



Editat per:
© Generalitat de Catalunya
Departament de la Presidència
Institut Nacional d'Educació
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

***Correspondència:**
Solange de Paula Ramos*
solangedepaularamos@gmail.com

Secció:
Entrenament esportiu

Idioma de l'original:
Anglès

Rebut:
6 d'agost de 2020

Acceptat:
30 d'abril de 2021

Publicat:
1 d'octubre de 2021

Coberta:
Jocs Olímpics de Tòquio 2020 –
Taekwondo: Pes mosca femení
49 kg. Combat per la medalla
d'or. Adriana Cerezo Iglesias
(Espanya) contra Panipak
Wongphatthanakit (Tailàndia).
Makuhari Messe Hall, Chiba
(Japó) 24.07.2021.
REUTERS / Murad Sezer

Efectes de la teràpia amb díodes emissors de llum en la recuperació de jugadors de futbol sala masculí

Victor Hugo de Freitas¹ , Flavia Alessandra Guarnier² , Thâmara Alves² , Lúcio Flávio Soares-Caldeira³ , Alessandro Moura Zagatto⁴ i Solange de Paula Ramos^{5*}

1. Departament d'Educació Física, Universitat Federal de Bahia (Brasil).
2. Departament de Patologia General, Universitat Estatal de Londrina, Londrina (Brasil).
3. Departament d'Educació Física, Universitat Norte de Paraná, Londrina (Brasil).
4. Departament d'Educació Física, Facultat de Ciències, Universitat Estatal de São Paulo (UNESP), Bauru, São Paulo (Brasil).
5. Departament d'Histologia, Universitat Estatal de Londrina, Londrina (Brasil).

Citació

De Freitas, V.H., Guarnier, F.A., Alves, T., Soares-Caldeira, L.F., Moura Zagatto, A. & De Paula Ramos, S. (2021). Effects of Light-Emitting Diode Therapy on Recovery of Adult Male Futsal Players. *Apunts Educación Física y Deportes*, 146, 52-60. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2021/4\).146.06](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/4).146.06)

Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser investigar els efectes de la teràpia amb díodes emissors de llum (LED) en els marcadors de rendiment físic, dany muscular, inflamació i estrès oxidatiu fins a 24 hores després del protocol de carrera intermitent específic per a futbol sala (Futsal- Specific Intermittent Shuttle Protocol, FISP). Deu jugadors de futbol sala adults van dur a terme el FISP amb set dies de diferència. Els participants van ser aleatoritzats en dos grups que van rebre LED (630 nm; 300 mW; 4.6 J/cm², 6 J per punt, 120 J a cada cuixa) o placebo. Durant els FISP es van determinar la freqüència cardíaca (FC) i la concentració sanguínia de lactat [Lac]. Es van recollir mostres de sang per analitzar la creatina cinasa (CK), interleucina-6 (IL-6), factor de necrosi tumoral alfa (TNF- α) i productes avançats de l'oxidació de proteïnes (PAOP), i el salt amb contramoviment (CMJ, per les sigles en anglès) i el dolor muscular percebut es van avaluar abans (Pre), després (Post) i 24 hores després (24 h) del FISP. Els grups de LED i placebo van presentar valors mitjans similars d'FC ($p = .58$) i [Lac] ($p = .86$) durant els FISP. Es van observar efectes d'interacció ($p < .01$) i temps ($p < .01$) en la CK, amb un augment de CK amb placebo ($p < .01$) i LED ($p < .01$) en el moment Post comparat amb el Pre. Es va observar un factor de temps en el CMJ ($p < .01$) i l'IL-6 ($p < .01$); el CMJ va presentar valors més baixos en el moment Post ($p < .01$) i 24 h ($p = .01$) comparat amb Pre, i l'IL-6 va augmentar en el moment Post comparat amb el Pre ($p < .01$) i va tornar a valors Pre 24 h després del FISP. No es van comunicar efectes d'interacció, temps i grup en relació amb el dolor muscular, el TNF- α o els PAOP ($p > .05$). En conclusió, la teràpia amb LED va alterar el patró de la CK després del FISP, però no va canviar els marcadors de rendiment físic, dolor muscular, inflamació o estrès oxidatiu de jugadors de futbol sala fins a 24 hores després del FISP.

Paraules clau: dany muscular, esports d'equip, fotobiomodulació, fototeràpia.

Introducció

El futbol sala és un esport d'equip, en el qual els jugadors cobreixen un 15 % de la distància total (~3000-4000 m) a velocitats d'alta intensitat (és a dir, >18.3 km/h) (De Oliveira Bueno et al., 2014) i presenten valors de freqüència cardíaca (FC) pròxims al 86-90 % de l'FC màxima (FC_{màx}) durant un partit (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009). A més, durant els partits es poden produir esprints constants, parades sobtades, acceleracions, canvis de direcció i finalitzacions (Naser et al., 2017). A conseqüència de les exigències físiques i fisiològiques d'alta intensitat, en estudis previs s'han descrit descensos del rendiment físic durant els partits, demostrats per una distància coberta a alta intensitat a la segona part més curta que a la primera (Barbero-Alvarez et al., 2008; De Oliveira Bueno et al., 2014; Milioni et al., 2016) i una alteració de la torsió del flexor i extensor del genoll i de la potència muscular de les extremitats inferiors (deduït pel test de salt amb contramoviment [CMJJ] immediatament (Dal Pupo et al., 2014) i fins a 24 hores després del partit (De Freitas et al., 2017). Quan es juguen partits consecutius, el mateix fenomen també s'observa els dies posteriors (Freitas et al., 2014).

El dolor muscular induït per l'exercici (DMIE) es relaciona amb freqüència amb una alteració del rendiment immediatament després i durant dies després d'un partit de futbol sala (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012; Freitas et al., 2014). En estudis previs s'ha descrit un augment de dany muscular, inflamació i estrès oxidatiu, manifestat per augments en sèrum de les activitats de creatina cinasa (CK) i lactat deshidrogenasa (LDH) (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012), en els nivells d'interleucina 6 (IL-6) i proteïna C-reactiva (PCR) (De Moura et al., 2012) i proteïna carbonilada (PC) (De Marchi et al., 2019) immediatament després i 48 hores després d'un partit de futbol sala. En aquest sentit, les estratègies que acceleren la recuperació del DMIE i del rendiment físic són útils per ajudar els jugadors de futbol sala a reduir els símptomes de fatiga, que es tradueix en la immediata disponibilitat dels esportistes per a sessions d'entrenament o competicions els dies següents als partits.

