular, en les sessions prèvies i posteriors al període de 6 setmanes pel grup control. Font pròpia.

Una vegada mostrades totes aquestes dades, i abans de començar la discussió, a continuació es presenten totes elles diferenciades entre les del grup experimental i les del grup control de forma més simple i esquemàtica a les taules 4 i 5.

<b>Grup experimental</b>	<b>Mitjana Pre</b>	<b>Mitjana Post</b>	<b>Diferència</b>
<b>Temperatura en el Yo-Yo</b>	9,50 C°±7,91	17,38 C°±2,83	82,89%
<b>Humitat en el Yo-Yo</b>	56,13%±12,74	40,13%±6,17	-28,51%
<b>Temperatura en els tests de mesura</b>	20,88 C°±1,25	20,88 C°±0,35	0%
<b>Humitat en els tests de mesura</b>	38,25%±2,96	50,25%±2,49	31,37%
<b>RPE 1</b>	9,00±2,98	11,25±3,81	25,00%
<b>RPE 2</b>	11,75±2,66	13,75±3,45	17,02%
<b>RPE 3</b>	18,38±1,60	18,13±2,23	-1,36%
<b>Diferència de l'alçada de SJ</b>	-2,11%±6,45	-1,08%±6,34	48,74%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT SJ</b>	-16,63%±10,20	-5,97%±10,52	64,12%
<b>Diferència de l'alçada de CMJ</b>	-5,70%±10,43	-1,19%±6,73	79,15%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT CMJ</b>	-3,83%±14,00	-4,20%±8,76	-9,77%
<b>Diferència de l'alçada de DJ</b>	-3,24%±8,60	4,05%±17,35	225,06%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT DJ</b>	-3,11%±7,54	9,61%±29,96	409,43%
<b>Diferència de l'IE</b>	-19,51%±140,39	49,46%±149,88	353,58%
<b>Diferència de l'IR</b>	69,57%±151,86	14,52%±40,54	-79,13%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb encòder</b>	-2,95%±6,28	-0,75%±5,82	74,46%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb DyCare</b>	2,43%±10,13	4,80%±5,43	97,04%
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb encòder</b>	-5,15%±52,39	5,22%±40,08	201,37%

<b>Grup experimental</b>	<b>Mitjana Pre</b>	<b>Mitjana Post</b>	<b>Diferència</b>
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb DyCare</b>	-18,18%±65,92	4,66%±61,59	125,66%
<b>Absències a les sessions d'entrenament</b>	1,13±1,13 (valor que engloba tot el període d'entrenament)	-	-

Taula 4: Dades del grup experimental. Font pròpia.

<b>Grup control</b>	<b>Mitjana Pre</b>	<b>Mitjana Post</b>	<b>Diferència</b>
<b>Temperatura en el Yo-Yo</b>	15,67 C°±11,62	20,17 C°±6,01	28,72%
<b>Humitat en el Yo-Yo</b>	60,50%±12,94	49,33%±13,91	-18,46%
<b>Temperatura en els tests de mesura</b>	23,33 C°±3,78	22,83 C°±3,25	-2,14%
<b>Humitat en els tests de mesura</b>	47,17%±13,23	54,83%±8,98	16,25%
<b>RPE 1</b>	10,50±2,95	11,17±3,60	6,35%
<b>RPE 2</b>	12,67±1,86	13,67±2,66	7,89%
<b>RPE 3</b>	18,83±0,98	19,00±1,10	0,88%
<b>Diferència de l'alçada de SJ</b>	-8,83%±15,57	2,51%±7,80	128,46%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT SJ</b>	-14,38%±9,33	-10,03%±11,78	30,23%
<b>Diferència de l'alçada de CMJ</b>	-11,14%±22,01	-0,75%±7,55	93,24%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT CMJ</b>	-8,07%±15,29	-0,32%±6,22	96,03%
<b>Diferència de l'alçada de DJ</b>	-0,99%±11,09	-2,95%±5,20	-197,44%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT DJ</b>	0,86%±8,44	-7,71%±12,73	-1000,65%
<b>Diferència de l'IE</b>	-157,04%±530,71	135,56%±389,40	186,32%
<b>Diferència de l'IR</b>	145,01%±201,34	13,31%±118,33	-90,82%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb encòder</b>	-5,25%±7,24	0,19%±7,59	103,55%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb DyCare</b>	4,01%±11,27	2,38%±9,01	-40,60%
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb encòder</b>	-24,03%±58,80	-23,73%±59,83	1,24%

<b>Grup control</b>	<b>Mitjana Pre</b>	<b>Mitjana Post</b>	<b>Diferència</b>
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb DyCare</b>	-29,75%±49,58	15,30%±33,37	151,44%

Taula 5: Dades del grup control. Font pròpia.



### 4.3. Discussió

Després d'haver presentat els resultats, a continuació es passarà a fer una discussió dels mateixos per tal de poder extreure'n unes conclusions. Primerament, i fent referència a l'objectiu principal del treball, es farà una anàlisi dels indicadors comentats en els anteriors apartats.

Abans de tot, s'ha de destacar que considero que la mitjana de sessions no assistides per part del grup experimental no és un element que hagi pogut influir en les adaptacions o valors obtinguts en els tests d'aquests esportistes, ja que aquesta suposa un percentatge molt baix (9,42%).

Una vegada dit això, pel que fa a la temperatura i humitat, és destacable que en les que hi havia quan es van desenvolupar els escalfaments i els Yo-Yo tests eren força diferents entre els dos grups, essent sempre més baixos els dos valors absoluts en el grup experimental. A més a més, i en el cas de la variació entre les dues ocasions, s'ha de dir que durant els estímuls de fatiga va haver-hi un major augment de temperatura i una major disminució de la humitat en el grup d'esportistes ja esmentat.

D'altra banda, en el cas de les mateixes variables durant les preses de mesures, de forma absoluta qui va tenir una major temperatura i humitat mitjana en aquestes van ser els esportistes del grup control. A això cal afegir-hi que com que sempre es van desenvolupar de forma interior, les condicions no van presentar uns canvis tan importants com els comentats pel Yo-Yo, de manera que la variació de temperatura en les dues sessions es va mostrar quasi invariada pels dos grups, únicament implicant una lleugera disminució en el grup control, mentre que la humitat sí que es va modificar més, augmentant sobretot en el cas del grup experimental.

Tenint en compte això, es pot dir que segons el que s'ha destacat a la fonamentació teòrica que Gutiérrez-Vargas et al. (2018) demostren, és a dir, que les temperatures i humitats més altes influeixen de forma negativa en la FN i el rendiment en potència, el grup que més perjudicat es va poder veure tant en el desenvolupament dels tests de fatiga com en les preses de mesura, va ser l'experimental.

El motiu pel qual es realitza aquesta afirmació és pel fet que, tot i que en termes absoluts en el moment de valorar els indicadors les condicions fossin sempre més càlides i humides en l'altre grup, la variació entre les dues sessions va ser major en el grup que va seguir el protocol d'entrenament, tant en la temperatura de l'estímul de fatiga com en la humitat dels tests com a tal. D'altra banda, s'ha de dir que el fet que el grup control tingués una millora lleugera de les condicions de temperatura en la presa de mesures, pot ser que influís positivament en els resultats d'aquestes. Finalment, s'ha de tenir en compte que la humitat del Yo-Yo test és l'únic element que en aquest va millorar menys que el grup experimental.

Per tant, tot i que de forma absoluta els resultats poden estar afectats de forma més negativa en el grup control, en la variació entre dies, i per tant els valors que s'obtenen de forma relativa, hi haurà una situació en la qual el grup que va seguir el protocol d'entrenament durant les 6 setmanes va estar més perjudicat.

Una vegada dit això, també s'ha de fer referència al nivell de fatiga subjectiva que van presentar els esportistes. Pel que fa als primers valors d'aquesta mesura presos, en tots dos grups va augmentar entre sessions, a més a més que de forma absoluta en la primera, el grup control mostrava major fatiga subjectiva, mentre que en la segona, va ser el grup experimental el que ho feia.

En el cas de la segona presa de dades, es va veure que a part que hi hagués un augment absolut en aquestes, la comparació entre la mitjana dels subjectes dels grups generava la mateixa situació que en el cas anterior. A més a més, i fent referència a l'escala de Borg utilitzada que està a l'annex, tots dos grups, una vegada finalitzades les mesures, tenien una percepció d'esforç d'entre "liger" i "algo duro", de manera que no demostraven una fatiga excessiva.

Finalment, a l'última presa de dades, el grup control va mostrar una fatiga superior en les dues ocasions, mentre que l'experimental entre aquestes dues fins i tot es va generar una disminució. No obstant això, en tots dos casos s'estava molt a prop o fins i tot es va arribar en la segona sessió del grup control a una percepció que allò que s'havia fet era "extremadament duro". D'aquesta manera, i considerant la fiabilitat i validesa d'aquests instruments (Bayios et al., 2016), i tots els inconvenients relacionats amb la seva exactitud (Taylor, 2012), s'entén que el protocol va ser capaç de generar fatiga en els esportistes de forma semblant en termes absoluts entre les dues sessions, una vegada finalitzat l'estímul destinat a desenvolupar-la.

