








Efectos de la terapia con diodos emisores de luz en la recuperación de jugadores de fútbol sala masculino

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

1. Departamento de Educación Física, Universidad Federal de Bahía (Brasil).
2. Departamento de Patología General, Universidad Estatal de Londrina, Londrina (Brasil).
3. Departamento de Educación Física, Universidad Norte de Paraná, Londrina (Brasil).
4. Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias, Universidad Estatal de São Paulo (UNESP), Bauru, São Paulo (Brasil).
5. Departamento de Histología, Universidad Estatal de Londrina, Londrina (Brasil).

Citación

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)

Editado por:

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

ISSN: 2014-0983

*Correspondencia:

Solange de Paula Ramos*
solangedepaularamos@gmail.com

Sección:

Entrenamiento deportivo

Idioma del original:

Inglés

Recibido:

6 de agosto de 2020

Aceptado:

30 de abril de 2021

Publicado:

1 de octubre de 2021

Portada:

Juegos Olímpicos de Tokio
2020 – Taekwondo: Peso mosca
femenino 49 kg. Combate por la
medalla de oro. Adriana Cerezo
Iglesias (España) contra Panipak
Wongphatthanakit (Tailandia).
Makuhari Messe Hall, Chiba
(Japón) 24.07.2021. REUTERS /
Murad Sezer

Resumen

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la terapia con diodos emisores de luz (LED) en los marcadores de rendimiento físico, daño muscular, inflamación y estrés oxidativo hasta 24 horas después del protocolo de carrera intermitente específico para fútbol sala (Futsal-Specific Intermittent Shuttle Protocol, FISP). Diez jugadores de fútbol sala adultos realizaron el FISP con siete días de diferencia. Los participantes fueron aleatorizados en dos grupos que recibieron LED (630 nm; 300 mW; 4.6 J/cm², 6 J por punto, 120 J en cada muslo) o placebo. Durante los FISP se determinaron la frecuencia cardíaca (FC) y la concentración sanguínea de lactato [Lac]. Se recogieron muestras de sangre para analizar la creatina cinasa (CK), interleucina-6 (IL-6), factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y productos avanzados de la oxidación de proteínas (PAOP), y el salto con contramovimiento (CMJ, por sus siglas en inglés) y el dolor muscular percibido se evaluaron antes (Pre), después (Post) y 24 horas después (24 h) del FISP. Los grupos de LED y placebo presentaron valores medios similares de FC ($p = .58$) y [Lac] ($p = .86$) durante los FISP. Se observaron efectos de interacción ($p < .01$) y tiempo ($p < .01$) en la CK, con un aumento de CK con placebo ($p < .01$) y LED ($p < .01$) en el momento Post comparado con el Pre. Se observó un efecto de tiempo en el CMJ ($p < .01$) y la IL-6 ($p < .01$); el CMJ presentó valores más bajos en el momento Post ($p < .01$) y 24 h ($p = .01$) comparado con Pre, y la IL-6 aumentó en el momento Post comparado con Pre ($p < .01$) y volvió a valores Pre 24 h después del FISP. No se comunicaron efectos de interacción, tiempo y grupo en relación con el dolor muscular, el TNF- α o los PAOP ($p > .05$). En conclusión, la terapia con LED alteró el patrón de la CK después del FISP, pero no cambió los marcadores de rendimiento físico, dolor muscular, inflamación o estrés oxidativo de jugadores de fútbol sala hasta 24 horas después del FISP.

Palabras clave: daño muscular, deportes de equipo, fotobiomodulación, fototerapia.

Introducción

El fútbol sala es un deporte de equipo, en el que los jugadores cubren un 15 % de la distancia total (~3000-4000 m) a velocidades de alta intensidad (es decir, >18.3 km/h) (De Oliveira Bueno et al., 2014) y presentan valores de frecuencia cardíaca (FC) próximos al 86-90 % de la FC máxima (FC_{máx}) durante un partido (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009). Además, durante los partidos se pueden producir esprints constantes, paradas súbitas, aceleraciones, cambios de dirección y finalizaciones (Naser et al., 2017). Como consecuencia de las exigencias físicas y fisiológicas de alta intensidad, en estudios previos se han descrito descensos del rendimiento físico durante los partidos, demostrados por una menor distancia cubierta a alta intensidad en la segunda parte comparada con la primera (Barbero-Alvarez et al., 2008; De Oliveira Bueno et al., 2014; Milioni et al., 2016) y una alteración de la torsión del flexor y extensor de la rodilla y de la potencia muscular de las extremidades inferiores (deducido por el test de salto con contramovimiento [CMJJ]) inmediatamente (Dal Pupo et al., 2014) y hasta 24 horas después del partido (De Freitas et al., 2017). Cuando se juegan partidos consecutivos, también se observa el mismo fenómeno en los días posteriores (Freitas et al., 2014).

El daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE) se relaciona con frecuencia con una alteración del rendimiento inmediatamente después y durante días después de un partido de fútbol sala (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012; Freitas et al., 2014). En estudios previos se ha descrito un aumento de daño muscular, inflamación y estrés oxidativo, manifestado por aumentos en suero de las actividades de creatina cinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012), en los niveles de interleucina 6 (IL-6) y proteína C-reactiva (PCR) (De Moura et al., 2012) y proteína carbonilada (PC) (De Marchi et al., 2019) inmediatamente después y 48 horas después de un partido de fútbol sala. En este sentido, las estrategias que aceleran la recuperación del DMIE y del rendimiento físico son útiles para ayudar a los jugadores de fútbol sala a reducir los síntomas de fatiga, que se traduce en la inmediata disponibilidad de los deportistas para sesiones de entrenamiento o competiciones los días siguientes a los partidos.

Recientemente se ha sugerido el uso de fototerapia en el deporte, con el principal objetivo de impulsar efectos ergogénicos, aumentar el rendimiento físico durante el ejercicio y, como método de recuperación después de ejercicios de alta intensidad, reducir el DMIE en atletas de deportes individuales y de equipo (Leal-Junior et al., 2015; Leal-Junior et al., 2019; Vanin et al., 2018). La fototerapia consiste en aplicar luz de longitudes de onda de rojo a infrarrojo cercano emitida por láser de baja densidad (láser) o diodos emisores de luz (LED) (Leal-Junior et al., 2019). La fototerapia estimula células fotorreceptoras en la cadena respiratoria mitocondrial del músculo esquelético, especialmente la enzima citocromo

C-oxidasa (Hayworth et al., 2010). En consecuencia, se puede observar una mejoría en la transferencia de electrones en la membrana mitocondrial interna, se reduce la formación elevada de especies reactivas de oxígeno (ROS) y aumenta la reserva intracelular resultante de trifosfato de adenosina (ATP) (Hayworth et al., 2010). La mejoría en la producción total de ATP en el músculo esquelético proporciona más energía disponible a la función muscular, atenuando el DMIE. En un estudio previo se sugirió que la fototerapia aplicada antes de los partidos de fútbol sala promovía un efecto protector muscular, reduciendo los marcadores de daño muscular (es decir, CK y LDH) y estrés oxidativo (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico [SRATB] y PC) de jugadores de fútbol sala después y 48 horas después de los partidos (De Marchi et al., 2019). Sin embargo, no se ha publicado si la fototerapia aplicada después de los partidos podría ser efectiva para acelerar la recuperación de jugadores de fútbol sala. Además, hasta ahora, siguen sin conocerse los efectos de la fototerapia en la recuperación de marcadores de jugadores de fútbol sala, como el rendimiento físico, hasta 24 horas después de los partidos. Esta información podría ayudar a los entrenadores principalmente en torneos cortos, donde el intervalo entre partidos es de aproximadamente 24 horas (Freitas et al., 2014).

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la terapia con LED en marcadores de rendimiento físico, daño muscular, inflamación y estrés oxidativo hasta 24 horas después de un protocolo de ejercicios que simula las exigencias físicas de disputar un partido de fútbol sala. Para justificar el objetivo, planteamos la hipótesis de que el protocolo de ejercicios podía afectar negativamente a los marcadores asociados a DMIE de jugadores de fútbol sala, de forma similar a los después de un partido de fútbol sala (De Marchi et al., 2019; De Moura et al., 2012), y que LED podría atenuar estos efectos negativos.

Metodología

Participantes

En el presente estudio participaron 10 jugadores de campo (edad 23.5 ± 7.8 años, estatura 174.3 ± 6.1 cm, y peso 69.1 ± 3.8 kg) de un equipo de fútbol sala adulto. Este equipo ocupaba la segunda posición de la división de ascenso a primera división de un campeonato estatal de fútbol sala. La muestra se seleccionó por conveniencia debido al número limitado de jugadores en un equipo de fútbol sala y a los problemas para encontrar diferentes equipos con la misma rutina y calendario de entrenamiento y con disponibilidad. Los criterios de inclusión fueron: jugar en el equipo incluido en el presente estudio y haber practicado fútbol sala durante al menos cuatro años. Todos los jugadores estaban sanos, sin lesiones e informaron no haber consumido sustancias ergogénicas ni antiinflamatorios en el momento del experimento. Además, se indicó a todos los jugadores

voluntarios que no consumieran alcohol ni alimentos con cafeína durante al menos las 24 horas previas a la realización de los procedimientos experimentales. La ingesta dietética no fue guiada por un nutricionista y no se realizó ningún recuerdo dietético; sin embargo, se indicó a los jugadores que comieran regularmente y que se hidrataran con frecuencia de forma voluntaria y libremente. Los procedimientos experimentales se realizaron a mediados de la temporada de competición, en un momento de pausa en el calendario competitivo. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos de la Universidad Estatal de Londrina (CAAE: 39519414.4.0000.5231; código otorgado: 930.218), de conformidad con las normas reguladoras establecidas por el Consejo Nacional de Salud y de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Procedimientos

