

# Effetti degli indumenti che emettono FIR (raggi infrarossi lontani) sul recupero dopo un esercizio pliometrico intenso applicato a giocatori di calcio d'elite: un doppio cieco randomizzato, controllato con placebo

## Abstract

---

L'obiettivo è stato quello di studiare gli effetti degli indumenti che emettono infrarosso lontano (FIR) sui markers indiretti di danno muscolare indotto da esercizio fisico e sul recupero delle prestazioni fisiche dopo una sessione pliometrica applicata a giocatori di calcio. Ventuno giocatori di sesso maschile ( $18,9 \pm 0,6$  anni;  $70,8 \pm 5,01$  kg,  $178,3 \pm 0,06$  cm) hanno eseguito 100 drop-jumps. Sei ore dopo la sessione, alcuni atleti ( $N = 10$ ) hanno indossato indumenti FIR (densità  $225 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 88% di filato in poliammide 66 Eman (PA66) che emette FIR, 12% Spandex, emissività 0,88 e potenza emessa di  $341 \text{ W} / \text{m}^2\mu\text{m}$  a  $37^\circ\text{C}$  nel range della lunghezza d'onda di 5-20 micron, brevetto WO 2009/077834 A2) ed altri ( $N = 11$ ) hanno indossato indumenti placebo (PLA) ( $N = 11$ ). Circonferenze di metà coscia, creatina chinasi (CK), ed insorgenza ritardata del dolore muscolare (DOMS) sono stati valutati prima, subito dopo ed a 24, 48, e 72 ore dopo la sessione. Le altezze di squat (SJ) e countermovement Jump (CMJ) sono stati misurate prima ed a 24, 48, e 72 ore dopo la sessione, mentre le 1RM leg press (a forza massima) sono state misurate prima ed a 72 ore dopo le prove pliometriche. Non sono state rilevate differenze nelle circonferenze di metà coscia, SJ, CMJ e 1RM. La CK è aumentata significativamente 24 ore dopo le pliometriche rispetto a prima ( $p < 0,05$ ) in entrambi i gruppi. Il gruppo PLA ha mostrato aumenti significativi DOMS a 24, 48, e 72 ore, mentre il gruppo FIR ha mostrato aumenti significativi a 24 e 48 ore ( $p < 0,05$ ). La misura degli effetti DOMS era maggiore nel gruppo FIR (moderati a 48 h,  $ES = 0,737$  e grandi a 72 h,  $ES = 0,844$ ), suggerendo che gli indumenti FIR possono ridurre la DOMS percepita dopo una sessione pliometrica intensa eseguita da giocatori di calcio.

## INTRODUZIONE

---

È ben noto che la potenza muscolare degli arti inferiori ha un ruolo importante nelle prestazioni dei calciatori [1, 2]. I compiti motori, come calciare, saltare, lo sprint, ed i cambi di direzione sono fondamentali durante una partita di calcio [3]. Un modo tradizionale per migliorare la capacità di produzione di energia muscolare è l'uso di allenamento pliometrico [4, 5], che è caratterizzato da una combinazione di contrazioni eccentriche veloci seguiti da azioni muscolari concentriche esplosive. Tuttavia, la contrazione eccentrica indotta dai pliometrici può causare danni da esercizio fisico muscolare (EIMD) [6-11]. L'EIMD è associato a ridotti livelli di forza muscolare e potenza della durata di diversi giorni dopo l'esercizio dannoso [7, 12]. Considerando che i giocatori di calcio d'elite sono spesso sottoposti ad elevate azioni eccentriche durante le partite (caduta, accelerazione, cambi di direzione) e durante le sessioni di allenamento [13], è necessario ricercare strategie di recupero per attenuare gli effetti specifici di EIMD.