D'altra banda, i des del meu punt de vista, pot ser que encara que en aquesta última presa no donés un augment, el fet que en les sessions després del període de 6 setmanes el grup experimental mostrés un major increment de la fatiga subjectiva tant en la primera com en la segona presa d'aquesta dada respecte al grup control, pot haver condicionat el seu rendiment.

Aquesta influència pot estar donada pel fet que la variació entre les primeres mesures de salt i esquat i les segones siguin menors en la segona ocasió que es van fer, ja que les que es van mesurar abans del protocol de fatiga eren desenvolupades amb un nivell de FN subjectiu superior en la segona sessió, mentre que les que es van fer després del Yo-Yo test eren lleugerament millors respecte al primer dia de tests.

Una vegada aclarit això, es passarà a discutir els resultats dins els indicadors dels salts i esquat. Primerament, pel que fa al SJ, tot i que els dos van millorar en els dos indicadors, el grup que va mostrar una millora més gran entre les dues sessions en la seva alçada va ser el control, el qual a la segona va tenir fins i tot una millora intrasessió, mentre que en la ràtio FT:CT, l'experimental va ser el que va demostrar una evolució més bona.

En el cas del CMJ, en les dues variables va millorar més el grup control, i cal destacar que l'experimental, tot i que va tenir un desenvolupament positiu en l'alçada, va arribar a empitjorar la ràtio ja esmentada. D'altra banda, en el DJ, el cas és el contrari, i mentre els esportistes no participants en el protocol d'entrenament van empitjorar en els dos indicadors, els del grup experimental van millorar en ells, arribant inclús a demostrar una millora pre-post estímul de fatiga en aquests, fet que també va succeir en la primera sessió en el grup control en la ràtio FT:CT, però de forma no tan destacada.

Seguint amb aquesta discussió, i fent referència a l'IR i l'IE, va haver-hi una major millora en el primer cas i un empitjorament no tan gran en el segon en el grup experimental. No obstant això, aquests valors es mostren amb una desviació estàndard molt gran en els dos grups, pel que no es tindran en compte per avaluar les diferències entre aquests, i per tant, l'efectivitat del protocol d'entrenament aplicat.

Pel que fa a l'esquat, i en el cas de l'indicador de la pèrdua de velocitat mitjana, es va poder comprovar que mentre que les mesures amb l'encòder lineal mostraven que el grup control tenia una modificació positiva major entre les sessions, fins i tot arribant a millorar intrasessió en la segona presa de mesures, en el cas de la velocitat angular del genoll, el grup experimental va tenir uns resultats més bons, mentre que l'altre, empitjora, encara que en els dos casos es doni millora pre-post respecte a l'estímul de fatiga.

Finalment, pel que fa a la diferència en el percentatge de pèrdua de velocitat mitjana, amb encòder, el grup experimental es va mostrar per sobre del control, arribant fins i tot a millorar els resultats intrasessió en la segona presa de dades. D'altra banda, pel que fa als valors amb DyCare, encara que tots dos milloressin i assolissin una progressió positiva pre-post l'estímul de fatiga en la segona presa de mesures, el grup control va mostrar millors resultats. A la taula 6 es pot veure un resum de les dades en funció de qui va mostrar una major millora o menor empitjorament en les variables explicades.

Grup experimental	Grup control
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Major augment en la temperatura durant el Yo-Yo test i la humitat en la presa de mesures.</li> <li>- Menor disminució en la temperatura durant la presa de mesures.</li> <li>- Major augment en RPE 1 i 2.</li> <li>- Diferència de la ràtio FT:CT SJ.</li> <li>- Diferència de l'alçada de DJ.</li> <li>- Diferència de la ràtio FT:CT DJ.</li> <li>- Diferència de l'IE (no es tindrà en compte).</li> <li>- Diferència de l'IR (no es tindrà en compte).</li> <li>- Diferència de velocitat mitjana a esquat amb DyCare.</li> <li>- Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb encòder.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor disminució en la humitat durant el Yo-Yo test.</li> <li>- Augment en RPE 3.</li> <li>- Diferència de l'alçada de SJ.</li> <li>- Diferència de l'alçada de CMJ.</li> <li>- Diferència de la ràtio FT:CT CMJ.</li> <li>- Diferència de velocitat mitjana a esquat amb encòder.</li> <li>- Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb DyCare.</li> </ul>

Taula 6: Variables que han mostrat una millora més gran o menor empitjorament a cada grup. Font pròpia.

Veient aquests resultats, i tenint en compte la importància de cadascun d'ells que remarca Gathercole et al. (2015), es podria dir que en el moviment que menys sensibilitat es demostra en la mesura de la FN dins aquest protocol, és a dir, el SJ, un dels indicadors va millorar més en el grup control, mentre que l'altre, en l'experimental. D'aquesta manera, és difícil argumentar quin dels dos grups va mostrar un major desenvolupament positiu entre les sessions de mesura, ja que no hi ha una manifestació de la teoria dels sistemes dinàmics ja comentada (Aughey et al., 2018; Balloch, 2018; Bembem et al., 2018; Gathercole et al., 2015), en la qual l'augment de l'alçada sigui major a causa de més temps destinat a desenvolupar la fase concèntrica del salt.

D'altra banda, el CMJ, el qual segons Gathercole et al. (2015) té una sensibilitat molt gran a la FN en aquest protocol, es van mostrar majors millores en l'alçada en els esportistes control, a part de resultats positius en la ràtio FT:CT en aquest mateix grup. A més a més, es podria dir que la teoria dels sistemes dinàmics en aquest cas sí que va ser present en el grup experimental, ja que encara que hi hagués una millora en l'alçada total del salt, aquesta va ser produïda a costa d'un empitjorament en la ràtio ja esmentada.

Pel que fa al DJ, el qual té una importància igual que el CMJ pels autors del protocol seguit, s'ha de dir que el grup experimental, el qual com ja s'ha comentat, va ser l'únic que va mostrar millora en els dos valors analitzats, ho va fer sense influència de la teoria dels sistemes dinàmics, ja que es van demostrar superiors tant en alçada com en la ràtio FT:CT.

Fent referència a l'esquat, es pot fer una relació en la velocitat mitjana de les repeticions, ja que com es pot veure, encara que hi hagi una major millora en la velocitat lineal en el grup control, en l'angular o de genoll aquesta disminueix en aquest grup, fet que podria ser degut a les modificacions tècniques que Andersson et al. (1993), Apicella et al. (2014), i Schoenfeld (2010) destaquen com a indicadors de fatiga, de manera que la teoria dels sistemes dinàmics podria ser representativa en les dues sessions.

Finalment, pel que fa a la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat, el fet que hi hagi una magnitud tan gran de modificació d'aquesta de forma lineal i angular en el grup control pot ser indicatiu que es donessin modificacions tècniques en l'execució de l'esquat, cosa que es relacionaria amb el que s'ha explicat en el paràgraf anterior, de manera que el fet de fer un moviment de genoll més reduït els hi permetés generar una velocitat angular més elevada en la segona sessió, mentre que la lineal seguís tenint una pèrdua igual en les dues ocasions.

D'altra banda, el grup experimental, el qual va mostrar un major desenvolupament positiu de forma lineal i un molt semblant en l'angular, podrien indicar una millora general de moviment, ja que no només demostra canvis favorables de forma marcada en una de les dues variables.

Tenint en compte això, es podria argumentar que en el moviment d'esquat, el grup experimental, tot i que no demostrava desenvolupaments positius majors en tots els indicadors, es va mostrar millor, ja que no va fer tantes modificacions tècniques per tal d'assolir el manteniment o millores dels indicadors entre les dues sessions. No obstant això, s'ha de destacar que com s'ha dit en la definició dels instruments, el sensor inercial utilitzat encara no està validat en les circumstàncies que es donaven en el test, pel que les dades obtingudes es prenen com una referència, però no són conclusives. Per tant, aquesta especulació, encara que sigui interessant esmentar-la, no es tindrà en compte en endavant en aquest treball.

Una vegada discutits aquests aspectes, es pot veure que les millores entre les sessions queden força repartides entre els dos grups, fet que va en contra de la meua hipòtesi, ja que en els indicadors de FN analitzats com són l'alçada del SJ, l'alçada i la ràtio FT:CT del CMJ, la velocitat lineal mitjana, i el percentatge de pèrdua de velocitat angular del genoll a esquat, el grup control es mostra superior. A més a més, és destacable que en la ràtio FT:CT del CMJ, la qual és un indicador molt sensible a la FN (Aughey et al., 2018; Balloch, 2018; Bembem et al., 2018; Gathercole et al., 2015) es mostra empitjorada en el grup experimental.

D'aquesta manera, a continuació es desenvoluparà una explicació dels possibles motius pels quals el grup experimental no s'ha mostrat clarament superior al control, tot i haver desenvolupat les 6 setmanes d'entrenament destinades a la millora de la resistència a la FN. A més a més, a la taula 8 es fa un recull d'aquests:

- Excés de càrrega d'entrenament: Com ja s'ha comentat en aquesta part del treball, segons Bosch et al. (2008), quan un subjecte és sotmès a una excessiva càrrega de treball, aquest pot desenvolupar símptomes de sobreentrenament o incrementar el seu risc de lesió. D'aquesta manera, pot ser que l'estímul proposat durant les 6 setmanes fos massa alt pels esportistes del grup experimental, de manera que no es desenvolupessin les adaptacions esperades.