Recentment s'ha suggerit l'ús de fototeràpia en l'esport, amb el principal objectiu d'impulsar efectes ergogènics, augmentar el rendiment físic durant l'exercici i, com a mètode de recuperació després d'exercicis d'alta intensitat, reduir el DMIE en atletes d'esports individuals i d'equip (Leal-Junior et al., 2015; Leal-Junior et al., 2019; Vanin et al., 2018). La fototeràpia consisteix a aplicar llum de longituds d'ona de vermell a infraroig proper emesa per làser de baixa densitat (làser) o díodes emissors de llum (LED) (Leal-Junior et al., 2019). La fototeràpia estimula cèl·lules fotoreceptores a la cadena respiratòria mitocondrial del múscul esquelètic, especialment l'enzim citocrom C-oxidasa (Hayworth et al., 2010). En conseqüència, es pot observar una millora en la transferència d'electrons a la membrana mitocondrial interna, es redueix la formació elevada d'espècies reactives d'oxigen (ROS) i augmenta la reserva intracel·lular

resultant de trifosfat d'adenosina (ATP) (Hayworth et al., 2010). La millora en la producció total d'ATP al múscul esquelètic proporciona més energia disponible a la funció muscular, atenuant el DMIE. En un estudi previ es va suggerir que la fototeràpia aplicada abans dels partits de futbol sala promovia un efecte protector muscular, amb reducció dels marcadors de dany muscular (és a dir, CK i LDH) i estrès oxidatiu (substàncies reactives a l'àcid tiobarbitúric [SRATB] i PC) de jugadors de futbol sala després i 48 hores després dels partits (De Marchi et al., 2019). No obstant això, no s'ha publicat si la fototeràpia aplicada després dels partits podria ser efectiva per accelerar la recuperació de jugadors de futbol sala. A més, fins ara, no es coneixen els efectes de la fototeràpia en la recuperació de marcadors de jugadors de futbol sala, com el rendiment físic, fins a 24 hores després dels partits. Aquesta informació podria ajudar els entrenadors principalment en tornejos curts, que tenen un interval entre partits d'aproximadament 24 hores (Freitas et al., 2014).

L'objectiu d'aquest estudi va ser investigar els efectes de la teràpia amb LED en marcadors de rendiment físic, dany muscular, inflamació i estrès oxidatiu fins a 24 hores després d'un protocol d'exercicis que simula les exigències físiques de disputar un partit de futbol sala. Per justificar l'objectiu, vam plantejar la hipòtesi que el protocol d'exercicis podia afectar negativament els marcadors associats a DMIE de jugadors de futbol sala, de manera similar als de després del futbol sala (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012), i que LED podria atenuar aquests efectes negatius.

Metodologia

Participants

En aquest estudi van participar 10 jugadors de camp (edat 23.5 ± 7.8 anys, estatura 174.3 ± 6.1 cm, i pes 69.1 ± 3.8 kg) d'un equip de futbol sala adult. Aquest equip ocupava la segona posició de la divisió d'ascens a primera divisió d'un campionat estatal de futbol sala. La mostra es va seleccionar per conveniència a causa del nombre limitat de jugadors en un equip de futbol sala i als problemes per trobar diferents equips amb la mateixa rutina i calendari d'entrenament i amb disponibilitat. Els criteris d'inclusió van ser: jugar a l'equip inclòs en aquest estudi i haver practicat futbol sala durant almenys quatre anys. Tots els jugadors estaven sans, sense lesions i van informar no haver consumit substàncies ergogèniques ni antiinflamatoris en el moment de l'experiment. A més, es va indicar a tots els jugadors voluntaris que no consumissin alcohol ni aliments amb cafeïna durant almenys les 24 hores prèvies a la realització dels procediments experimentals. La ingesta dietètica no va ser guiada per un nutricionista i no es va dur a terme cap record dietètic; no obstant això, es va indicar als jugadors que mengessin regularment i que

s'hidratessin amb freqüència de manera voluntària i lliurement. Els procediments experimentals es van dur a terme a mitja temporada de competició, en un moment de pausa en el calendari competitiu. El Comitè d'Ètica en Recerca en Éssers Humans de la Universitat Estatal de Londrina va aprovar l'estudi (CAAE: 39519414.4.0000.5231; codi atorgat: 930.218), de conformitat amb les normes reguladores establertes pel Consell Nacional de Salut i d'acord amb la Declaració d'Hèlsinki.

Procediments

Per simular les exigències físiques d'un partit de futbol sala, els jugadors van dur a terme el protocol de carrera intermitent específic per a futbol sala (FISP) (De Freitas et al., 2017). El FISP és un protocol d'exercicis vàlid, que permet als jugadors sotmetre's de manera homogènia a les exigències físiques dels partits de futbol sala. El primer dia de l'experiment, els jugadors van arribar al club a les 9.00 h del matí, sense haver fet exercici durant aproximadament 48 hores, per caracteritzar les mostres (mesures antropomètriques: pes i alçada). Els jugadors de futbol sala van dur a terme el FISP (De Freitas et al., 2017) amb set dies de diferència, a les 14.00 h, en una pista oficial de futbol sala. Els participants es van aleatoritzar per sorteig simple en dos grups als quals es va aplicar LED o placebo en un disseny creuat (amb cinc jugadors sotmesos a LED i cinc a placebo el primer dia, que es va invertir el segon dia). Encara que es descriuen efectes de recuperació similars amb LED i làser (Vanin et al., 2018), en el present estudi es va preferir LED (font de llum no coherent), perquè aquest té una àrea focal més gran, que cobreix àrees extenses de pell en cada punt d'aplicació de la llum. Les condicions de LED o placebo es van aplicar aproximadament ~1-35 minuts després de finalitzar el FISP i recollir les dades dels jugadors. L'FC es va monitorar de manera contínua i les mostres de sang es van extreure del lòbul de l'orella després de cada bloc del FISP per analitzar la concentració sanguínia de lactat [Lac]. A més, les mostres de sang es van recollir abans (Pre), immediatament després (Post) i 24 hores després (24 h) del FISP per analitzar-ne la concentració plasmàtica de CK, IL-6, factor de necrosi tumoral alfa (TNF- α) i productes avançats de l'oxidació de proteïnes (PAOP). Abans i 24 hores després del FISP, es va extreure sang abans de l'escalfament. Abans i 24 hores després del FISP, després de l'escalfament, i immediatament després, es va fer el test de salt amb contramoviment (CMJ) i es va monitorar el dolor muscular percebut. L'escalfament va consistir en la realització del FISP durant cinc minuts amb esprints a ~90 % de la velocitat màxima. Aquest escalfament també es va utilitzar perquè els jugadors es familiaritzessin amb el FISP. Per comprovar la freqüència cardíaca (FC), els jugadors van fer el nivell 1 del test de recuperació intermitent YO-YO (YO-YOIR1) (Bangsbo et al., 2008) una setmana