Para simular las exigencias físicas de un partido de fútbol sala, los jugadores realizaron el protocolo de carrera intermitente específico para fútbol sala (FISP) (De Freitas et al., 2017). El FISP es un protocolo de ejercicios válido, que permite a los jugadores someterse de forma homogénea a las exigencias físicas de los partidos de fútbol sala. El primer día del experimento, los jugadores llegaron al club a las 9:00 h de la mañana, sin haber hecho ejercicio durante aproximadamente 48 horas, para caracterizar las muestras (medidas antropométricas: peso y estatura). Los jugadores de fútbol sala realizaron el FISP (De Freitas et al., 2017) con siete días de diferencia, a las 14:00 h, en una pista oficial de fútbol sala. Los participantes fueron aleatorizados por sorteo simple en dos grupos a los que se aplicó LED o placebo en un diseño cruzado (con cinco jugadores sometidos a LED y cinco a placebo el primer día, que se invirtió el segundo día). Aunque se describen efectos de recuperación similares con LED y láser (Vanin et al., 2018), en el presente estudio se prefirió LED (fuente de luz no coherente) por la mayor área focal, que cubre áreas extensas de piel en cada punto de aplicación de la luz. Las condiciones de LED o placebo se aplicaron aproximadamente ~1-35 minutos después de finalizar el FISP y recoger los datos de los jugadores. La FC se monitorizó de forma continua y las muestras de sangre se extrajeron del lóbulo de la oreja después de cada bloque del FISP para analizar la concentración sanguínea de lactato [Lac]. Además, las muestras de sangre se recogieron antes (Pre), inmediatamente después (Post) y 24 horas después (24 h) del FISP para analizar la concentración plasmática de CK, IL-6, factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y productos avanzados de la oxidación de proteínas (PAOP). Antes y 24 horas después del FISP, se extrajo sangre antes del calentamiento. Antes y 24 horas después del FISP, después del calentamiento, e inmediatamente después, se realizó el test de salto con contramovimiento (CMJ) y se monitorizó el dolor muscular percibido. El calentamiento consistió en realizar el

FISP durante cinco minutos con esprints a ~90 % de la velocidad máxima. Este calentamiento también se utilizó para que los jugadores se familiarizaran con el FISP. Para comprobar la frecuencia cardíaca (FC), los jugadores realizaron el nivel 1 del test de recuperación intermitente YO-YO (YO-YOIR1) (Bangsbo et al., 2008) una semana antes del primer FISP, sin haber realizado ejercicio durante aproximadamente 48 horas. Los procedimientos experimentales se realizaron a mediados de la temporada de competición, en un momento de pausa en el calendario competitivo.

Terapia con diodos emisores de luz (LED) o placebo

La terapia con diodos emisores de luz (LED) o placebo se realizó con un equipo comercial (Tabla 1). El equipo se colocó sobre los músculos cuádriceps e isquiotibiales en contacto con la piel, según la Figura 1. En cada punto, se irradiaron 6 J de energía (20 s de aplicación), aplicándose 120 J de energía en total en cada muslo. El procedimiento con placebo se realizó con el aparato apagado, sin conocimiento de los jugadores, dado que los dos grupos (LED y placebo) llevaban un antifaz durante la aplicación del protocolo. LED y placebo se aplicaron en los mismos lugares anatómicos y con una duración similar. La longitud de onda de LED y la energía irradiada se aplicaron según revisiones sistemáticas previas (Leal-Junior et al., 2015; Vanin et al., 2018). Antes de los procedimientos experimentales, a los jugadores de ambos grupos (LED y placebo) se les explicó el efecto de la aplicación de LED, con el fin de convencerlos de que la terapia con LED es efectiva para acelerar la recuperación.

Tabla 1
Parámetros de aplicación de LED.