D'altra banda, aquest excés de càrrega també podria ser relacionat amb l'estudi al qual ja s'ha fet referència de Gondin et al. (2007), en el que els resultats de les adaptacions després d'un entrenament per la millora de la FN, no van aparèixer en la seva totalitat fins després de les 4 setmanes d'haver finalitzat l'estímul de fatiga. Segons els autors, segurament això s'havia donat a causa d'un sobreentrenament, pel que per tal que les millores es presentessin en la seva totalitat, era necessari un període de desentrenament.

- Insuficiència de càrrega d'entrenament: Una altra possibilitat per tal d'haver obtingut aquests resultats és que l'estímul que es va donar als esportistes no fos suficient per ells. Per tal de desenvolupar aquest punt, novament es farà referència a Bosch et al. (2008), ja que, com s'ha dit al llarg del treball, per tal de generar adaptacions, els esportistes han d'estar exposats a un estímul que els hi suposi una sobrecàrrega de forma regular, de manera que, com que aquests ja portaven diferents mesos treballant amb la metodologia del projecte que es va seguir per plantejar el protocol d'entrenament d'aquest treball, aquest no va suposar un sobreesforç en el tipus d'exercici, el temps de descans entre sessions d'entrenament, la intensitat, la durada, i/o la freqüència de l'estímul de forma prou significativa per a generar els resultats desitjats.

Per reforçar aquest argument, a la taula 7 es presenten els resultats de l'únic esportista que, com s'ha comentat en la definició de la mostra, va entrar al projecte en el moment que es van iniciar les 6 setmanes d'entrenament, pel que l'estímul rebut va ser totalment nou per ell.

	<b>Pre</b>	<b>Post</b>	<b>Diferència</b>
<b>Temperatura en el Yo-Yo</b>	4 C°	17 C°	325,00%
<b>Humitat en el Yo-Yo</b>	58%	36%	-37,93%
<b>Temperatura en els tests de mesura</b>	21 C°	21 C°	0,00%
<b>Humitat en els tests de mesura</b>	35%	52%	48,57%
<b>RPE 1</b>	9,00	17,00	88,89%
<b>RPE 2</b>	13,00	19,00	46,15%
<b>RPE 3</b>	20,00	20,00	0,00%
<b>Diferència de l'alçada de SJ</b>	-0,63%	6,20%	1089,97%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT SJ</b>	-5,63%	-5,88%	-4,53%
<b>Diferència de l'alçada de CMJ</b>	2,98%	7,76%	160,18%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT CMJ</b>	-5,58%	2,66%	147,68%
<b>Diferència de l'alçada de DJ</b>	3,09%	2,39%	-22,71%
<b>Diferència de la ràtio FT:CT DJ</b>	-6,30%	9,73%	254,47%
<b>Diferència de l'IE</b>	71,68%	21,56%	-69,92%
<b>Diferència de l'IR</b>	0,53%	-22,24%	-4282,52%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb encòder</b>	-2,37%	0,86%	136,33%
<b>Diferència de velocitat mitjana a esquat amb DyCare</b>	-8,60%	12,75%	248,21%
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb encòder</b>	3,11%	13,90%	347,20%



	Pre	Post	Diferència
<b>Diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb DyCare</b>	-8,58%	43,43%	606,02%
<b>Absències a les sessions d'entrenament</b>	1	-	-

Taula 7: Resultats de l'esportista sense exposició prèvia a la metodologia emprada. Font pròpia.

D'aquesta manera, i comparant els seus resultats amb els del grup control, aquest subjecte va tenir unes millores superiors a aquest en tots els indicadors a excepció de la ràtio FT:CT en el SJ, i a l'IE i l'IR, a més a més de demostrar un empitjorament menor en l'alçada del DJ. Per tant, es podria dir que aquest subjecte sí que va presentar uns resultats més pròxims als esperats, ja que els indicadors en els quals es va mostrar inferior al grup control, són aquells que, com s'ha dit prèviament, no són tan sensibles a la FN com els altres o comporten una desviació estàndard molt gran en les mostres de forma general.

D'altra banda, també s'ha de dir que l'empitjorament en l'alçada del DJ ve amb una millora molt gran en la ràtio FT:CT, pel que es podria dir que encara que es perdessin centímetres de salt, hi ha una millora en l'execució d'aquest, ja que la magnitud d'increment en la ràtio va ser molt més gran que la pèrdua d'alçada. Pel que fa a l'esquat, hi ha una millora tant de velocitat angular com lineal, pel que no sembla que la teoria dels sistemes dinàmics hagi influït en els resultats de millora.

A part, cal remarcar que, sense tenir en compte l'IR i l'IE pels motius ja comentats en aquest apartat, mentre que en la primera presa de dades el subjecte només va presentar valors positius intrasessió en l'alçada del CMJ i del DJ, i en el percentatge de pèrdua de velocitat lineal a l'esquat, després de les 6 setmanes d'entrenament, va ser capaç de produir aquesta situació en tots els indicadors en major o menor mesura, a excepció de la ràtio FT:CT del SJ.

A més a més, és destacable que, com es pot veure, tots aquests valors es van assolir sota una fatiga subjectiva superior en les mesures prèvies als Yo-Yo tests en el segon dia que es va dur a terme el protocol, de manera que si les condicions en les quals es va desenvolupar el test haguessin estat iguals en aquest indicador en les dues sessions, els valors assolits podrien haver estat molt millors.

No obstant això, és destacable que encara que aquests resultats puguin semblar molt bons dins la hipòtesi del treball, únicament es tracta d'un subjecte, pel que és important tenir en compte que no es poden extreure conclusions d'aquesta situació.

- L'aprenentatge diferencial: Un altre factor que ha pogut estar determinant en el procés d'adaptació dels esportistes, és la metodologia utilitzada tenint en compte el seu grau d'expertesa en la prevenció de lesions i els exercicis desenvolupats ja comentat. Un exemple d'això és el que Davids et al. (2012) indiquen en el seu treball, i és que pot ser que el nivell de variabilitat que es va donar dins els entrenaments fos massa gran pels esportistes, de manera que no es generessin ni la millora de rendiment, ni els aprenentatges esperats.

A més a més, novament fent referència a l'estudi de Leite et al. (2016a), quan un esportista no està acostumat o no té un rerefons en una activitat, com és el cas dels de la mostra del grup experimental ja comentat en l'anterior paràgraf, pot ser que l'aprenentatge diferencial no sigui una estratègia òptima a curt termini, ja que aquests no seran capaços d'identificar els aspectes fonamentals que es volen treballar, i per tant, no podran desenvolupar-se les millores esperades. D'aquesta manera, l'aprenentatge de noves habilitats específiques amb la presència de "soroll" pot ser perjudicials per als esportistes menys experts.

A aquest fet, s'ha de sumar el que Mayer-Kress et al. (2009) destaquen, i és que en el cas de principiants, la simple repetició de moviments pot suposar unes ressonàncies estocàstiques suficients per desenvolupar adaptacions mitjançant l'aprenentatge diferencial. Per tant, aquest tipus d'esportistes, haurien d'entrenar amb la presència de poc "soroll", mentre que els experts que tinguin una base a partir de les repeticions, sí que podran fer front a grans quantitats d'aquest.

A tots aquests arguments cal afegir el punt de vista ja comentat d'Araújo et al. (2012) quan s'ha explicat l'aprenentatge diferencial, i és que aquests recomanen una variabilitat limitada en novells o gent inexperta. Per tant, tenint en compte tots aquests autors, és possible que al llarg de l'aplicació del protocol d'entrenament hi hagués un excés de variabilitat o "soroll" que influís negativament en el desenvolupament de les adaptacions del grup experimental.

- L'especificitat del protocol: Com ja s'ha indicat al llarg del treball, la FN és específica de la tasca que s'està desenvolupant (Boyas i Guével, 2011; Buckle et al., 2018; Cairns et al., 2005; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), del múscul en el qual es doni (Bocock et al., 2018; Boyas i Guével, 2011; Gutiérrez-Vargas et al., 2018), i de l'edat dels subjectes (Bocock et al., 2018). D'aquesta manera, és possible que el protocol escollit no hagi estat l'indicat per avaluar les adaptacions generades per l'entrenament proposat, a causa de qualsevol dels tres factors que s'acaben d'anomenar.

- Les característiques dels esportistes: És destacable que, com es pot identificar a la definició de la mostra, l'edat dels integrants del grup control i del grup experimental és emmarcada dins una etapa en la qual encara estan creixent i s'estan desenvolupant. D'aquesta manera, Araújo et al. (2012) afirmen que quan un individu està dins un procés d'aprenentatge, aquest pot patir canvis qualitius de forma discontinua en el seu rendiment a causa d'instabilitats en el seu ambient a escala perceptiu-motor. Segons aquests autors, aquestes instabilitats podran ser degudes a:

- Creixement i maduració: Un exemple d'això, és durant l'adolescència, quan es donen creixements sobtats, fet que altera les propietats de les extremitats, i requereix la calibració dels moviments de nou. Aquest factor pot haver generat algunes modificacions en els resultats finals del meu treball.