abans del primer FISP, sense haver fet exercici durant aproximadament 48 hores. Els procediments experimentals es van dur a terme a mitja temporada de competició, en un moment de pausa en el calendari competitiu.

Teràpia amb díodes emissors de llum (LED) o placebo

La teràpia amb díodes emissors de llum (LED) o placebo es va dur a terme amb un equip comercial (Taula 1). L'equip es va col·locar sobre els músculs quàdriceps i isquiotibials en contacte amb la pell, segons la Figura 1. A cada punt es van irradiar 6 J d'energia (20 s d'aplicació), amb 120 J d'energia total a cada cuixa. El procediment amb placebo es va fer amb l'aparell apagat, sense que els jugadors ho sabessin, ja que els dos grups (LED i placebo) duïen un antifàc durant l'aplicació del protocol. LED i placebo es van aplicar als mateixos llocs anatòmics i amb una durada similar. La longitud d'ona de LED i l'energia irradiada es van aplicar segons revisions sistemàtiques prèvies (Leal-Junior et al., 2015; Vanin et al., 2018). Abans dels procediments experimentals, als jugadors de tots dos grups (LED i placebo) se'ls va explicar l'efecte de l'aplicació de LED, amb la finalitat de convèncer-los que la teràpia amb LED és efectiva per accelerar la recuperació.

Taula 1

Paràmetres d'aplicació de LED.

Aparell: Biostherapy II; BIOS®, São José dos Campos, Brasil

Longitud d'ona: 630 nm

Freqüència de sortida: contínua

Potència: 300 mW

Mida del feix: 1.32 cm²

Temps d'aplicació per punt: 20 s

Nombre de llocs irradiats: 20 a cada cuixa: 5 al vast extern, 3 al vast intern, 4 al recte anterior, 4 al bíceps femoral i 4 al semitendíno

Densitat de potència a cada punt: 227.3 mW/cm²

Densitat d'energia a cada punt: 4.5 J/cm²

Densitat total d'energia a cada cuixa: 90.8 J/cm²

Protocol de carrera intermitent específic per a futbol sala (FISP)

El FISP consta de quatre blocs de sis minuts de durada per bloc i intervals de cinc minuts entre blocs (39 minuts en total). La distància total coberta pel FISP és de 3600 metres i cada bloc d'exercicis s'estructura en sis seqüències de 10 desplaçaments de 15 metres, durant les quals els jugadors

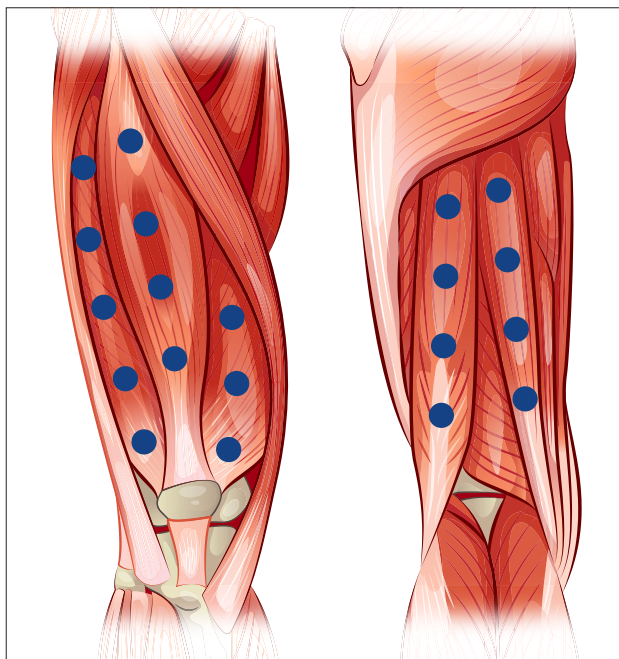


Figura 1
Mapa d'aplicació de LED.

corren a intensitats diferents marcades per un xiulet i una ordre de veu. La seqüència dels desplaçaments és: caminar, 5.4 km/h; 2 × carreres de baixa intensitat, 9 km/h; esprints, velocitat màxima; 2 × carreres de baixa intensitat, 9 km/h; 2 × carreres d'intensitat mitjana, 13.5 km/h; carrera d'alta intensitat, 18 km/h; caminar, 5.4 km/h. S'ha demostrat que els valors d'FC, els canvis en el CMJ, el dolor muscular percebut i els marcadors de recuperació d'inflamació i estrès oxidatiu en el FISP són similars als d'un partit simulat (De Freitas et al., 2017).

Freqüència cardíaca (FC)

L'FC es va monitorar a intervals d'1 s amb monitors telemètrics (Polar®, RS800, Polar Electro, Finlàndia). Es va calcular l'FC mitjana per als quatre blocs complets del FISP (24 min = 4 blocs × 6 min). A més, l'FC es va determinar al YO-YOIR1 i es va considerar que l'FC al final del test era l'FC màxima (FCmàx). També es va calcular el percentatge d'FC monitorada al FISP, que corresponia a l'FCmàx (% FCmàx).