A tale riguardo supplementazione nutrizionale, crioterapia, idroterapia, recupero attivo, stretching, indumenti a compressione e stimolazione elettrica sono le strategie fin'ora utilizzate da allenatori e preparatori atletici, al fine di accelerare il recupero dei giocatori [11, 14-20]. Anche se queste strategie hanno già dimostrato un certo grado di efficacia, non v'è consenso su quale sia metodo più adatto. In effetti, alcune strategie di recupero possono essere molto scomode, richiedendo attrezzature specifiche e costose e non coprendo completamente l'area danneggiata.

Anche se non ampiamente esplorata, la terapia a raggi di infrarosso lontano (FIR) è stata proposta come un possibile metodo di recupero post-esercizio [17]. FIR è composto da piccole onde elettromagnetiche con lunghezze all'interno dello spettro infrarosso (IR) che varia da 5.6 a 1000  $\mu\text{m}$ . È in grado di penetrare quasi 4 cm all'interno dei tessuti umani, ed indurre effetti biologici come l'accelerazione del recupero della funzione del muscolo scheletrico dopo l'esercizio, aumentando il flusso di sangue ed i vasi linfatici, migliorando la funzione endoteliale e diminuendo il dolore, l'infiammazione e lo stress ossidativo [17, 21-23].

La radioterapia FIR viene solitamente applicata tramite dispositivi emettitori di luce o saune [17, 21, 24, 25]. Recentemente, polimeri o nanoparticelle di ceramica che emettono FIR sono stati incorporati nei tessuti dell'abbigliamento sportivo, il che facilita la loro applicazione rispetto ad altri metodi. Gli indumenti emettitori di FIR possono essere un metodo adeguato per applicare le radiazioni terapeutiche poiché grazie ad essi l'energia elettromagnetica viene più uniformemente trasportata sulla superficie del corpo e presenta la stessa lunghezza d'onda di quella generata da lampade o saune. Il corpo umano emette FIR (nell'intervallo da 3 a 30  $\mu\text{m}$ ), e le nanoparticelle ceramiche riescono ad assorbirlo e quindi ri-emettono FIR sulla superficie del corpo [23]. Indipendentemente dalla fonte di irradiazione, gli effetti termici indotte da FIR, quando assorbito dalla superficie della pelle, non sono il meccanismo principale coinvolto negli effetti terapeutici FIR [26]. La radiazione FIR può essere assorbita dalle molecole d'acqua presenti nei sistemi biologici, influenzando in tal modo i potenziali di membrana cellulare ed il metabolismo mitocondriale. Questi effetti includono lo scavenging  $\text{H}_2\text{O}_2$ , l'attenuamento dell'attivazione della cicloossigenasi<sup>2</sup>, l'aumento dell'espressione delle eme-ossigenasi<sup>1</sup> e dell'attivazione e NOS, innescando segnalazioni anti-infiammatorie e diminuendo lo stress ossidativo [23, 26-28]. Tuttavia, gli effetti post-esercizio degli indumenti emettitori di FIR ai fini del recupero fisico e fisiologico rimangono sconosciuti.

Pertanto, lo scopo di questo studio è stato quello di studiare gli effetti degli indumenti emettitori di FIR sui marcatori indiretti di EIMD e sul recupero delle prestazioni fisiche, dopo un intenso periodo esercizio pliometrico fatto da calciatori di alto livello.