- Tipus d'aprenentatges: Pot ser que les adaptacions a l'entrenament es presentin de diferent forma en els aprenents, de manera que poden haver resultats immediats o a llarg termini. Des del meu punt de vista, aquest factor pot haver influït en els resultats, però no crec que de forma definitiva.

- Adaptacions a l'entrenament: Els autors fan referència a possibles asimetries musculars originades per l'entrenament, que poden afectar el desenvolupament motor dels esportistes. En aquest sentit, penso que aquest factor no ha tingut influència en els resultats, ja que el protocol d'entrenament tenia una base important d'exercicis unilaterals per prevenir índexs simètrics que suposin riscos de lesió.

Per tant, entenent i resumint aquests tres punts, els canvis deguts al creixement i la maduració dels esportistes pot haver estat quelcom que hagi tingut un paper destacable a l'hora de no assolir els resultats esperats.

D'altra banda, un altre factor condicionant relacionat amb les característiques de l'esportista, pot haver estat l'augment en la fatiga subjectiva a l'escala de Brog, ja que, com s'ha comentat amb anterioritat, el grup experimental va patir un augment més gran entre la primera i la segona sessió de mesures en el valor previ a l'estímul de fatiga, mentre que l'últim va disminuir lleugerament, pel que les diferències dels valors obtinguts entre les sessions de mesura poden ser menors que si les condicions haguessin estat les mateixes.

Això és així, pel fet que el canvi del valor absolut del cansament en els tests abans i després de l'estímul de fatiga, era inferior el segon dia en relació al primer. D'altra banda, el grup control també va augmentar en tots aquests valors, inclús a l'última presa de la fatiga subjectiva, però en menor mesura, de manera que considero la influència relativa ja explicada no va ser tan gran.

- Les característiques ambientals: Com s'ha comentat a l'inici d'aquest subapartat, Gutiérrez-Vargas et al. (2018) indiquen la influència negativa que la temperatura i la humitat poden generar en el rendiment i la FN, pel que com que en el cas del grup experimental en relació al control les condicions entre la sessió pre i post entrenament suposen un augment major o disminució menor en la temperatura durant la presa de mesures i el Yo-Yo test, i en la humitat únicament durant la primera, pot ser que això influís perjudicialment en els valors obtinguts.

- El moment de la temporada: Un factor esmentat en el marc teòric és que, segons Taylor (2012), quan es fan mesures d'esportistes que inclouen diferents períodes de la seva temporada, s'ha de tenir en compte que els valors poden tenir diferències substancials en els mateixos subjectes, i entre ells. Per tant, encara que els dos grups estiguessin formats per esportistes que, alguns d'ells, es trobessin dins la mateixa etapa de la temporada, pot ser que per un aquesta suposés una variabilitat en els resultats major que per un altre que estigués a la mateixa situació, de manera que aquests valors poguessin ser millors o pitjors del que haurien de ser.

D'altra banda, per tal de limitar el màxim possible aquesta variabilitat, s'hauria d'aconseguir que tota la mostra participant tingués la mateixa càrrega d'entrenament i planificació de la temporada, de manera que s'evitaria que mentre un esportista està a una fase molt important dins l'etapa competitiva, la qual impliqui molta intensitat i poc volum, un altre tingui un entrenament amb unes condicions contràries pel fet que encara tingui temps abans de les competicions principals. D'aquesta manera, entenc que la manca d'homogeneïtat de la mostra pot haver influït força en els resultats d'aquest treball.

<b>Possibles causes dels resultats</b>
Excés de càrrega d'entrenament
Insuficiència de càrrega d'entrenament
L'aprenentatge diferencial
L'especificitat del protocol
Les característiques dels esportistes
Les característiques ambientals
El moment de la temporada

Taula 8: Resum de les possibles causes per no haver obtingut els resultats esperats per la hipòtesi. Font pròpia.

Després de desenvolupar aquests motius, i seguint amb l'argument de l'heterogeneïtat, és destacable el fet que la mostra del grup experimental, com ja s'ha vist, era formada per esportistes de diferents edats i modalitats, cosa que pot haver actuat com a condicionant de forma individual en algun dels subjectes participants en qualsevol dels aspectes dits, ja que la seva càrrega fora el projecte, els aprenentatges previs, les etapes de creixement, el nivell de maduració, les temperatures i humitats a les quals estan acostumats per fer activitat física, o el moment de la temporada, entre molts altres factors, poden ser diferents entre ells. Tot i això, com no s'ha pogut controlar tots aquests aspectes per comprovar si això era així, i per simplificar l'evolució d'aquest treball, en endavant, aquest element no es contemplarà com a possible causa dels resultats.

A més a més, i abans de prosseguir amb l'apartat, és interessant aclarir que tant les característiques dels esportistes, com les ambientals, com la influència del moment de la temporada, poden haver tingut un efecte positiu o negatiu tant al grup control com al grup experimental, mentre que les altres possibles explicacions només poden haver suposat condicionants en els esportistes que van rebre el protocol d'entrenament.

No obstant això, una vegada exposades totes aquestes possibles causes, trobo important centrar-me en 2 d'elles, per tal que la resta del desenvolupament del treball sigui més específic. D'aquesta manera, a continuació es descartaran aquelles opcions que es veuen com a menys probables.

Una vegada dit això, una possibilitat en la qual es va poder intervenir molt poc va ser el moment de la temporada en la qual els esportistes es trobaven, a més a més de ser sobre la que menys control es va tenir. Tot i això, no es va rebre cap notificació per part de subjectes de la mostra o entrenadors d'aquests referent a què ells es trobessin en un moment de la temporada intens, pel que comprenc que aquesta causa no va ser de les més influents en els resultats.

Pel que fa a les característiques ambientals en les quals les sessions es donaven per cada grup, opino que encara que fossin menys perjudicials per al grup control, la influència real d'aquestes no va ser determinant. Això és així, ja que, com s'ha dit, es va desenvolupar un escalfament estandarditzat pels dos grups, el qual, com indica Taylor (2012), és un instrument per regular la temperatura corporal, de manera que des del meu punt de vista, i tenint en compte les diferències en els valors ambientals, va ser un mitjà per evitar la seva influència de forma determinant en les preses de dades.

A més a més, si es fa referència a les característiques dels esportistes, és important tenir en compte que tant en el creixement i la maduració, com en el tipus d'aprenentatge, no es va poder tenir cap seguiment durant la meua intervenció, ja que era molt difícil fer-lo amb els mitjans que hi havia disponibles. No obstant això, crec que la seva influència en 6 setmanes no pot ser prou significativa per modificar els resultats finals dels tests. D'altra banda, fent referència al nivell de FN que es donava amb l'escala de Borg, aquest, en valors absoluts i relatius, penso que no va mostrar unes diferències prou grans per a ser un factor de gran influència a les mesures fetes.

A part, i com ja s'ha discutit, entenc que les adaptacions a l'entrenament que impliquessin asimetries no van ser tampoc una causa, ja que alguns dels exercicis desenvolupats anaven encaminats a evitar aquestes, cosa que s'ha remarcat en l'apartat en el qual s'han explicat aquests.

D'altra banda, encara que només sigui un únic individu i no es puguin extreure opinions concloents, considero que tenint com a referència els resultats del subjecte que va rebre la metodologia i tipus d'entrenament sense cap experiència prèvia que s'hi assemblés, els factors d'excés de càrrega d'entrenament i de l'aprenentatge diferencial es podrien descartar, ja que tot i que és important tenir en compte la individualització tant del procés d'entrenament com de la quantitat de la càrrega que pot perjudicar a l'esportista generant símptomes que influeixin negativament en el seu rendiment (Bosch et al., 2008), i les diferències del nivell òptim de variabilitat o "soroll" de cada persona de forma específica (Davids et al., 2012), sembla evident que si un individu és capaç de millorar tant sense estímuls previs similars, aquestes dues possibilitats perden sentit.

D'aquesta manera, les dues opcions que semblen més probables, i que conseqüentment es tindran en compte en el desenvolupament final d'aquest treball, són que va haver-hi una insuficiència de la càrrega de treball per aquells subjectes que ja feia uns mesos que desenvolupaven el programa esmentat en el qual vaig basar-me per crear l'estructura de l'entrenament, o bé, que l'especificitat del protocol de mesura no va ser l'adequada per avaluar les adaptacions generades mitjançant els exercicis desenvolupats al llarg de les 6 setmanes.

És important destacar que amb això no es nega la possibilitat que alguna de les opcions eliminades sigui la que realment va influir en els resultats. No obstant això, i com ja s'ha dit, les seleccionades són aquelles que tenint en compte la bibliografia utilitzada, els factors sobre els quals es va tenir decisió i control, i l'anàlisi dels resultats, crec que són més probables, i per tant les que es tindran en compte en endavant.

Sabent això, és remarcable que a partir dels resultats obtinguts de les diferents variables, és complicat establir quines són les mesures que poden ser més representatives a l'hora de mesurar la FN mitjançant el protocol d'entrenament i mesura utilitzats. Això és important fer-ho, ja que com Bembien et al. (2018) diuen, aquelles variables que es mostren com a més fiables per monitorar la FN, poden no ser les més eficaces en fer-ho.