Test de salt amb contramoviment (CMJ)

El CMJ es va dur a terme utilitzant una màrrega de contacte (Smart Jump®, Fusion Sport, Austràlia). Els jugadors van començar el test dempeus i van fer un esquat (flexió de ~90° dels genolls), seguit d'un salt amb les mans col·locades sobre els malucs. Els jugadors van fer tres intents de CMJ màxim amb un descans de 60 segons entre els intents i per a l'anàlisi es va considerar el salt més alt. El test de CMJ va mostrar un coeficient de correlació intraclase (CCI) de 0.97 (Sattler et al., 2012).

Dolor muscular percebut

El dolor muscular es va avaluar amb una escala categòrica (0-10) de dolor (Cook et al., 1998). Els jugadors van fer una flexió de genolls de ~90° abans de comunicar el dolor muscular en una escala; 0 representa cap dolor i 10, dolor summament intens, gairebé insuportable. És important assenyalar que aquesta variable la va registrar el mateix avaluador, un jugador cada vegada, en un lloc aïllat, sense influència d'altres jugadors.

Marcadors sanguinis

Es van extreure mostres de 5 ml de sang de la vena antecubital en tubs heparinitzats (Becton Dickinson, Franklin Lakes, EUA). Les mostres es van centrifugar (1370 g durant 10 min a 4 °C) i el plasma recollit es va al·luitar i es va emmagatzemar a -20 °C. Els nivells d'IL-6 i TNF-α es van determinar per enzimoinmunoanàlisi d'adsorció (ELISA) amb kits comercials, segons les instruccions del fabricant (IL-6; equip BD OptEIA Human IL6 ELISA, n. cat. 555220; TNF-α; equip BD OptEIA Human TNF ELISA, n. cat. 555212, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, EUA). Els PAOP es van calcular pels nivells plasmàtics de cloramines, que són productes finals derivats de l'oxidació proteica per HOCl, el principal producte d'activitat dels neutròfils durant la inflamació, per la seva reacció amb KI. La reacció final produeix un compost de color, que es detecta a 340 nm per espectrofotometria (Witko-Sarsat et al., 1996). Les concentracions plasmàtiques de CK es van determinar amb un sistema bioquímic automàtic (Dimension EXLTM Chemistry System, Siemens, Munic, Alemanya).

Concentració sanguínia de lactat [Lac]

Es van extreure mostres d'aproximadament 25 µl de sang del lòbul de l'orella per analitzar-ne la [Lac]. Breument, el lòbul de l'orella es va desinfectar amb alcohol al 70 % i es va utilitzar una llanceta metàl·lica d'un sol ús per fer la punció. La sang es va extreure amb capil·lars de vidre heparinitzats i es va transferir immediatament a tubs de microcentrífuga de polietilè d'1.5 ml que contenien 50 µl de fluorur sòdic a l'1 %. Els tubs es van emmagatzemar en un recipient amb gel i després es van congelar en un congelador a -20 °C. L'anàlisi de [Lac] es va dur a terme amb un analitzador electroquímic (YSI 2300 STAT PLUS; Copyright © Yellow Springs, Ohio, EUA), amb un error de mesuratge de ± 2 %.

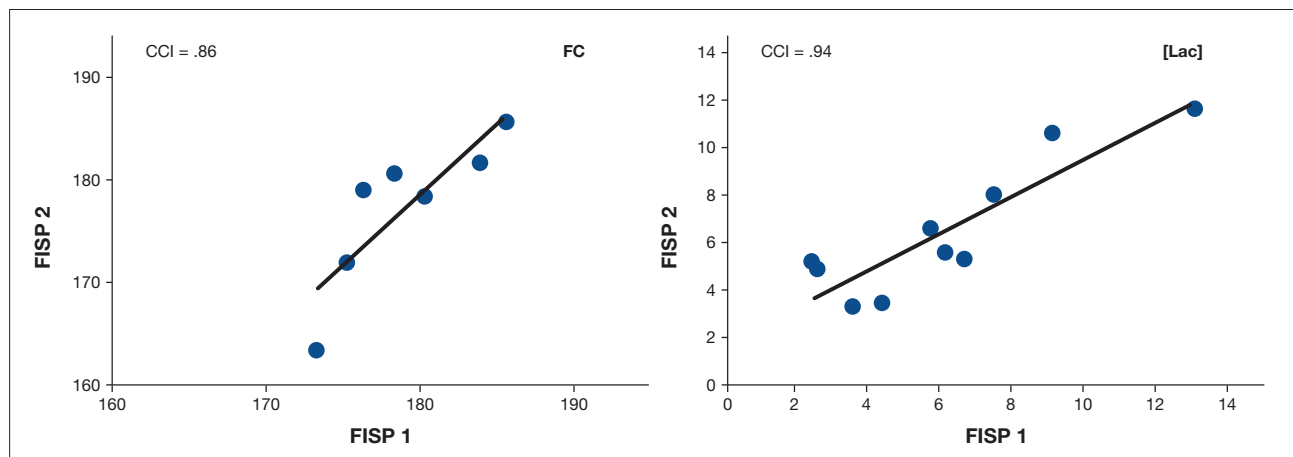
Anàlisi de dades

No es van identificar valors atípics amb la puntuació Z ($Z = (\text{mostra} - \text{mitjana}) / \text{desviació estàndard}$; valors atípics = $Z > 3$). Es va utilitzar el test de Shapiro-Wilk per comprovar la normalitat de les dades. Es van utilitzar proves de la *t* de Student per a dades emparellades per comparar

Taula 2

Freqüència cardíaca (FC) mitjana, percentatge de freqüència cardíaca màxima (% FCmàx) i concentració de lactat [Lac] de quatre blocs/fases del FISP el primer i segon dia de realització i en condicions de LED i placebo.

	FC (batecs/min)	% FCmàx	[Lac] (mmol/L)
FISP dia 1	179.05 ± 4.55	92.84 ± 3.33	6.16 ± 3.26
FISP dia 2	177.24 ± 7.39	91.88 ± 4.06	6.41 ± 2.81
LED	178.95 ± 5.05	92.79 ± 3.75	6.13 ± 2.99
Placebo	177.33 ± 7.09	91.92 ± 3.69	6.43 ± 3.09

**Figura 2**

Coefficient de correlació intraclasse (CCI) de freqüència cardíaca (FC) i concentració de lactat [Lac] del FISP dut a terme el primer (FISP 1) i segon dia (FISP 2).