Aparato: Biostherapy II; BIOS®, São José dos Campos, Brasil
Longitud de onda: 630 nm
Frecuencia de salida: continua
Potencia: 300 mW
Tamaño del haz: 1.32 cm ²
Tiempo de aplicación por punto: 20 s
Número de lugares irradiados: 20 en cada muslo: 5 en el vasto externo, 3 en el vasto interno, 4 en el recto anterior, 4 en el bíceps femoral y 4 en el semitendinoso
Densidad de potencia en cada punto: 227.3 mW/cm ²
Densidad de energía en cada punto: 4.5 J/cm ²
Densidad total de energía en cada muslo: 90.8 J/cm ²

Protocolo de carrera intermitente específico para fútbol sala (FISP)

El FISP consta de cuatro bloques de seis minutos de duración por bloque e intervalos de cinco minutos entre bloques

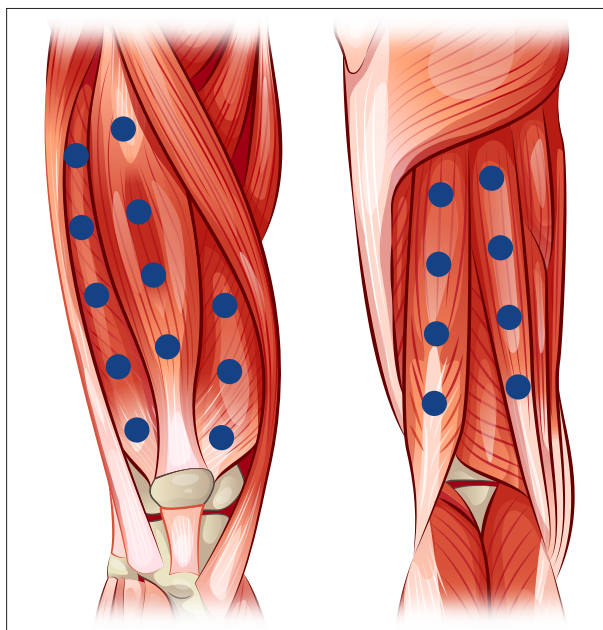


Figura 1
Mapa de aplicación de LED.

(39 minutos en total). La distancia total cubierta por el FISP es de 3600 metros y cada bloque de ejercicios se estructura en seis secuencias de 10 desplazamientos de 15 metros, durante las que los jugadores corren a intensidades diferentes ordenadas por un pitido y un comando de voz. La secuencia de los desplazamientos es: caminar, 5.4 km/h; 2 × carreras de baja intensidad, 9 km/h; esprints, velocidad máxima; 2 × carreras de baja intensidad, 9 km/h; 2 × carreras de intensidad media, 13.5 km/h; carrera de alta intensidad, 18 km/h; caminar, 5.4 km/h. Se ha demostrado que los valores de FC, los cambios en el CMJ, el dolor muscular percibido y los marcadores de recuperación de inflamación y estrés oxidativo en el FISP son similares a los de un partido simulado (De Freitas et al., 2017).

Frecuencia cardíaca (FC)

La FC se monitorizó a intervalos de 1 s con monitores telemétricos (Polar®, RS800, Polar Electro, Finlandia). Se calculó la FC media para los cuatro bloques completos del FISP (24 min = 4 bloques × 6 min). Además, la FC se determinó en el YO-YOIR1 y se consideró que la FC al final del test era la FC máxima (FC_{máx}). También se calculó el porcentaje de FC monitorizada en el FISP, que correspondía a la FC_{máx} (% FC_{máx}).

Test de salto con contramovimiento (CMJ)

El CMJ se realizó utilizando una colchoneta de contacto (Smart Jump®, Fusion Sport, Australia). Los jugadores empezaron el test de pie y realizaron una sentadilla (flexión de ~90° de las rodillas) seguido de un salto con las manos

colocadas sobre las caderas. Los jugadores realizaron tres intentos de CMJ máximo con un descanso de 60 segundos entre los intentos y para el análisis se consideró el salto más alto. El test de CMJ mostró un coeficiente de correlación intraclase (CCI) de 0.97 (Sattler et al., 2012).

Dolor muscular percibido

El dolor muscular se evaluó con una escala categórica (0-10) de dolor (Cook et al., 1998). Los jugadores realizaron una flexión de rodillas de ~90° antes de comunicar el dolor muscular en una escala; 0 representa ningún dolor y 10, dolor sumamente intenso, casi insoportable. Es importante señalar que esta variable fue registrada por el mismo evaluador, un jugador cada vez, en un lugar aislado, sin influencia de otros jugadores.

Marcadores sanguíneos

Se extrajeron muestras de 5 ml de sangre de la vena antecubital en tubos heparinizados (Becton Dickinson, Franklin Lakes, EE. UU.). Las muestras se centrifugaron (1370 g durante 10 min a 4 °C) y el plasma recogido se alicuotó y almacenó a -20 °C. Los niveles de IL-6 y TNF- α se determinaron por enzimoanálisis de adsorción (ELISA) con kits comerciales, según las instrucciones del fabricante (IL-6; equipo BD OptEIA Human IL6 ELISA, n.o cat. 555220; TNF- α ; equipo BD OptEIA Human TNF ELISA, n.o cat. 555212, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, EE. UU.). Los PAOP se calcularon por los niveles plasmáticos de cloraminas, que son productos finales derivados de la oxidación proteica por HOCl, el principal producto de actividad de los neutrófilos durante la inflamación, por su reacción con KI. La reacción final produce un compuesto de color, que se detecta a 340 nm por espectrofotometría (Witko-Sarsat et al., 1996). Las concentraciones plasmáticas de CK se determinaron con un sistema bioquímico automático (Dimension EXLTM Chemistry System, Siemens, Munich, Alemania).