No obstant això, a continuació s'exposarà una valoració de les millors variables per avaluar la FN en funció de les dues possibles causes pels resultats destacades anteriorment, en la qual es tindrà en compte totes les possibles variables, però es donarà preferència a aquelles que en la literatura s'hagin mostrat més sensibles i hagin estat recollides amb instruments vàlids, fiables i exactes. Això és així, ja que en aquest treball no es pot demostrar que aquelles amb resultats més dràstics siguin les millors, a causa dels resultats poc concloents obtinguts.

Per tant, si el que ha passat ha estat que l'estímul d'entrenament no ha sigut suficient, i de forma resultant es prenen com a referència els valors del subjecte que rebia la càrrega del projecte esportiu des de zero ja presentats a la taula 7, els indicadors que serien vàlids són tots, a excepció de la ràtio FT:CT del SJ, i l'IE i l'IR, ja que en tota la resta es mostra millor que el grup control de forma consistent.

Dins aquests, s'hauria de recalcar els que segons les fonts analitzades per l'elaboració d'aquest treball es mostren com a més vàlids, és a dir, en el cas dels salts, els relacionats amb el CMJ i el DJ, tant en l'alçada com en la ràtio FT:CT. D'altra banda, pel que fa als d'esquat, també es poden tenir en compte els 4 indicadors relacionats amb la velocitat lineal i angular. Tot i això, els que vénen donats pel sensor inercial, com ja s'ha comentat, s'hauran de comprendre tenint en compte que el model utilitzat no ha estat validat per accions explosives com els esquats desenvolupats en els tests de mesura.

D'altra banda, si s'entén que el problema pel qual no s'han donat modificacions favorables pel grup experimental en tots els indicadors és per l'especificitat del protocol, s'ha de destacar que les dues variables del DJ, la velocitat mitjana angular a esquat, i el percentatge de pèrdua de velocitat lineal són els que s'haurien de prendre com a referència. No obstant això, i com en el cas anterior, encara que el SJ es presenti més positiu en un dels dos indicadors pel grup experimental, en aquest cas la ràtio FT:CT, com es desenvoluparà a continuació, aquest salt no es contemplarà dins els millors indicadors. Això també succeirà pels índexs IE i IR per la gran variabilitat vista dins les mostres. A més a més, novament s'ha de tenir present que les dades del dispositiu DyCare s'han de prendre amb precaució.



Cal fer referència, doncs, al fet que, en tots dos casos s'ha destacat tant el CMJ com el DJ quan s'ha pogut com a valors de referència, ja que aquests segons Gathercole et al. (2015) són uns tipus de salt que permeten un bon seguiment de la FN dels esportistes que desenvolupen el protocol seguit durant aquest treball. D'altra banda, encara que el SJ també pugui ser un bon indicador i demostrï millores en els seus dos valors pel grup experimental, aquest no s'ha destacat en cap d'ells dins els millors per fer-ho, ja que aquests autors indiquen que la seva sensibilitat és inferior.

D'aquesta manera, encara que es podria incloure, això no s'ha fet, pel fet que com he esmentat, vull destacar aquells indicadors que s'hagin mostrat més susceptibles a la FN en cada possibilitat, però aquells que la literatura indica com a òptims de forma preferencial. Per tant, els que estan relacionats amb els esquats sí que són destacats, ja que és un moviment que com està desenvolupat és isoinercial i té relació amb la fatiga generada en el cicle estirament-escurçament, fet que diferents autors demostren com a essencial pels tests de mesura de la FN (Balloch, 2018; Gathercole et al., 2015).

Finalment, i per donar valor als resultats d'aquest treball, és important fer una anàlisi sobre el nivell de fatiga generat en el protocol, i com es veu reflectit aquest en els indicadors. Primerament, com s'ha dit, mitjançant la utilització de l'escala subjectiva de fatiga, la qual ja s'ha indicat en aquest treball que és una forma vàlida per avaluar aquesta (Taylor, 2012), sembla que tots dos grups van arribar a un nivell de fatiga subjectiu elevat.

No obstant això, la resta de resultats demostren que no és sempre així. D'aquesta manera, a la segona presa de mesures del grup experimental, aquest va millorar en els resultats intrasessió de la diferència de l'alçada i la ràtio FT:CT en el DJ, en la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat mitjana a esquat amb l'encòder i el sensor inercial, i en la diferència de la velocitat mitjana en el mateix moviment amb DyCare, en aquest últim cas, en les dues sessions de mesura.

D'altra banda, el grup control va mostrar valors positius pre-post estímul de fatiga en la diferència de la ràtio FT:CT del DJ a la primera sessió, mentre que en la segona, en la diferència de l'alçada de SJ, en la diferència de la velocitat mitjana a esquat amb encòder, i en la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat a esquat amb el sensor inercial. A part, en totes dues ocasions això es va generar en la diferència de la velocitat mitjana a esquat amb DyCare.

A més a més, i fent referència al que s'ha dit al marc teòric sobre Balloch (2018), un indicador de fatiga en els salts són modificacions de la ràtio FT:CT del 7-8%, fet que en el grup experimental només es dona en el SJ a la sessió prèvia a l'entrenament de 6 setmanes, mentre que en el grup control es va generar en les dues preses de mesura del SJ, en la primera del CMJ, i en l'última del DJ.

A tot això se li ha de sumar el fet que a l'esquat s'assolissin millores intrasessió en les primeres mesures en els dos grups en l'indicador de diferència de la velocitat mitjana amb DyCare, a més a més que a la segona sessió, el grup experimental va tornar a millorar aquest indicador juntament amb la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat amb encòder i el sensor inercial. A part, el grup control també el va millorar de forma simultània a la mateixa manifestació mesurada amb encòder, i la diferència del percentatge de pèrdua de velocitat amb DyCare en la segona presa de mesures.

Tenint en compte aquesta informació, es pot entendre que l'estímul de fatiga escollit no va ser capaç de generar els efectes esperats en cap dels dos grups, ja que tot i els valors de l'escala de Borg obtinguts, en pocs salts es va assolir variacions intrasessió en la ràtio ja explicada que suposessin un indicador de fatiga, a més a més que a l'esquat es van donar millores pre-post estímul de fatiga, sobretot en la segona sessió.

No obstant això, s'ha de fer referència a un factor ja comentat en el marc teòric: la potenciació post-activatòria. D'aquesta manera, pot ser que mitjançant aquest efecte, els resultats esperats no es donessin, ja que a partir d'una sèrie de mecanismes elèctrics o mecànics, es generessin uns nivells de força iguals o superiors als previs a la fatiga, mentre que el sistema nerviós limités el nombre d'unitats motores reclutades en l'acció muscular (Boyas i Guével, 2011), i per tant, els indicadors esmentats no empitjoressin, com es va veure als estudis d'Antonutto et al. (2016) i Bayios et al. (2016).

Com ja s'ha comentat a la fonamentació teòrica, aquest fenomen és força comú en exercicis de curta durada (Antonutto et al., 2016; Boyas i Guével, 2011), com és el cas del Yo-Yo test utilitzat com estímul fatigant en el protocol desenvolupat, el qual, a més, té una alta implicació de força excèntrica (Gathercole et al., 2015) i una baixa demanda energètica per la seva duració, factor que implica que la fatiga que es genera és principalment mecànica, i que Bayios et al. (2016) relaciona amb la potenciació post-activatòria.

Per tant, i tenint en compte que aquest protocol ha estat demostrat com a vàlid per generar i identificar FN (Gathercole et al., 2015), les variacions intrasessions positives o no indicatives de fatiga vistes en els resultats, tant en esquat com en salt, poden venir desenvolupades per aquest fenomen, fet que es veuria recolzat per les puntuacions de fatiga subjectiva ja comentades. No obstant això, la presència de la potenciació post-activatòria no deixa de ser una especulació, ja que no es van disposar dels mitjans per comprovar si realment va condicionar el rendiment dels subjectes.

Sabent tot això, considero que el fet que aquest fenomen sigui present o no, és quelcom que no hauria d'influir en el valor dels resultats, ja que aquest és natural en els esportistes, pel que el seu rendiment real també serà condicionat pel mateix, cosa que és recolzada pel fet que, com s'ha vist, podria estar present tant en el grup experimental com en el grup control en els dos dies de mesura. D'aquesta manera, es pot entendre que aquest pot ser un element més en el qual s'hagi generat adaptacions durant les 6 setmanes.

D'altra banda, i per acabar amb el subapartat, és destacable indicar que per les ràtios FT:CT ja comentades, es podria dir que encara que el percentatge de millora no sigui més gran en aquest, en la majoria dels casos no es va identificar fatiga en el grup experimental, mentre que en el control, sí, factor que dóna suport a l'explicació de la càrrega d'entrenament insuficient a causa que els esportistes del grup experimental ja estaven acostumats a aquesta, desenvolupat prèviament per justificar els resultats obtinguts.

## 5. Conclusions

Un cop desenvolupades totes les parts d'aquest treball, es passarà a descriure les conclusions del mateix a partir dels objectius i la hipòtesi establerts, a més a més de destacar una sèrie de limitacions amb les quals, des del meu punt de vista, m'he trobat en el transcurs de la seva elaboració.