L'FC mitjana, % FCmàx i [Lac] entre les condicions de LED i placebo. Els resultats en els moments Pre i Post es presenten com a mitjana ± desviació estàndard. Es va utilitzar una tècnica d'equació d'estimació generalitzada (GEE, per les sigles en anglès) amb dos factors (temps i grup) per obtenir comparacions inter-, intra- i d'interacció. Quan es van trobar efectes, es va fer una comparació per parells amb ajust de Bonferroni. Es va utilitzar el CCI per comprovar la reproductibilitat de l'FC i la [Lac] es va mesurar a la primera i segona realització del FISP. El CCI es va interpretar utilitzant els llindars següents: .1 a .29 petit, .30 a .49 moderat, .50 a .69 gran, .70 a .89 molt gran i .90 a 1, quasi perfecte (Hopkins, W.G., 2002). Totes les anàlisis es van dur a terme amb IBM® SPSS® per a Windows versió 20.0. El nivell de significació adoptat va ser de $p < .05$.

Resultats

Els jugadors van presentar una FCmàx de 194 ± 5 batecs/min al test YO-YOIR1. L'FC mitjana i el % FCmàx ($n = 7$; Taula 2) van ser similars en tots dos FISP, analitzats de manera independent del tractament aplicat ($p = .31$; $p = .30$, respectivament), i en comparar LED amb placebo ($p = .58$; $p = .61$, respectivament). Tres participants no es van incloure

a l'anàlisi de l'FC per errors tècnics associats amb el registre de l'FC. La [Lac] mitjana obtinguda al FISP (Taula 2) va ser similar a la primera i la segona tanda, analitzada de manera independent al tractament dut a terme ($p = .61$) i quan es van comparar LED i placebo ($p = .86$). El CCI de l'FC va ser molt gran i el de la [Lac] quasi perfecte (Figura 2).

Per a CMJ i IL-6, la GEE no va demostrar efectes d'interacció o grup ($p > .05$), però va mostrar un efecte de temps ($p < .01$; Taula 3). Les comparacions per parells van mostrar que els valors del CMJ van ser millors en el moment Post ($p < .01$) i 24 hores després ($p = .01$) comparat amb Pre, i que els valors Post no van ser diferents a les 24 hores ($p = 1$). La concentració sanguínia d'IL-6 va augmentar en el moment Post comparat amb Pre ($p < .01$) i el valor d'IL-6 a les 24 hores va ser menor que en Post ($p = .04$), però no diferent de Pre ($p = 1$), dada que suggereix que l'IL-6 va tornar a valors Pre a les 24 hores del FISP. Per a CK, la GEE va mostrar efectes d'interacció i temps, però no de grup (Taula 3). Les comparacions per parells van mostrar un augment de CK amb placebo ($p < .01$) i LED ($p < .01$) en el moment Post comparat amb Pre. Tot i així, no es van observar diferències en cap grup quan es va comparar el moment 24 h amb Pre i Post ($p > .05$). Per a dolor muscular, TNF- α i PAOP, la GEE no va demostrar efectes d'interacció, temps o grup ($p > .05$; Taula 3).

Taula 3

Valors i comparacions inter-, intra- i d'interacció de salt amb contramoviment (CMJ), dolor muscular percebut, creatina cinasa (CK), interleucina-6 (IL-6), factor de necrosi tumoral-alfa (TNF- α) i productes avançats d'oxidació de proteïnes (PAOP) dels grups de placebo i LED en els moments Pre, Post i 24 h.

	Grups	Pre	Post	24 h	Diferència mitjana Post - Pre (IC 95 %)	Diferència mitjana 24 h - Pre (IC 95 %)	Diferència mitjana 24 h - Post (IC 95 %)	<i>p</i> Grup	<i>p</i> Temps	<i>p</i> Inter.
		Mitjana $\pm$ DE	Mitjana $\pm$ DE	Mitjana $\pm$ DE						
CMJ	Placebo	41.80 $\pm$ 3.90	39.46 $\pm$ 3.22*	39.70 $\pm$ 3.52**	-2.34 (-3.58; -1.10)	-2.10 (-4.43; 0.23)	0.24 (-2.01; 2.49)	.97	< .01	.86
	LED	41.63 $\pm$ 3.00	39.61 $\pm$ 3.45*	39.87 $\pm$ 4.20**	-2.01 (-3.12; -0.90)	-1.76 (-3.89; 0.37)	0.26 (-2.65; 3.16)			
Dolor	Placebo	0.80 $\pm$ 1.23	1.00 $\pm$ 1.33	0.20 $\pm$ 0.63	0.41 (-0.23; 1.06)	-0.02 (-1.74; 1.69)	-0.44 (-1.72; 0.85)	.26	.06	.83
	LED	0.40 $\pm$ 0.70	0.95 $\pm$ 1.07	0.70 $\pm$ 1.03	0.63 (-0.65; 1.92)	0.15 (-1.38; 1.67)	-0.49 (-1.54; 0.56)			
CK	Placebo	98.30 $\pm$ 33.03	135.30 $\pm$ 48.81 ^ψ	170.30 $\pm$ 139.44	37.00 (17.66; 56.34)	72.00 (-22.06; 166.06)	35.00 (-43.42; 113.42)	.82	< .01	< .01
	LED	95.90 $\pm$ 33.66	144.40 $\pm$ 57.47 ^ψ	143.70 $\pm$ 89.79	48.50 (27.89; 69.11)	47.80 (-2.67; 98.27)	-0.70 (-35.66; 34.26)			
IL-6	Placebo	18.79 $\pm$ 6.81	20.59 $\pm$ 7.26*	19.49 $\pm$ 7.49 [#]	1.80 (0.09; 3.50)	0.70 (-1.85; 3.25)	-1.10 (-3.39; 1.20)	.87	< .01	.55
	LED	20.01 $\pm$ 9.85	21.30 $\pm$ 9.40*	19.31 $\pm$ 8.49 [#]	1.29 (-0.49; 3.06)	-0.70 (-2.55; 1.15)	-1.99 (-3.84; -0.14)			
TNF- α	Placebo	23.82 $\pm$ 3.93	23.80 $\pm$ 4.18	23.15 $\pm$ 4.44	-0.03 (-1.98; 1.93)	-0.68 (-2.28; 0.93)	-0.65 (-3.00; 1.69)	.92	.65	.85
	LED	23.91 $\pm$ 8.43	23.91 $\pm$ 7.47	23.75 $\pm$ 8.04	0.01 (-1.16; 1.17)	-0.16 (-1.72; 1.39)	-0.17 (-1.61; 1.27)			
PAOP	Placebo	2.34 $\pm$ 0.71	2.35 $\pm$ 1.02	2.03 $\pm$ 0.80	0.00 (-0.89; 0.90)	0.31 (-1.06; 0.44)	-0.32 (-1.38; 0.75)	.25	.71	.57
	LED	2.06 $\pm$ 0.80	1.79 $\pm$ 0.67	2.03 $\pm$ 0.71	-0.27 (-0.93; 0.39)	-0.03 (-0.81; 0.75)	0.24 (-0.42; 0.89)			