## MATERIALI E METODI

---

### Soggetti

Allo studio hanno partecipato ventuno giocatori di sesso maschile di calcio ( $19,5 \pm 0,8$  anni;  $70,8 \pm 5,01$  kg,  $178,3 \pm 0,06$  cm;  $6,6 \pm 1,5$  anni di formazione di calcio). Giocavano nel torneo nazionale brasiliano Under 20, e la loro squadra si è classificata al quinto posto nel paese. Tutti i giocatori si allenavano due volte al giorno (~ 120 min. per sessione), cinque giorni a settimana. I criteri di esclusione includevano la presenza di lesioni accertate clinicamente, l'uso di farmaci anti-infiammatori e/o l'uso di integratori alimentari/ergogenici nei sei mesi precedenti. In conformità con la Dichiarazione di Helsinki, tutti gli atleti sono stati informati dei rischi e dei benefici della partecipazione allo studio sperimentale ed hanno firmato un modulo di consenso informato prima dell'indagine. Lo studio è stato approvato da un Institutional Review Board locale per l'utilizzo di soggetti umani. I giocatori sono stati assegnati in modo casuale a due gruppi distinti: quelli dotati di indumenti emettitori di FIR (FIR, n = 11) e quelli dotati di indumenti placebo (PLA, n = 10). I pantaloncini non compressivi FIR sono stati fatti con materiale specifico Emanax (densità 225 g •

m<sup>-2</sup>, 88% di filato in poliammide 66 Eman (PA66) che emette FIR, 12% Spandex, emissività 0,88 e potenza emessa di 341 W / m<sup>2</sup>µm a 37 °C nel range della lunghezza d'onda di 5-20 micron, brevetto WO 2009/077834 A2). Il gruppo PLA indossava indumenti con le seguenti caratteristiche: 225 g m<sup>-2</sup>, 88% fibra di PA66, 12% Spandex ma senza emissione di FIR. Tutti i soggetti indossavano tali indumenti durante il loro periodo di sonno per tre notti successive, per almeno 10 ore a notte (dalle 22:00 alle 08:00).

### Metodo sperimentale

Il presente studio è stato effettuato in doppio cieco, randomizzato, controllato con placebo. Lo studio è stato condotto all'interno di un periodo di allenamento di 6 settimane, prima di un torneo nazionale. Tutti gli atleti sono stati sottoposti a misurazioni antropometriche e gli è stato chiesto di astenersi dagli allenamenti per almeno 48 ore prima della sessione degli esercizi intensi pliometrici. Le circonferenze di metà coscia destra e sinistra, la creatina chinasi plasmatica (CK) e l'insorgenza ritardata del dolore muscolare (DOMS) sono state valutate prima, subito dopo ed a 24, 48, e 72 ore dopo la sessione pliometrica. Le altezze di squat e countermovement jumps (SJ e CMJ, rispettivamente) sono stati misurate prima e 24, 48, e 72 ore dopo, mentre la leg press a massima resistenza dinamica (1RM) è stata misurata prima e 72 ore dopo la sessione pliometrica. I soggetti sono stati assegnati in modo casuale ai due gruppi ed hanno ricevuto trattamenti 6 ore dopo la sessione pliometrica. Sia il gruppo FIR (FIR) che il gruppo placebo (PLA) hanno indossato i rispettivi indumenti per il periodo di sonno previsto dallo studio (10:00-08:00). Le caratteristiche dei due gruppi sono espone nella Tabella 1.

TABELLA 1

Caratteristiche dei soggetti nei gruppi FIR (FIR) e placebo (PLA).

Variabili	FIR	PLA	P
Età (anni)	19.4 ± 0.5	19.6 ± 1.0	0.57
Body mass (kg)	70.7 ± 4.0	71.1 ± 5.7	0.98
Altezza (cm)	177.2 ± 0.5	179.5 ± 0.5	0.34
Giocatori da (anni)	13.7 ± 4.8	11.9 ± 5.2	0.42
Leg press 1RM (kg)	167.4 ± 22.7	168.4 ± 18.5	0.92

### Circonferenze di metà coscia

Le circonferenze di metà coscia destra e sinistra sono state valutate come misurazione del gonfiore dell'arto (vale a dire, edema) utilizzando un nastro antropometrico standard (Cescorf, Porto Alegre, RS, Brasile). Ambo le circonferenze sono state misurate a metà lunghezza di ogni coscia (cioè al 50% della distanza tra il grande trocantere e l'epicondilo laterale del femore). Il punto di misurazione è stato apposto su ciascun soggetto con inchiostro semipermanente. Durante la misura, i partecipanti sono rimasti in piedi con i muscoli della coscia rilassati. La somma delle circonferenze della coscia destra e sinistra è stata utilizzata per l'analisi statistica [29, 30].