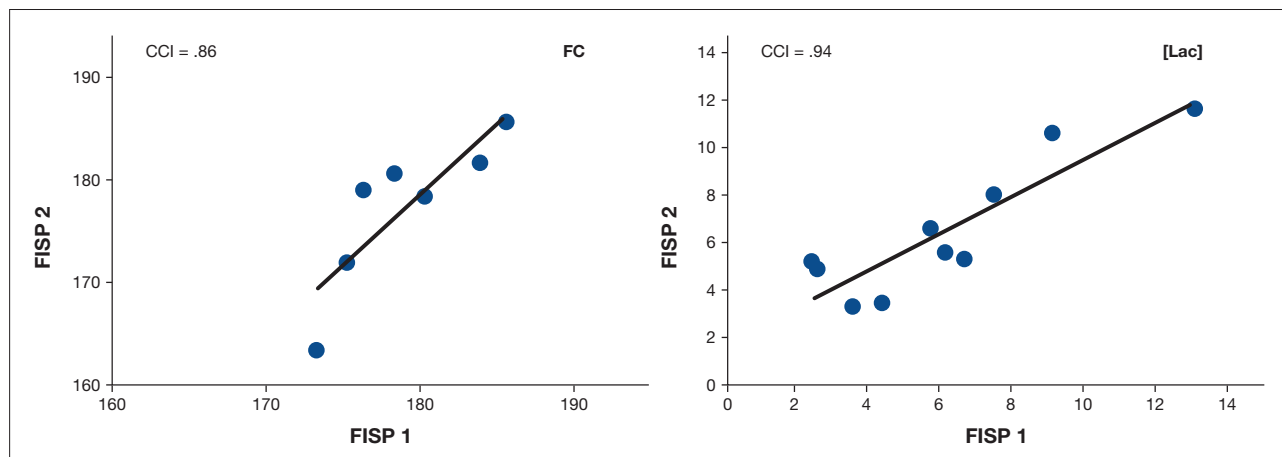
Concentración sanguínea de lactato [Lac]

Se extrajeron muestras de aproximadamente 25 μ l de sangre del lóbulo de la oreja para analizar la [Lac]. Brevemente, el lóbulo de la oreja se desinfectó con alcohol al 70% y se utilizó una lanceta metálica desechable para realizar la punción. La sangre se extrajo con capilares de vidrio heparinizados y se transfirió inmediatamente a tubos de microcentrífuga de polietileno de 1.5 ml que contenían 50 μ l de fluoruro sódico al 1%. Los tubos se almacenaron en un recipiente con hielo y después se congelaron en un congelador a -20 °C. El análisis de [Lac] se realizó con un analizador electroquímico (YSI 2300 STAT PLUS; Copyright © Yellow Springs, Ohio, EE. UU.), con un error de medición de \pm 2 %.

Tabla 2

Frecuencia cardíaca (FC) media, porcentaje de frecuencia cardíaca máxima (% FCmáx) y concentración de lactato [Lac] de cuatro bloques/fases del FISP el primer y segundo día de realización y en condiciones de LED y placebo.

	FC (latidos/min)	% FCmáx	[Lac] (mmol/L)
FISP día 1	179.05 ± 4.55	92.84 ± 3.33	6.16 ± 3.26
FISP día 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**

Coefficiente de correlación intraclass (CCI) de frecuencia cardíaca (FC) y concentración de lactato [Lac] del FISP realizado el primer (FISP 1) y segundo día (FISP 2).

Análisis de datos

No se identificaron valores atípicos con la puntuación Z ($Z = (\text{muestra} - \text{media}) / \text{desviación estándar}$; valores atípicos = $Z > 3$). Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos. Se utilizaron pruebas de la *t* de Student para datos emparejados para comparar la FC media, % FCmáx y [Lac] entre las condiciones de LED y placebo. Los resultados en los momentos Pre y Post se presentan como media ± desviación estándar. Se realizó una técnica de ecuación de estimación generalizada (GEE, por sus siglas en inglés) con dos factores (tiempo y grupo) para obtener comparaciones inter-, intra- y de interacción. Cuando se encontraron efectos, se realizó una comparación por pares con ajuste de Bonferroni. Se utilizó el CCI para comprobar la reproducibilidad de la FC y la [Lac] se midió en la primera y segunda realización del FISP. El CCI se interpretó utilizando los siguientes umbrales: .1 a .29 pequeño, .30 a .49 moderado, .50 a .69 grande, .70 a .89 muy grande y .90 a 1, casi perfecto (Hopkins, W.G., 2002). Todos los análisis se realizaron con IBM® SPSS® para Windows versión 20.0. El nivel de significación adoptado fue de $p < .05$.