Nota. Significativament diferent de Pre amb efecte de temps (* $p < .01$; ** $p < .05$); significativament diferent de Post amb efecte de temps (# $p < .05$); significativament diferent de Pre dins del mateix grup (α $p < .01$).

Discussió

La hipòtesi plantejada en aquest estudi va ser que la teràpia amb LED podria atenuar l'empitjorament en marcadors de rendiment físic, dany muscular, inflamació i estrès oxidatiu de jugadors de futbol sala fins a 24 hores després del FISP. És important assenyalar que, a diferència del que s'esperava, només el CMJ va empitjorar 24 hores després del FISP. Els principals resultats observats van ser que la teràpia amb LED va ser efectiva per canviar el patró de la CK després del FISP. No obstant això, no es van observar altres efectes positius.

L'atenuació de l'augment en sang de l'activitat de CK és un dels efectes positius més probables de la fototeràpia publicats en la literatura (Nampo et al., 2016). En el present estudi, la teràpia amb LED va canviar el patró de la CK després del FISP, dada que es corrobora amb un estudi previ que va mostrar una atenuació de l'augment en sang de l'activitat de CK després i 48 hores després de partits de futbol sala (De Marchi et al., 2019). Encara que les comparacions per parells no van mostrar efectes a les 24 hores en comparació amb els moments Pre o Post, és possible observar que els valors de CK van continuar elevats després de placebo, mentre que aquest patró no es va observar després de LED, i possiblement contribueix en l'efecte d'interacció trobat. Encara no és clar el mecanisme relacionat amb la capacitat de LED de reduir la CK (Nampo et al., 2016). Tot i això, és possible que LED atenuï les ROS generades després de l'exercici (que no es va reflectir en canvis als PAOP) i augmenti la reserva muscular d'ATP (Hayworth et al., 2010), atenuant el DMIE. És important assenyalar que l'augment de CK descrit al present estudi va ser menor que l'elevació descrita en atletes 24-72 hores després de l'exercici (~400 %) (Brancaccio et al., 2010). És possible que les exigències metabòliques i físiques del FISP no fossin suficients per promoure nivells elevats de mal muscular en jugadors de futbol sala ben entrenats (De Freitas et al., 2017). A més, podria existir un límit en la intensitat que pot suportar el teixit muscular i aquest límit podria ser inferior en participants mal preparats en comparació amb subjectes ben preparats (Brancaccio et al., 2010). Per tant, en jugadors de futbol sala, les exigències físiques del FISP i, per consegüent, dels partits de futbol sala no promouen un gran DMIE. Una altra possibilitat podria ser que 24 hores no fos temps suficient perquè es produís l'alliberament màxim de CK a la circulació sanguínia (Brancaccio et al., 2010). No obstant això, en alguns estudis s'ha demostrat que l'alliberament màxim de CK es produeix 24 hores després de partits de futbol (Magalhaes et al., 2010; Russell et al., 2015), dada que suggereix que el moment de recollida de dades del present estudi va ser suficient per detectar signes de dany muscular. Encara que la falta de mesuraments a les 48 i 72 hores podria ser una limitació d'aquest estudi, en la pràctica és difícil de dur a terme, a causa de les rutines setmanals d'entrenament dels atletes. Per tant, s'anima que en futurs estudis s'analitzi

l'efecte de la fototeràpia en l'activitat de CK en sang fins a 72 hores després d'un exercici amb exigències físiques i metabòliques elevades. Fins ara, s'han descrit els efectes beneficiosos de la fototeràpia per reduir l'elevació de CK en sang de jugadors de futbol sala, fins i tot encara que es mostri només un lleuger augment d'aquesta variable.

Segons els nostres coneixements, aquest és el primer estudi que investiga els efectes de LED en el rendiment del CMJ de jugadors de futbol sala que van fer els esforços d'un partit simulat. Malgrat l'efecte de LED en la CK, els resultats observats no suggereixen un efecte positiu de LED sobre el rendiment en el CMJ. És important assenyalar que una reducció de ~4-5 % en el CMJ després i 24 hores després del FISP, descrit en el present estudi, concordava amb resultats publicats prèviament (De Freitas et al., 2017; Freitas et al., 2014). A diferència dels resultats trobats, en un estudi previ es va observar un petit efecte beneficiós de la fotobiomodulació en el rendiment del CMJ de jugadors de futbol *amateurs* (Dornelles et al., 2019). No obstant això, el present estudi es va dur a terme amb jugadors de futbol sala professionals i és possible que mecanismes diferents al baix nivell de mal muscular, com fatiga central (Milioni et al., 2016), per exemple, podrien ser la causa del rendiment alterat observat en jugadors de futbol sala ben entrenats sotmesos a un esforç comú com un partit de futbol sala.