## Attività del CK Plasmatico

Sono stati prelevati 5 ml di campione di sangue venoso dalla vena antecubitale usando una tecnica di venopuntura standard con un tubo etilendiamminotetracetico (EDTA). I campioni sono stati centrifugati per 10 minuti a 1.500g per ottenere plasma. L'attività del CK plasmatico è stata determinata spettrofotometricamente utilizzando un kit commerciale (Cobas Mira Plus, Roche, Basilea, Svizzera).

## Insorgenza ritardata del dolore muscolare (DOMS)

DOMS è stata valutata su una scala analogica visiva costituita da una linea lunga 100 millimetri con "nessun dolore" ad un'estremità e "estremamente doloroso" all'altro [31-33]. Ai soggetti è stato chiesto di marcare l'attuale livello del dolore provato nei muscoli della coscia.

## Squat e countermovement jumps

Prima della prova di salto i soggetti hanno eseguito un warm-up comprendente 5 minuti di corsa moderata, 5 minuti di esercizi leggeri di stretching degli arti inferiori, e 20 countermovement jumps (CMJ) submassimali (ovvero 4 serie da 5 CMJ, con intervallo di 30 secondi tra le serie). Tre minuti dopo il preriscaldamento ciascun soggetto ha eseguito tre SJ e tre CMJ ogni 10 secondi con un intervallo di 1 minuto tra le tecniche di salto. Il miglior salto è stato utilizzato a fini statistici. Tutti i partecipanti avevano familiarità con entrambe le tecniche di salto. Essi sono stati istruiti di tenere le mani sulla vita durante i salti. SJ è stato avviato da una posizione statica con ginocchio angolato a 90°, mentre CMJ è stata eseguita con un countermovement preliminare con angolo del ginocchio da 0 a 90°. Tutte le prove sono state eseguite su una piattaforma di contatto (Smart Jump, fusion, Australia) e l'altezza del salto è stata calcolata utilizzando la formula sviluppata da Bosco et al. [34].

## Prova di massima resistenza dinamica (1RM)

La massima resistenza dinamica è stata determinata attraverso un test 1RM nell'esercizio Leg Press. I soggetti hanno eseguito due sessioni di familiarizzazione prima di fare il test 1RM. Sono stati eseguiti 5 minuti di warm-up su un tapis roulant a 9 km·h<sup>-1</sup> seguiti da 5 minuti di esercizi di stretching leggero degli arti inferiori. Successivamente, i partecipanti hanno eseguito due serie di riscaldamento con leg press: nel primo set, hanno svolto 5 ripetizioni al 50% del 1RM stimato, e nel secondo set, hanno eseguito 3 ripetizioni al 70% del 1RM stimata. Intervallo di riposo di 3 minuti è stato programmato tra le serie. Tre minuti dopo il warm up, gli atleti hanno potuto fare fino a 5 tentativi per ottenere il carico 1RM (vale a dire, il peso massimo che può essere sollevato una singola volta utilizzando la tecnica corretta), con un intervallo di 3 minuti tra i tentativi. Il test 1RM è stato eseguito su una macchina leg press (Plyo Press, Athletic Republic, Park City, Utah, Stati Uniti d'America), con un forte incoraggiamento verbale durante tutti i tentativi.

## Sessione di esercizi pliometrici

Quarantacinque minuti dopo il test 1RM è stato richiesto ai soggetti di eseguire 100 drop-jumps consecutivi partendo da un'altezza di 45 cm [35-37]. Un recupero di 6-s è stato programmato tra i salti, ed i partecipanti sono stati incoraggiati a saltare più in alto possibile.