Primerament, opino que he estat capaç de valorar els efectes d'un protocol d'entrenament sobre la resistència a la FN en un grup de subjectes de diferents esports, ja que, com ja s'ha vist, s'ha fet una anàlisi de les adaptacions que s'han generat amb aquest, a part de fer una discussió a l'apartat anterior sobre el possible motiu d'aquests resultats no corresponents amb els esperats.

D'altra banda, i pel que fa a l'anàlisi de la velocitat lineal general i l'angular de l'articulació del genoll de desplaçament durant el moviment d'esquat, de l'alçada i el temps de producció de força en el salt vertical, i la seva reacció a la fatiga aguda neuromuscular, la qual m'he plantejat pel primer objectiu específic, s'ha pogut identificar que l'afectació de tots aquests elements ha estat variada i poc conclouent, tenint en compte únicament els resultats d'aquest treball. Això és així, ja que, com es pot veure a la taula 6, tots els indicadors millorats queden repartits entre el grup experimental i el grup control.

Fent referència al segon objectiu específic, a l'hora de valorar quines són les millors variables per avaluar la FN, he desenvolupat una discussió en la qual s'argumenta que aquesta decisió dependrà de la manera d'entendre els resultats d'aquest treball, a partir dels dos possibles motius que presento per aquests. A continuació, es farà referència a aquells que s'han conclòs com a millors segons la sensibilitat demostrada a la literatura, i la validesa, fiabilitat i exactitud dels instruments mitjançant els quals s'han obtingut.

Primerament, si el que ha passat és que els esportistes del grup experimental no han rebut un estímul suficient per generar adaptacions, ja que estaven acostumats a aquest, i per tant es prenen com a referència els resultats del subjecte que va rebre la càrrega d'entrenament com a quelcom nou, els millors indicadors a tenir en compte en el cas dels salts són l'alçada i la ràtio FT:CT del CMJ i del DJ, mentre que en esquat, qualsevol dels dos indicadors analitzats en aquest treball que compleixin el criteri esmentat es poden tenir en compte, és a dir, la diferència de la velocitat mitjana i la diferència del percentatge de pèrdua de la velocitat mitjana de forma lineal. Penso que és important recalcar de nou que aquesta situació s'ha de tenir en compte com quelcom no definitiu, ja que aquests resultats només són d'un esportista.

En el cas que es contempli l'altra opció, i es concebi que els resultats han estat obtinguts pel fet que el protocol de mesura no ha estat prou específic a les adaptacions a la FN generades, els elements que es van mostrar com a indicadors òptims, van ser tant l'alçada com la ràtio FT:CT del DJ, i la diferència en el percentatge de pèrdua de velocitat a esquat de forma lineal, o cosa que és el mateix en aquest treball, amb encòder.

Per tant, tenint en compte tot això, entenc que he pogut establir indicadors que poden ser bones variables a tenir en compte a l'hora de mesurar la FN dins aquest protocol, tot i que es necessiten altres estudis per acabar de comprovar això.

D'aquesta manera, i sense oblidar el que s'ha exposat, crec que encara que la hipòtesi no s'hagi confirmat, hi ha una sèrie de consideracions que s'han de tenir presents, ja que els resultats que s'han obtingut poden tenir diferents lectures, de manera que per acabar de determinar l'efecte sobre la FN de l'entrenament de 6 setmanes realitzat, aquest estudi s'hauria de repetir en unes condicions que evitessin els dubtes esmentats, és a dir, amb subjectes més homogenis que rebessin l'estímul sense experiència prèvia relacionada amb aquest. Si això fos així, es podria identificar quina de les dues causes explicades pels resultats obtinguts és la que els ha produït, i així, a part, determinar els millors indicadors per la detecció de la FN en aquest protocol de generació i quantificació d'aquesta.

A més a més, trobo destacable que quan s'ha analitzat la capacitat de generació de fatiga del protocol, s'ha vist certa controvèrsia, ja que tot i que a escala subjectiva sembla que els subjectes sí que tenien la percepció d'una fatiga elevada, els seus resultats físics en alguns indicadors demostraven el contrari. D'aquesta manera, tenint en compte aquests dos factors, i el fet que el protocol utilitzat està validat per generar i identificar FN, pot ser que el fenomen de la potenciació post-activatòria hagi influït en tot el procés. No obstant això, i com s'ha indicat, això és una hipòtesi, ja que no es van fer comprovacions per mesurar-la.

D'altra banda, també és convenient recalcar que al llarg del desenvolupament d'aquest treball hi ha hagut una sèrie de limitacions. Primerament, i com ja s'ha comentat, el fet que el grup experimental tingués un bagatge previ de la metodologia d'entrenament desenvolupada, és quelcom que fa que els resultats no siguin del tot concloents i es puguin generar diferents formes d'entendre aquests.

Una altra limitació és que com no es va fer un control de la composició corporal dels esportistes o altres capacitats físiques més enllà de les de força i velocitat de moviment, les adaptacions de l'entrenament que no s'hagin generat en aquests aspectes no s'han pogut veure reflectits en aquest treball. Aquesta situació es pot relacionar amb el segon possible motiu desenvolupat pel qual els resultats no es corresponen amb allò que defineix la hipòtesi, és a dir, l'especificitat del protocol.

Adicionalment, que l'anàlisi dels salts fos desenvolupat en part de forma manual mitjançant l'app mòbil esmentada en els instruments, és quelcom que pot haver estat una limitació, ja que, tot i haver seguit indicacions que es defineixen a la literatura i que aquest instrument hagi estat validat, el meu criteri a l'hora d'analitzar el procés del temps de contacte no és tan exacte com el que es pot obtenir amb altres mitjans, com per exemple plataformes de força.

Seguint amb els instruments, el no haver disposat d'un sensor inercial validat per les característiques del protocol desenvolupat és quelcom que ha fet que les dades obtingudes per aquest, encara que es puguin tenir en compte, no es contemplin a les conclusions. No obstant això, penso que els resultats que s'han desenvolupat en la discussió poden suposar punts de referència a tenir en compte per altres estudis que utilitzin models d'aquest tipus de sensors que disposin de validació.

A part, considero que el fet que la mostra no fos massa homogènia ha estat una dificultat en diferents aspectes, ja que, com s'ha comentat, encara que s'hagi descartat com a principal motiu pels resultats, el fet que alguns dels esportistes participants tinguessin diferents edats, practiquessin diferents esports, i formessin part de diferents equips, pot ser quelcom que generi uns resultats no precisos del tot.

Per acabar, i des del meu punt de vista, la falta del control sobre la càrrega dels esportistes del grup experimental i del grup control és quelcom que també ha estat limitant en aquest treball, ja que encara que es fessin mesures de fatiga subjectiva al llarg de les sessions del protocol, no es va poder fer un seguiment dels estímuls que rebien els dies previs a les mesures, per tal d'assegurar que aquestes fossin desenvolupades en les condicions més semblants possibles entre sessions i entre subjectes.

No obstant aquestes consideracions, cal destacar que mitjançant l'elaboració d'aquest treball, he pogut rebre una sèrie d'experiències, les quals crec que em permetran ser un millor professional en el futur, ja que he pogut aplicar tant coneixements adquirits en el grau, com altres que he obtingut en la recerca d'informació d'aquest treball, de manera que des del meu punt de vista les vivències per les quals he passat són una bona base per al meu desenvolupament en el món laboral.

D'altra banda, també trobo interessant destacar que a partir d'aquest document poden aparèixer diferents línies d'investigació, i que d'aquestes, s'haurien de recalcar dues de les més directes, les quals ja s'han esmentat. La primera és veure com aquest protocol d'entrenament afecta altres capacitats i característiques dels esportistes que les analitzades en aquest treball, com l'equilibri o la coordinació. L'altra, implicaria la reproducció d'aquest estudi amb unes millors condicions per així aclarir els resultats, és a dir, amb major homogeneïtat de la mostra, sense que hi hagi experiències prèvies amb la metodologia...

Per concloure aquest treball, segons el meu parer, tot i les limitacions, s'han assolit tots aquells objectius que es van plantejar en iniciar aquest, tant el general com els específics. Això és així, ja que s'ha desenvolupat una valoració dels efectes del protocol d'entrenament aplicat sobre la resistència a la FN en una mostra que practica diferents esports, s'ha analitzat com afecta la fatiga aguda neuromuscular en diversos aspectes físics com són la velocitat lineal general i l'angular de l'articulació del genoll de desplaçament durant el moviment d'esquat, i l'alçada i el temps de producció de força en el salt vertical, i s'ha identificat aquells indicadors més bons per avaluar la FN en dos escenaris possibles.

A part, mitjançant tot això, s'ha pogut fer una discussió per arribar a la conclusió que la meva hipòtesi, encara que no s'hagi complert, per tal de ser corroborada o refutada del tot, hauria de ser comprovada en unes condicions més òptimes per evitar confusions en els resultats.