Borges et al. (2014) van observar un possible efecte de LED després de l'exercici per atenuar el descens de força muscular isomètrica en subjectes sotmesos a un protocol d'exercicis excèntrics. En aquest estudi, el protocol d'exercicis excèntrics va modificar negativament els marcadors de DMIE (és a dir, dolor muscular percebut i amplitud de moviment) que també es van atenuar amb LED (Borges et al., 2014). En consonància, segons publicacions prèvies (De Freitas et al., 2017), el FISP va augmentar la concentració plasmàtica de CK, però no va canviar els marcadors de dolor muscular percebut, inflamació o estrès oxidatiu. Aquests resultats suggereixen que si el FISP promou un DMIE, el nivell de mal no és suficient per alterar els marcadors de dolor, inflamació i estrès oxidatiu analitzats en el present estudi. En altres esports d'equip, com el futbol, es van observar augmentos en els marcadors de dany muscular, inflamació i estrès oxidatiu 24 hores després dels partits (Magalhaes et al., 2010). Tot i així, la distància coberta en partits de futbol és més gran que la que es recorre en partits de futbol sala (De Oliveira Bueno et al., 2014; Stolen et al., 2005), dada que suggereix exigències metabòliques més altes en futbol que en futbol sala. Per tant, animem a dur a terme nous estudis per investigar l'efecte de LED en subjectes que fan exercicis amb exigència metabòlica alta, que comporta nivells alts de DMIE. A més, encara que la característica invasiva dificulta obtenir extraccions de mostres de sang freqüents en atletes professionals, això podria ser interessant en futurs estudis perquè alguns marcadors, com la inflamació i l'estrès

oxidatiu, per exemple, presenten temps diferents de secreció i extracció de la sang (Brancaccio et al., 2010).

L'ús del FISP per estudiar mètodes de recuperació podria ser avantatjós perquè imposa un esforç similar a tots els subjectes. En el present estudi, els valors d'FC i % FCmàx monitorats durant el FISP als grups de LED i placebo van ser similars. Els valors d'aquestes variables (FC, ~177-179 batecs/min; % FCmàx, ~91-92 %) van ser similars als descrits en estudis previs durant partits de futbol sala simulats i oficials (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; De Freitas et al., 2017). Aquests resultats van estar en concordança amb la [Lac], que no va mostrar valors diferents quan es van comparar LED i placebo, i els valors descrits en el present estudi (~6-6.5 mmol/L) eren a prop dels valors descrits prèviament (Castagna et al., 2009). A més, els valors d'FC, % FCmàx i [Lac] van ser similars quan es van comparar els dos moments de realització del FISP (amb independència dels mètodes d'intervenció), i els CCI d'FC i [Lac] van ser molt grans i gairebé perfectes, respectivament. Aquests resultats podrien confirmar que els jugadors es van sotmetre a esforços físics similars durant els dos FISP i que van ser similars a l'esforç físic dels partits oficials de futbol sala.

La dosi de tractament aplicada en el present estudi va estar en consonància amb revisions sistemàtiques prèvies, dada que suggereix un efecte positiu de la fototeràpia (Leal-Junior et al., 2015; Vanin et al., 2018). Tot i així, es va publicar una actualització sobre la finestra terapèutica en grups de grans músculs, que suggereixen que es va recomanar una dosi gran, després de la recollida de dades del present estudi (Leal-Junior et al., 2019). Per tant, la dependència dosi-resposta de l'efecte de LED (Leal-Junior et al., 2015) podria ser una possible explicació del limitat efecte trobat per a aquest tractament. D'altra banda, en el present estudi, la teràpia amb LED va produir un efecte en la CK, dada que suggereix que la dosi aplicada va ser efectiva per a aquesta variable. En futurs estudis s'hauria d'investigar si es necessiten dosis altes de LED per canviar els marcadors de rendiment físic, dolor muscular, inflamació i estrès oxidatiu. Creiem que els principals resultats observats van ser una conseqüència del baix nivell de dany muscular induït pel FISP en jugadors de futbol sala ben entrenats.

El nombre de participants podria ser un possible factor limitant per als resultats observats en el present estudi. Per desgràcia, el nombre de jugadors en un equip de futbol sala és limitat i és difícil reclutar jugadors de diferents equips, per les rutines i pautes d'entrenament de cada equip. És important destacar que prèviament es va utilitzar una mostra de grandària més petita per mostrar l'efecte protector muscular de la fototeràpia aplicada abans de partits de futbol sala (De Marchi et al., 2019). No obstant això, suposem que, per tenir un millor coneixement dels resultats observats en el present estudi, es podria necessitar una mostra de grandària gran i, per tant, en futures recerques s'hauria de definir la

grandària de la mostra. En el present estudi es van controlar altres punts per reduir el risc de biaix, com l'aleatorització dels participants en els dos grups, l'emascament dels participants, la presència de placebo i el disseny creuat de l'estudi, factors que s'han de considerar en la interpretació dels resultats observats.

Conclusió

En conclusió, la teràpia amb LED aplicada en aquest estudi va ser efectiva per canviar el patró de la CK, però no va canviar els marcadors de rendiment físic, dolor muscular, inflamació o estrès oxidatiu de jugadors de futbol sala fins 24 hores després del FISP. Sembla que l'ús de LED com a mètode de recuperació en jugadors de futbol sala ben entrenats després del partit va mostrar uns efectes limitats, pel fet que, aparentment, l'esforç del futbol sala en aquests jugadors no promou augmentos importants dels marcadors associats al DMIE. Davant els efectes positius publicats prèviament, l'efecte de la fototeràpia podria ser més pronunciat amb una dosi diferent, una mostra diferent, un nivell diferent de capacitat d'entrenament, diferents moments de mesurament i en partits jugats en dies consecutius, que s'haurien d'examinar en estudis futurs.

Agraïments

Volem donar les gràcies al professor Fábio Yuzo Nakamura per tota la contribució intel·lectual. Volem agrair a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, l'aportació de fons per a aquest estudi.