## Analisi statistiche

La normalità è stata verificata con il test di Shapiro-Wilk. Una ANOVA a due vie per misure ripetute è stata utilizzata per verificare le differenze tra i gruppi di tutte le variabili dipendenti (utilizzando IBM SPSS Statistics per Windows, versione 20.0 Armonk, NY: IBM Corp.). Le misure degli effetti

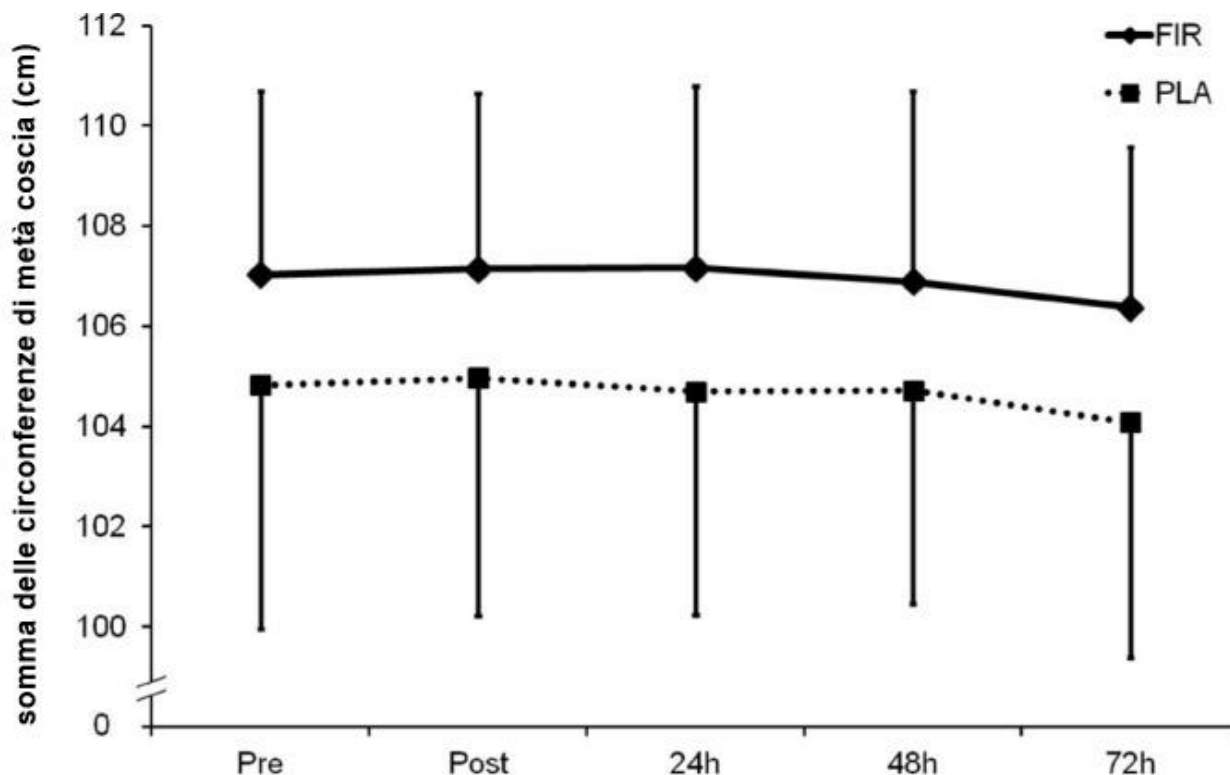
(ES) sono state calcolate e classificate seguendo la scala proposta da Cohen [38]: piccole (ES da 0,2 a 0,5), moderate (ES da 0,5 a 0,8), e grandi (ES  $\geq$  0,8). Nel presente studio, abbiamo riportato solo i valori ES superiore a 0,5. Il livello di significatività è stato fissato a  $p < 0.05$ . I dati sono presentati come media  $\pm$  SD.