## 6. Bibliografia

- Aboodarda, S., Amery, K., Floreani, M., Jaswal, R., Millet, G., Mira, J., Moon, S., i Rupp, T. (2018). Effects of endurance training on neuromuscular fatigue in healthy active men. Part I: Strength loss and muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 118(11), 2281-2293. doi:10.1007/s00421-018-3950-8
- Agel, J., Dick, R., i Hootman, J. (2007). Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319. Consultat 28 gener 2019, des de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1941297/>
- Andersson, H., Garthe, I., Kadi, F., Nilsson, J., Paulsen, G., i Raastard, T. (2008). Neuromuscular Fatigue and Recovery in EliteFemale Soccer: Effects of Active Recovery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 372-80. doi:10.1249/mss.0b013e31815b8497
- Andersson, G., Novak, G., Schipplein, O., i Trafimow, J. (1993). The effects of quadriceps fatigue on the technique of lifting. *Spine*, 18(3), 364-367. doi:10.1097/00007632-199303000-00011
- Antonutto, G., Giovanelli, N., Lazzer, S., Rejc, E., Simunic, B., i Taboga, P. (2016). Effects of an Uphill Marathon on Running Mechanics and Lower-Limb Muscle Fatigue. *Human Kinetics Journals: International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 522-529. doi:10.1123/ijsp.2014-0602
- Apicella, J., Comstock, B., Creighton, B., Dunn-Lewis, C., Flanagan, S., Hooper, D., Kelly, N., Kraemer, W., Looney, D., Maresh, C., Szivak, T., i Volek, J. (2014). Effects of fatigue from resistance training on barbell back squat biomechanics. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1127-1134. doi:10.1097/JSC.0000000000000237
- Araújo, D., Chow, J., Davids, K., Hristovski, R., i Passos, P. (2012). Ecological dynamics and motor learning design in sport. Dins Hodges, N., i Williams, M (Coords.), *Skill Acquisition in Sport II: Research, Theory and Practice* (2ed., p. 112-130). doi:10.13140/RG.2.1.2297.0089

- Armstrong, R., Brogden, C., Greig, M., Milner, D., i Norris, D. (2018). Effect of Fatigue on Functional Movement Screening Performance in Dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 33(3), 213-219. doi: 10.21091/mppa.2018.3032
- Aughey, R., Clubb, J., Cormack, S., i Rowell, A. (2018). A Standardized Small Sided Game Can Be Used to Monitor Neuromuscular Fatigue in Professional A-League Football Players. *Frontiers in Physiology*, 9(1011). doi:10.3389/fphys.2018.01011
- Balloch, A. (2018). Evaluation of kinetic and kinematic variables during a CMJ to assess neuromuscular status in team-sport athlete. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 26(1), 49-56. Consultat 1 novembre 2018, des de [https://www.researchgate.net/publication/323498341\\_Evaluation\\_of\\_kinetic\\_and\\_kinematic\\_variables\\_during\\_a\\_CMJ\\_to\\_assess\\_neuromuscular\\_status\\_in\\_team-sport\\_athletes](https://www.researchgate.net/publication/323498341_Evaluation_of_kinetic_and_kinematic_variables_during_a_CMJ_to_assess_neuromuscular_status_in_team-sport_athletes)
- Balsalobre, C., Glaister, M., i Lockey, R. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574-1579. doi:10.1080/02640414.2014.996184
- Bangsbo, J., laia, M., i Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: A Useful Tool for Evaluation of Physical Performance in Intermittent Sports. *Sports Medicine*, 38(1), 37-51. doi:10.2165/00007256-200838010-00004
- Bangsbo, J., Jung, J., Krstrup, P., Majgaard, J., Mohr, M., i Nybo, L. (2006). The Yo-Yo IR2 Test: Physiological Response, Reliability, and Application to Elite Soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(9), 1666-1673. doi:10.1249/01.mss.0000227538.20799.08
- Bayios, I., Bogdanis, G., Boudolos, K., Noutsos, K., Pappas, A., Rousanoglou, E., i Vagenas, G. (2016). Alterations of Vertical Jump Mechanics after a Half-Marathon Mountain Running Race. *Journal of sports science & medicine*, 15(2), 277-286. Consultat 28 octobre 2018, des de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4879441/>
- Beckmann, H., Davids, K., i Schöllhorn, W. (2010). Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*, 46(6), 365-373. doi:10.3390/medicina46060052

- Beckmann, H., Frank, T., Michelbrink, M., i Schöllhorn, W. (2008). A quantitative dynamical systems approach to differential learning: self-organization principle and order parameter equations. *Biological Cybernetics*, 98(1), 19-31. doi:10.1007/s00422-007-0193-x
  
- Bembien, M., Daub, B., Frantz, B., Freitas, E., Heishman, A., i Miller, R. (2018). Countermovement Jump Reliability Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division 1 Intercollegiate Basketball Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research, Published Ahead of Print*. doi:10.1519/JSC.0000000000002812
  
- Bennett, S., Fowler, N., i Rodacki, A. (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1),105-16. doi: 10.1097/00005768-200201000-00017
  
- Bocoock, O., Bontemps, B., Chalchat, E., Duclos, M., Julian, V., Martin, V., Piponnier, E., i Ratel, S. (2018). Child-adult differences in neuromuscular fatigue are muscle-dependent. *Journal of Applied Physiology*, 125(4), 1246-1256. doi:10.1152/jappphysiol.00244.2018
  
- Bosch, A., Lambert, M., Pearce, A., Sayers, M., i Viljoen, W. (2008). General Principles of Training. Dins M. Schwellnus (ed.), *Olympic Textbook of Medicine in Sport* (p. 1-48). doi:10.1002/9781444300635
  
- Boyas, S., i Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(2), 88-108. doi:10.1016/j.rehab.2011.01.001
  
- Buckle, N., Button, D., Collins, B., Pearcey, G., i Power, K. (2018). Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(11), 1166-1175. doi:10.1139/apnm-2018-0080
  
- Cadore, E., González-Izal, M., Grazioli, R., Izquierdo, M., Pinto, R., i Setuain, I. (2019). Effects of Concentric and Eccentric Strength Training on Fatigue Induced by Concentric and Eccentric Exercise. *Human Kinetics Journals: International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(1), 91-98. doi:10.1123/ijsp.2018-0254

- Cairns, S., Knicker, A., Sjøgaard, G., i Thompson, M. (2005). Evaluation of Models Used to Study Neuromuscular Fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33(1), 9-16. Consultat 29 octubre 2018, des de [https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2005/01000/Evaluation\\_of\\_Models\\_Used\\_to\\_Study\\_Neuromuscular.3.aspx](https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2005/01000/Evaluation_of_Models_Used_to_Study_Neuromuscular.3.aspx)
- Calbet, J., González-Badillo, J., González-Izal, M., Gorostiaga, E., Granados, C., Häkkinen, K., Ibañez, J., Idoate, F., Izquierdo, M., Kraemer, W., Malanda, A., Navarro-Amézqueta, I., i Tirapu, I. (2009). Neuromuscular Fatigue after Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, 30(8), 614-623. doi:10.1055/s-0029-1214379
- Carreras, D., Cos, F., Cos, M., i Medina, D. (2011). Terminologia dels exercicis de força amb sobrecàrregues (i IV). *Apunts. Educació Física i Esports*, 106(4), 71-83. doi:10.5672/apunts.2014-0983.cat.(2011/4).106.09
- Castrillón, F., Del Águila, A., Ramírez, F., Vivancos, A., i Zambudio, A. (2014). OC14 Reliability and validity of a linear position transducer for strength assessment. *British Journal of Sports Medicine*, 48(3), A5. doi:10.1136/bjsports-2014-094245.14
- Coad, S., Dwyer, D., Gabbett, T., McLellan, C., i Wehbe, G. (2015). Monitoring Neuromuscular Fatigue in Team-Sport Athletes Using a Cycle-Ergometer Test. *Human Kinetics Journals: International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 292-297. doi:10.1123/ijsp.2014-0217
- Cormack, S., Coutts, A., Kelly, V., McGuigan, M., i McLean, B. (2010). Neuromuscular, Endocrine, and Perceptual Fatigue Responses During Different Length Between-Match Microcycles in Professional Rugby League Players. *Human Kinetics Journals: International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 367-383. doi:10.1123/ijsp.5.3.367
- Cramer, J., Mielke, M., O'Kroy, J., Stout, J., Torok, D., i Zoeller, R. (2006). Effects of Twenty-Eight Days of Beta-Alanine and Creatine Monohydrate Supplementation on the Physical Working Capacity at Neuromuscular Fatigue Threshold. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 928-931. doi:10.1519/R-19655.1
- Davids, K., Hegen, P., i Schöllhorn, W. (2012). The Nonlinear Nature of Learning - A Differential Learning Approach. *The Open Sports Science Journal*, 5, 100-112. doi:10.2174/1875399X01205010100

- De Blas, X., Guerra, M., López, J., i Padullés, J. (2012). Creación y validación de Chronojump-Boscosystem: un instrumento libre para la medición de saltos verticales. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte* 8(30), 334-356. doi:10.5232/ricyde2012.03004
  
- De Koning, J., Kamper, W., Rabijs, J., Savelsbergh, G., i Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 415-427. Consultat 11 gener 2019, des de [https://www.researchgate.net/publication/279544507\\_A\\_new\\_method\\_to\\_learn\\_to\\_start\\_in\\_speed\\_skating\\_A\\_differential\\_learning\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/279544507_A_new_method_to_learn_to_start_in_speed_skating_A_differential_learning_approach)
  
- Drake, D., i Kennedy, R. (2017). The effect of acute fatigue on countermovement jump performance in rugby union players during preseason. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(10), 1261-1266. doi:10.23736/S0022-4707.17.06848-7
  
- Duran, J., Ferrer, V., i Turmo, A. (2017). *Validez y aplicabilidad de un nuevo sensor inercial (Dycare®-Lynx) para la evaluación de la flexibilidad activa de la musculatura isquiotibial en futbolistas*. Ponència presentada a Congreso de la Sociedad Iberica de Biomecánica y Biomateriales (SIBB), Sant Cugat, Catalunya.
  