Resultados

Los jugadores presentaron una FCmáx de 194 ± 5 latidos/min en el test YO-YOIR1. La FC media y el % FCmáx ($n = 7$; Tabla 2) fueron similares en ambos FISP, analizados de forma

independiente del tratamiento aplicado ($p = .31$; $p = .30$, respectivamente), y al comparar LED con placebo ($p = .58$; $p = .61$, respectivamente). Tres participantes no fueron incluidos en el análisis de la FC por errores técnicos asociados con el registro de la FC. La [Lac] media obtenida en el FISP (Tabla 2) fue similar en la primera y la segunda tanda, analizada de forma independiente del tratamiento realizado ($p = .61$) y cuando se compararon LED y placebo ($p = .86$). El CCI de la FC fue muy grande y el de la [Lac] casi perfecto (Figura 2).

Para CMJ e IL-6, la GEE no demostró efectos de interacción o grupo ($p > .05$), pero mostró un efecto de tiempo ($p < .01$; Tabla 3). Las comparaciones por pares mostraron que los valores del CMJ fueron menores en el momento Post ($p < .01$) y 24 horas después ($p = .01$) comparado con Pre, y que los valores Post no fueron diferentes a las 24 horas ($p = 1$). La concentración sanguínea de IL-6 aumentó en el momento Post comparado con Pre ($p < .01$) y el valor de IL-6 a las 24 horas fue menor que en Post ($p = .04$), pero no diferente de Pre ($p = 1$), dato que sugiere que la IL-6 volvió a valores Pre a las 24 horas del FISP. Para CK, la GEE mostró efectos de interacción y tiempo, pero no de grupo (Tabla 3). Las comparaciones por pares mostraron un aumento de CK con placebo ($p < .01$) y LED ($p < .01$) en el momento Post comparado con Pre. Sin embargo, no se observaron diferencias en ningún grupo cuando se comparó el momento 24 h con Pre y Post ($p > .05$). Para dolor muscular, TNF- α y PAOP, la GEE no demostró efectos de interacción, tiempo o grupo ($p > .05$; Tabla 3).

Tabla 3

Valores y comparaciones inter-, intra- y de interacción de salto con contramovimiento (CMJ), dolor muscular percibido, creatina cinasa (CK), interleucina-6 (IL-6), factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- α) y productos avanzados de oxidación de proteínas (PAOP) de los grupos de placebo y LED en los momentos Pre, Post y 24 h.

	Grupos	Pre	Post	24 h	Diferencia media Post - Pre (IC 95 %)	Diferencia media 24 h - Pre (IC 95 %)	Diferencia media 24 h - Post (IC 95 %)	<i>p</i> Grupo	<i>p</i> Tiempo	<i>p</i> Inter.
		Media \pm DE	Media \pm DE	Media \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. Significativamente diferente de Pre con efecto de tiempo (* $p < .01$; ** $p < .05$); significativamente diferente de Post con efecto de tiempo ([#] $p < .05$); significativamente diferente de Pre dentro del mismo grupo (^ψ $p < .01$).

Discusión

La hipótesis planteada en este estudio fue que la terapia con LED podría atenuar el empeoramiento en marcadores de rendimiento físico, daño muscular, inflamación y estrés oxidativo de jugadores de fútbol sala hasta 24 horas después del FISP. Es importante señalar que, a diferencia de lo que se esperaba, solo el CMJ empeoró 24 horas después del FISP. Los principales resultados observados fueron que la terapia con LED fue efectiva para cambiar el patrón de la CK después del FISP. Sin embargo, no se observaron otros efectos positivos.