## RISULTATI

La somma delle circonferenze di metà coscia non ha dimostrato né un effetto terapeutico significativo né un'interazione tempo x trattamento (Figura 1). L'attività del CK plasmatico ha presentato un aumento significativo 24 ore dopo la sessione pliometrica ( $p < 0.05$ ) rispetto a prima, senza differenze significative tra i gruppi. A 48 e 72 ore l'attività CK era ritornata ai valori iniziali (Figura 2).

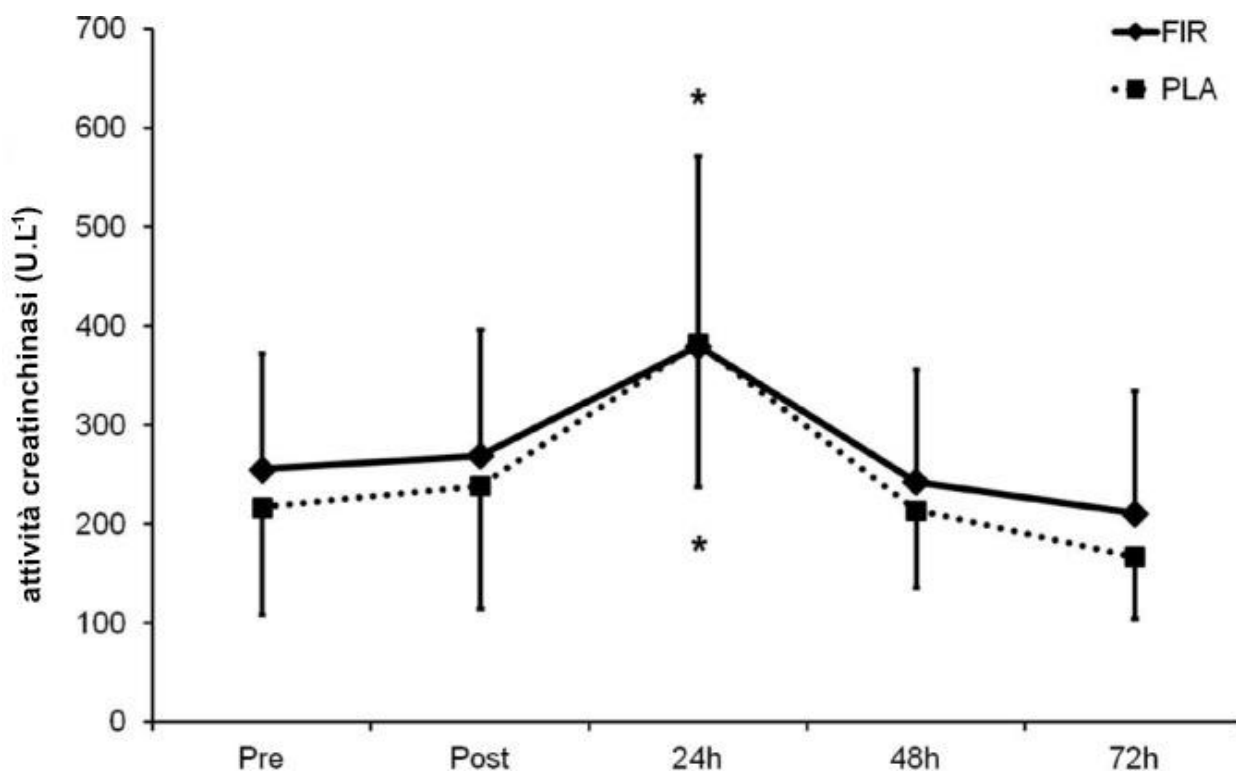
**FIGURA. 1**

Somma dei valori della circonferenza di metà coscia sinistra e destra prima, subito dopo (Post), ed a 24, 48 e 72 ore dopo la sessione pliometrica.