- Faigenbaum, A., i Myer, G. (2010). Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 56-63. doi:10.1136/bjism.2009.068098
  
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Gual, G., Romero, D, i Unnitha, V. (2016). Lower limb neuromuscular asymmetry in volleyball and basketball players. *Journal of Human Kinetics*, 50, 135-143. doi:10.1515/hukin-2015-0150
  
- García-López, J., i Villa, J. (2003). Tests de salto vertical (I): Aspectos funcionales. *Revista Digital: RendimientoDeportivo.com*, 6. Consultat 3 novembre 2018, des de [https://www.researchgate.net/publication/301960181\\_Tests\\_de\\_salto\\_vertical\\_I\\_Aspectos\\_funcionales?enrichId=rgreq-3b4cd58318bc85cc87fdcb40318f1cd8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMTk2MDE4MTtBUzozNTg4Mjc5MjE4MjE2OTZAMTQ2MjU2MjY1MTIxOQ%3D%3D&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/301960181_Tests_de_salto_vertical_I_Aspectos_funcionales?enrichId=rgreq-3b4cd58318bc85cc87fdcb40318f1cd8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMTk2MDE4MTtBUzozNTg4Mjc5MjE4MjE2OTZAMTQ2MjU2MjY1MTIxOQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)

- Gathercole, R., Sleivert, G., Sporer, B., i Stellingwerff, T. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531. doi:10.1519/JSC.0000000000000912
  
- Gomes, I., Leite, N., Mateus, N., Santos, S., i Vaz, L. (2015). The effect of a physical literacy and differential learning program in motor, technical and tactical basketball skills. *Revista de Psicología del Deporte*, 24(1), 73-76. Consultat 11 gener 2019, des de <https://www.rpd-online.com/article/view/v24-n3-mateus-santos-vaz-et-al>
  
- Gondin, J., Jubeau, M., Maffiuletti, N., Martin, A., i Zory, R. (2007). Effect of electrostimulation training–detraining on neuromuscular fatigue mechanisms. *Neuroscience Letters*, 424(1), 41-46. doi:10.1016/j.neulet.2007.07.018
  
- González-Badillo, J., i Sánchez-Medina, L. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725-1734. doi:10.1249/MSS.0b013e318213f880
  
- Gurchiek, R., McBride, J., i Rice, P. (2018). Physiological and Biomechanical Responses to an Acute Bout of High Kicking in Dancers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2954-2961. doi:10.1519/JSC.0000000000002748
  
- Gutiérrez-Vargas, J., Gutiérrez-Vargas, R., Martín-Rodríguez, S., Rodríguez-Montero, A., Rojas-Valverde, D., Salas-Cabrera, J., Sánchez-Ureña, B., i Simunic, B. (2018). Biochemical and Muscle Mechanical Postmarathon Changes in Hot and Humid Conditions. *The Journal of Strength and Conditioning Research, Published Ahead of Print*. doi:10.1519/JSC.0000000000002746
  
- Henz, D., i Schöllhorn, W. (2016). Differential Training Facilities Early Consolidation in Motor Learning. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 10(199). doi:10.3389/fnbeh.2016.00199
  
- Hills, S., i Rogerson, D. (2018). Associations Between Self-Reported Well-being and Neuromuscular Performance During a Professional Rugby Union Season. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(9), 2498-2509. doi:10.1519/JSC.0000000000002531

- Howe, L., Read, P., i Waldron, M. (2017). A Systems-Based Approach To Injury Prevention For The Strength And Conditioning Coach. *Strength and Conditioning Journal*, 39(6), 60-69. doi: 10.1519/SSC.0000000000000346
  
- Leite, N., Mateus, N., Sampaio, J., i Santos, S. (2016a). Do previous sports experiences influence the effect of an enrichment programme in basketball skills?. *Journal of Sports Sciences*, 35(17), 1759-1767. doi: 10.1080/02640414.2016.1236206
  
- Leite, N., Memmert, D., Sampaio, J., i Santos, S. (2016b). The Spawns of Creative Behavior in Team Sports: A Creativity Developmental Framework. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7(1282). doi:10.3389/fpsyg.2016.01282
  
- Mayer-Kress, G., Michelbrink, M., Newell, K., i Schöllhorn, W. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, 28(3), 319-333. doi:10.1016/j.humov.2008.10.005
  
- National Strength and Conditioning Association. (2018). *El desarrollo de la potencia: Ejercicios, programas y protocolos* (1ª ed.). Madrid: Ediciones Tutor S.A.
  
- Schoenfeld, B. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3497-3506. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7
  
- Seedman, J. (2017, abril 17). Offset dumbbell training for strength, size, and function. [Entrada blog]. Consultat des de <https://www.advancedhumanperformance.com/blog/offset-dumbbell-training-for-strength-size-and-function>
  
- Taylor, K. (2012). *Monitoring neuromuscular fatigue in high performance athletes*. (Tesi doctoral. Edith Cowan University, Austràlia). Consultat des de <https://ro.ecu.edu.au/theses/581>

## 6.1. Altres fonts usades

- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion And Pain Scales*. Consultat 4 gener 2019, des de [https://www.researchgate.net/publication/306039034\\_Borg%27s\\_Perceived\\_Exertion\\_And\\_Pain\\_Scales](https://www.researchgate.net/publication/306039034_Borg%27s_Perceived_Exertion_And_Pain_Scales)

- Servei Meteorològic de Catalunya. (2019). Dades de l'estació automàtica Vic. [Base de dades]. Consultat 1 maig 2019, des de <http://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=XO>



## 7. Annex

### a) Progressions dels esportistes en els exercicis del protocol d'entrenament desenvolupat

	1. Salt a calaix mitjançant un CMJ seguit d'un DJ per balcar aquest (centímetres d'alçada del calaix).	2. Mig esquat amb barra agafada amb una mà de forma lateral (quilograms totals).	3. Tisores amb manuelles amb pes diferent a cada mà (quilograms respectius a cada manuela).	4. Mig esquat amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable (quilograms totals).	5. Salt des de SJ seguit d'un DJ partint i caient a terra.	6. Pes mort amb barra i de disc a cada costat d'aquesta (quilograms totals).	7. Tisores amb salt i manuelles amb pes diferent a cada mà (quilograms respectius a cada manuela).	8. Mig esquat frontal amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable (quilograms totals).	9. Salt a calaix mitjançant un CMJ (centímetres d'alçada del calaix).	10. Mig esquat amb barra des de <i>land mine</i> (quilograms totals).	11. Esquat complet seguit de tisores (1 amb cada cama) amb manuelles amb pes diferent a cada mà. (quilograms respectius a cada manuela).	12. Mig esquat amb barra i gomes elàstiques per assolir resistència variable (quilograms totals).
1	30,0	21,6	14,4 3,6	18,0	-	25,2	18,0 7,2	25,2	35,0	28,8	18,0 3,6	32,4
2	30,0	21,5	14,3 3,6	17,9	-	25,0	17,9 7,2	25,0	35,0	28,6	17,9 3,6	32,2
3	20,0	14,4	9,6 2,4	12,0	-	16,8	12,0 4,8	16,8	25,0	19,2	12,0 2,4	21,6
4	20,0	12,6	8,4 2,1	10,5	-	14,7	10,5 4,2	14,7	25,0	16,8	10,5 2,1	18,9
5	20,0	20,1	13,4 3,4	16,8	-	23,5	16,8 6,7	23,5	25,0	26,8	16,8 3,4	30,2
6	30,0	23,7	15,8 4,0	19,8	-	27,7	19,8 7,9	27,7	35,0	31,6	19,8 4,0	35,6
7	15,0	13,2	8,8 2,2	11,0	-	15,4	11,0 4,4	15,4	20,0	17,6	11,0 2,2	19,8
8	20,0	18,9	12,6 3,2	15,8	-	22,1	15,8 6,3	22,1	25,0	25,2	15,8 3,2	28,4

Taula annexa 1: Progressions dels esportistes en els exercicis del protocol d'entrenament desenvolupat. Font pròpia.

## b) Escala de Borg utilitzada durant les preses de mesures

Puntuación	Valoración del esfuerzo
6	Sin esfuerzo
7	Extremadamente ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro
18	
19	Extremadamente duro
20	Esfuerzo máximo

Taula annexa 2: Escala de Borg utilitzada durant les preses de mesures. Basada en Borg (1998). Font pròpia.