Referències

- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med*, 38(1), 37-51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>
- Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *J Sports Sci*, 26(1), 63-73. <https://doi.org/10.1080/02640410701287289>
- Borges, L. S., Cerqueira, M. S., Dos Santos Rocha, J. A., Conrado, L. A., Machado, M., Pereira, R., & Pinto Neto, O. (2014). Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. *Lasers Med Sci*, 29(3), 1139-1144. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1486-z>
- Brancaccio, P., Lippi, G., & Maffulli, N. (2010). Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med*, 48(6), 757-767. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.179>
- Castagna, C., D'Ottavio, S., Granda Vera, J., & Barbero-Alvarez, J. C. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *J Sci Med Sport*, 12(4), 490-494. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.02.001>
- Cook, D. B., O'Connor, P. J., Oliver, S. E., & Lee, Y. (1998). Sex differences in naturally occurring leg muscle pain and exertion during maximal cycle ergometry. *Int J Neurosci*, 95(3-4), 183-202. <https://doi.org/10.3109/00207459809003340>
- Dal Pupo, J., Detanico, D., & Santos, S. G. (2014). The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on isokinetic knee torque production. *Sports Biomech*, 13(4), 332-340. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.981202>

- De Freitas, V. H., Ramos, S. P., Leicht, A., Alves, T., Rabelo, F., Bara-Filho, M. G., Guarnier, F. A., & Nakamura, F. Y. (2017). Validation of the futsal-specific intermittent shuttle protocol for the simulation of the physical demands of futsal match-play. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(6), 1-14. <https://doi.org/10.1080/24748668.2017.1409499>
- De Marchi, T., Leal-Junior, E. C. P., Lando, K. C., Cimadon, F., Vanin, A. A., Da Rosa, D. P., & Salvador, M. (2019). Photobiomodulation therapy before futsal matches improves the staying time of athletes in the court and accelerates post-exercise recovery. *Lasers Med Sci*, 34(1), 139-148. <https://doi.org/10.1007/s10103-018-2643-1>
- De Moura, N. R., Cury-Boaventura, M. F., Santos, V. C., Levada-Pires, A. C., Bortolon, J., Fiamoncini, J., Pithon-Curi, T. C., Curi, R., & Hatanaka, E. (2012). Inflammatory response and neutrophil functions in players after a futsal match. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2507-2514. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f29b5>
- De Oliveira Bueno, M. J., Caetano, F. G., Pereira, T. J., De Souza, N. M., Moreira, G. D., Nakamura, F. Y., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2014). Analysis of the distance covered by Brazilian professional futsal players during official matches. *Sports Biomech*, 13(3), 230-240. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.958872>
- Dornelles, M. P., Fritsch, C. G., Sonda, F. C., Johnson, D. S., Leal-Junior, E. C. P., Vaz, M. A., & Baroni, B. M. (2019). Photobiomodulation therapy as a tool to prevent hamstring strain injuries by reducing soccer-induced fatigue on hamstring muscles. *Lasers Med Sci*, 34(6), 1177-1184. <https://doi.org/10.1007/s10103-018-02709-w>
- Freitas, V. H., De Souza, E. A., Oliveira, R. S., Pereira, L. A., & Nakamura, F. Y. (2014). Effect of four successive days of games in muscle power, perceived stress and recovery in futsal players. *Rev Bras Educ Fís Esporte*, 28(1), 23-30. <https://doi.org/10.1590/S1807-55092014005000002>
- Hayworth, C. R., Rojas, J. C., Padilla, E., Holmes, G. M., Sheridan, E. C., & Gonzalez-Lima, F. (2010). In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. *Photochem Photobiol*, 86(3), 673-680. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2010.00732.x>
- Hopkins, W. G. (2002). A Scale of Magnitudes for Effect Statistics. <https://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>
- Leal-Junior, E. C., Vanin, A. A., Miranda, E. F., de Carvalho Pde, T., Dal Corso, S., & Bjordal, J. M. (2015). Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 30(2), 925-939. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1465-4>
- Leal-Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., & Bjordal, J. M. (2019). Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. *Braz J Phys Ther*, 23(1), 71-75. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.12.002>
- Magalhaes, J., Rebelo, A., Oliveira, E., Silva, J. R., Marques, F., & Ascensao, A. (2010). Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *Eur J Appl Physiol*, 108(1), 39-48. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1161-z>
- Milioni, F., Vieira, L. H., Barbieri, R. A., Zagatto, A. M., Nordsborg, N. B., Barbieri, F. A., Dos-Santos, J. W., Santiago, P. R., & Papoti, M. (2016). Futsal Match-Related Fatigue Affects Running Performance and Neuromuscular Parameters but Not Finishing Kick Speed or Accuracy. *Front Physiol*, 7, 518. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00518>
- Nampo, F. K., Cavalheri, V., Ramos, S. P., & Camargo, E. A. (2016). Effect of low-level phototherapy on delayed onset muscle soreness: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 31(1), 165-177. <https://doi.org/10.1007/s10103-015-1832-4>
- Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and Physiological demands of futsal. In *Journal of Exercise Science and Fitness* (Vol. 15, Issue 2, pp. 76-80). Elsevier (Singapore) Pte Ltd. <http://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.09.001>
- Russell, M., Northeast, J., Atkinson, G., Shearer, D. A., Sparkes, W., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2015). Between-Match Variability of Peak Power Output and Creatine Kinase Responses to Soccer Match-Play. *J Strength Cond Res*, 29(8), 2079-2085. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000852>
- Sattler, T., Sekulic, D., Hadzic, V., Uljevic, O., & Dervisevic, E. (2012). Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity, and playing-position specifics. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1532-1538. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e838>
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Vanin, A. A., Verhagen, E., Barboza, S. D., Costa, L. O. P., & Leal-Junior, E. C. P. (2018). Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 33(1), 181-214. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2368-6>
- Witko-Sarsat, V., Friedlander, M., Capeillere-Blandin, C., Nguyen-Khoa, T., Nguyen, A. T., Zingraff, J., Jungers, P., & Descamps-Latscha, B. (1996). Advanced oxidation protein products as a novel marker of oxidative stress in uremia. *Kidney Int*, 49(5), 1304-1313. <https://doi.org/10.1038/ki.1996.186>

Conflicte d'interessos: les autories no han comunicat cap conflicte d'interessos.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Aquest article està disponible a la url <https://www.revista-apunts.com/ca/>. Aquest treball està publicat sota una llicència Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Les imatges o qualsevol altre material de tercers d'aquest article estan incloses a la llicència Creative Commons de l'article, tret que s'indiqui el contrari a la línia de crèdit; si el material no s'inclou sota la llicència Creative Commons, els usuaris hauran d'obtenir el permís del titular de la llicència per reproduir el material. Per veure una còpia d'aquesta llicència, visiteu <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>