La atenuación del aumento en sangre de la actividad de CK es uno de los efectos positivos más probables de la fototerapia publicados en la literatura (Nampo et al., 2016). En el presente estudio, la terapia con LED cambió el patrón de la CK después del FISP, dato que se corrobora con un estudio previo que mostró una atenuación del aumento en sangre de la actividad de CK después y 48 horas después de partidos de fútbol sala (De Marchi et al., 2019). Aunque las comparaciones por pares no mostraron efectos a las 24 horas comparado con los momentos Pre o Post, es posible observar que los valores de CK siguieron elevados después de placebo, mientras que este patrón no se observó después de LED, y posiblemente contribuye en el efecto de interacción encontrado. Aún no está claro el mecanismo relacionado con la capacidad de LED de reducir la CK (Nampo et al., 2016). Sin embargo, es posible que LED atenúe las ROS generadas después del ejercicio (que no se reflejó en cambios en los PAOP) y aumente la reserva muscular de ATP (Hayworth et al., 2010), atenuando el DMIE. Es importante señalar que el aumento de CK descrito en el presente estudio fue menor que la elevación descrita en atletas 24-72 horas después del ejercicio (~400 %) (Brancaccio et al., 2010). Es posible que las exigencias metabólicas y físicas del FISP no fueran suficientes para promover niveles elevados de daño muscular en jugadores de fútbol sala bien entrenados (De Freitas et al., 2017). Además, podría existir un límite en la intensidad que puede soportar el tejido muscular y este límite podría ser inferior en participantes mal preparados en comparación con sujetos bien preparados (Brancaccio et al., 2010). Por tanto, en jugadores de fútbol sala, las exigencias físicas del FISP y, por consiguiente, de los partidos de fútbol sala no promueven un gran DMIE. Otra posibilidad podría ser que 24 horas no fuera tiempo suficiente para que se produjera la liberación máxima de CK a la circulación sanguínea (Brancaccio et al., 2010). Sin embargo, en algunos estudios se ha demostrado que la liberación máxima de CK se produce 24 horas después de partidos de fútbol (Magalhaes et al., 2010; Russell et al., 2015), dato que sugiere que el momento de recogida de datos del presente estudio fue suficiente para detectar signos de daño muscular. Aunque la falta de mediciones a las 48 y 72 horas podría ser una limitación de este estudio, en la práctica esto es difícil de llevar a cabo

por las rutinas semanales de entrenamiento de los atletas. Por tanto, se anima a que en futuros estudios se analice el efecto de la fototerapia en la actividad de CK en sangre hasta 72 horas después de un ejercicio con exigencias físicas y metabólicas elevadas. Hasta ahora, se han descrito los efectos beneficiosos de la fototerapia para reducir la elevación de CK en sangre de jugadores de fútbol sala, incluso aunque se muestre solo un ligero aumento de esta variable.

Según nuestros conocimientos, este es el primer estudio que investiga los efectos de LED en el rendimiento del CMJ de jugadores de fútbol sala que realizaron los esfuerzos de un partido simulado. A pesar del efecto de LED en la CK, los resultados observados no sugieren un efecto positivo de LED sobre el rendimiento en el CMJ. Es importante señalar que una reducción de ~4-5 % en el CMJ después y 24 horas después del FISP, descrito en el presente estudio, estuvo en consonancia con resultados publicados previamente (De Freitas et al., 2017; Freitas et al., 2014). A diferencia de los resultados encontrados, en un estudio previo se observó un pequeño efecto beneficioso de la fotobiomodulación en el rendimiento del CMJ de jugadores de fútbol *amateurs* (Dornelles et al., 2019). Sin embargo, el presente estudio se realizó con jugadores de fútbol sala profesionales y es posible que mecanismos distintos al bajo nivel de daño muscular, como fatiga central (Miloni et al., 2016), por ejemplo, podrían ser la causa del rendimiento alterado observado en jugadores de fútbol sala bien entrenados sometidos a un esfuerzo común como un partido de fútbol sala.

Borges et al. (2014) observaron un posible efecto de LED después del ejercicio para atenuar el descenso de fuerza muscular isométrica en sujetos sometidos a un protocolo de ejercicios excéntricos. En este estudio, el protocolo de ejercicios excéntricos modificó negativamente los marcadores de DMIE (es decir, dolor muscular percibido y amplitud de movimiento) que también se atenuaron con LED (Borges et al., 2014). En consonancia, según publicaciones previas (De Freitas et al., 2017), el FISP aumentó la concentración plasmática de CK, pero no cambió los marcadores de dolor muscular percibido, inflamación o estrés oxidativo. Estos resultados sugieren que si el FISP promueve un DMIE, el nivel de daño no es suficiente para alterar los marcadores de dolor, inflamación y estrés oxidativo analizados en el presente estudio. En otros deportes de equipo, como el fútbol, se observaron aumentos en los marcadores de daño muscular, inflamación y estrés oxidativo 24 horas después de los partidos (Magalhaes et al., 2010). Sin embargo, la distancia cubierta en partidos de fútbol es mayor que la recorrida en partidos de fútbol sala (De Oliveira Bueno et al., 2014; Stolen et al., 2005), dato que sugiere mayores exigencias metabólicas en fútbol que en fútbol sala. Por tanto, animamos a realizar nuevos estudios para investigar el efecto de LED en sujetos que realizan ejercicios con alta exigencia metabólica, que comporta niveles altos de DMIE.

Además, aunque la característica invasiva dificulta obtener frecuentes extracciones de muestras de sangre en atletas profesionales, esto podría ser interesante en futuros estudios porque algunos marcadores, inflamación y estrés oxidativo, por ejemplo, presentan tiempos diferentes de secreción y extracción de la sangre (Brancaccio et al., 2010).

El uso del FISP para estudiar métodos de recuperación podría ser ventajoso porque impone un esfuerzo similar a todos los sujetos. En el presente estudio, los valores de FC y % FCmáx monitorizados durante el FISP en los grupos de LED y placebo fueron similares. Los valores de estas variables (FC, ~177-179 latidos/min; % FCmáx, ~91-92 %) fueron similares a los descritos en estudios previos durante partidos de fútbol sala simulados y oficiales (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; De Freitas et al., 2017). Estos resultados estuvieron en concordancia con la [Lac], que no mostró valores diferentes cuando se compararon LED y placebo, y los valores descritos en el presente estudio (~6-6.5 mmol/L) estuvieron cerca de los valores descritos previamente (Castagna et al., 2009). Además, los valores de FC, % FCmáx y [Lac] fueron similares cuando se compararon los dos momentos de realización del FISP (con independencia de los métodos de intervención), y los CCI de FC y [Lac] fueron muy grandes y casi perfectos, respectivamente. Estos resultados podrían confirmar que los jugadores se sometieron a esfuerzos físicos similares durante los dos FISP y que fueron similares al esfuerzo físico de los partidos oficiales de fútbol sala.

La dosis de tratamiento aplicada en el presente estudio estuvo en consonancia con revisiones sistemáticas previas, dato que sugiere un efecto positivo de la fototerapia (Leal-Junior et al., 2015; Vanin et al., 2018). Sin embargo, se publicó una actualización sobre la ventana terapéutica en grupos de grandes músculos, que sugieren que se recomendó una gran dosis, tras la recogida de datos del presente estudio (Leal-Junior et al., 2019). Por tanto, la dependencia dosis-respuesta del efecto de LED (Leal-Junior et al., 2015) podría ser una posible explicación del limitado efecto encontrado para este tratamiento. Por otro lado, en el presente estudio, la terapia con LED produjo un efecto en la CK, dato que sugiere que la dosis aplicada fue efectiva para esta variable. En futuros estudios se debería investigar si se necesitan dosis altas de LED para cambiar los marcadores de rendimiento físico, dolor muscular, inflamación y estrés oxidativo. Creemos que los principales resultados observados fueron una consecuencia del bajo nivel de daño muscular inducido por el FISP en jugadores de fútbol sala bien entrenados.

El número de participantes podría ser un posible factor limitante para los resultados observados en el presente estudio. Por desgracia, el número de jugadores en un equipo de fútbol sala es limitado y es difícil reclutar jugadores de diferentes equipos por las rutinas y pautas de entrenamiento de cada equipo. Es importante destacar que previamente

se utilizó una muestra de menor tamaño para mostrar el efecto protector muscular de la fototerapia aplicada antes de partidos de fútbol sala (De Marchi et al., 2019). Sin embargo, suponemos que, para tener un mejor conocimiento de los resultados observados en el presente estudio, se podría necesitar una muestra de gran tamaño y, por tanto, en futuras investigaciones se debería definir el tamaño de la muestra. En el presente estudio se controlaron otros puntos para reducir el riesgo de sesgo, como la aleatorización de los participantes en los dos grupos, el enmascaramiento de los participantes, la presencia de placebo y el diseño cruzado del estudio, factores que deben considerarse en la interpretación de los resultados observados.

Conclusión

En conclusión, la terapia con LED aplicada en el presente estudio fue efectiva para cambiar el patrón de la CK, pero no cambió los marcadores de rendimiento físico, dolor muscular, inflamación o estrés oxidativo de jugadores de fútbol sala hasta 24 horas después del FISP. Parece que el uso de LED como método de recuperación en jugadores de fútbol sala bien entrenados después del partido mostró unos efectos limitados dado que, aparentemente, el esfuerzo del fútbol sala en estos jugadores no promueve aumentos importantes de los marcadores asociados al DMIE. Ante los efectos positivos publicados previamente, el efecto de la fototerapia podría ser más pronunciado con una dosis diferente, una muestra diferente, un nivel diferente de capacidad de entrenamiento, diferentes momentos de medición y en partidos jugados en días consecutivos, que se deberían examinar en estudios futuros.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Prof. Fábio Yuzo Nakamura toda la contribución intelectual. Queremos dar las gracias a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, por aportar fondos para este estudio.

Referencias

- 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 Fis 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>

Conflicto de intereses: las autorías no han declarado ningún conflicto de intereses.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Este artículo está disponible en la url <https://www.revista-apunts.com/es/>. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para reproducir el material. Para ver una copia de esta licencia, visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es_ES