**FIGURA. 2**

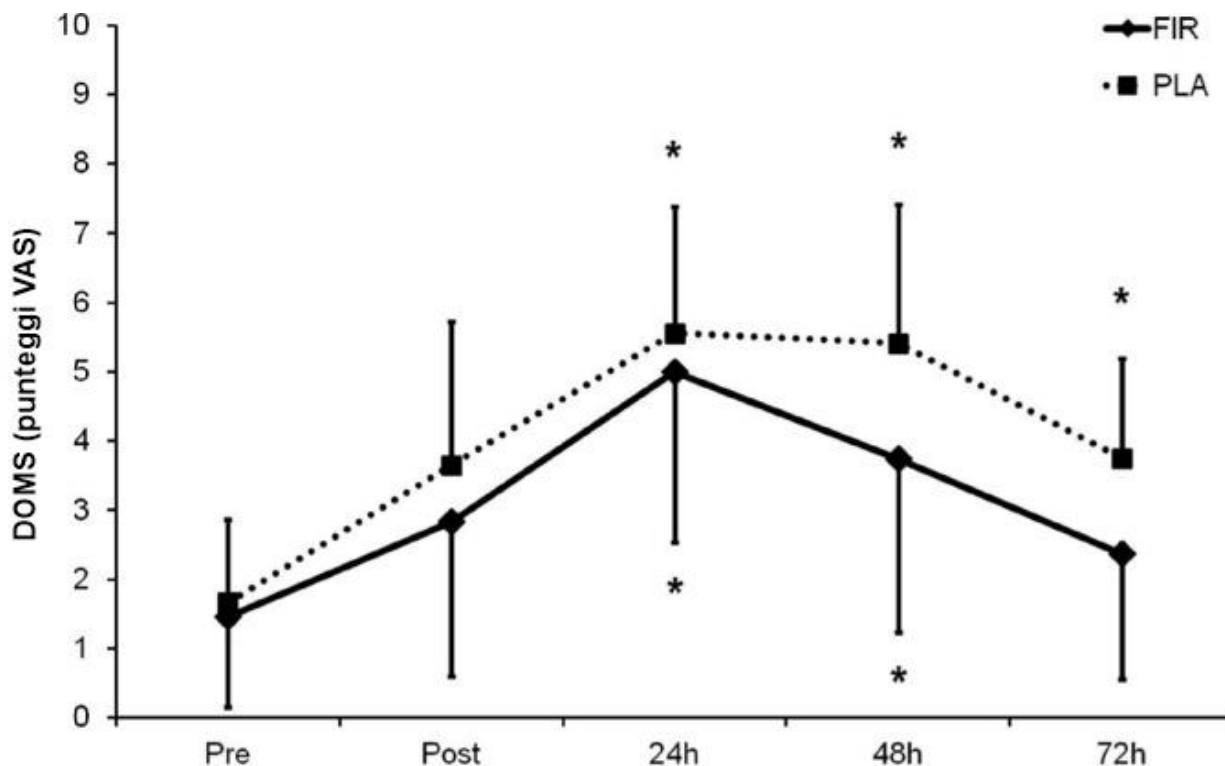
Valori dell'attività del CK plasmatico prima, subito dopo (Post), ed a 24, 48 e 72 ore dopo la sessione pliometrica.



DOMS (punteggio VAS) ha raggiunto il picco al time-point delle 24 ore (Figura 3), senza differenze significative tra i gruppi. Tuttavia, il gruppo PLA ha mostrato aumenti significativi a 24, 48 e 72 ore, rispetto ai valori iniziali ( $p < 0,05$ ), mentre il gruppo FIR ha mostrato aumenti significativi solo dopo 24 e 48 ore ( $p < 0,05$ ) dopo la sessione. Nonostante la mancanza di differenze significative tra i gruppi, le dimensioni dell'effetto erano moderate al time-point delle 48 ore e grandi a quello delle 72 ore ( $ES =$  rispettivamente 0.737 e 0.844), favorendo gli indumenti emettitori di FIR (per aver dimostrato di produrre una minore percezione del dolore).

**FIGURA. 3**

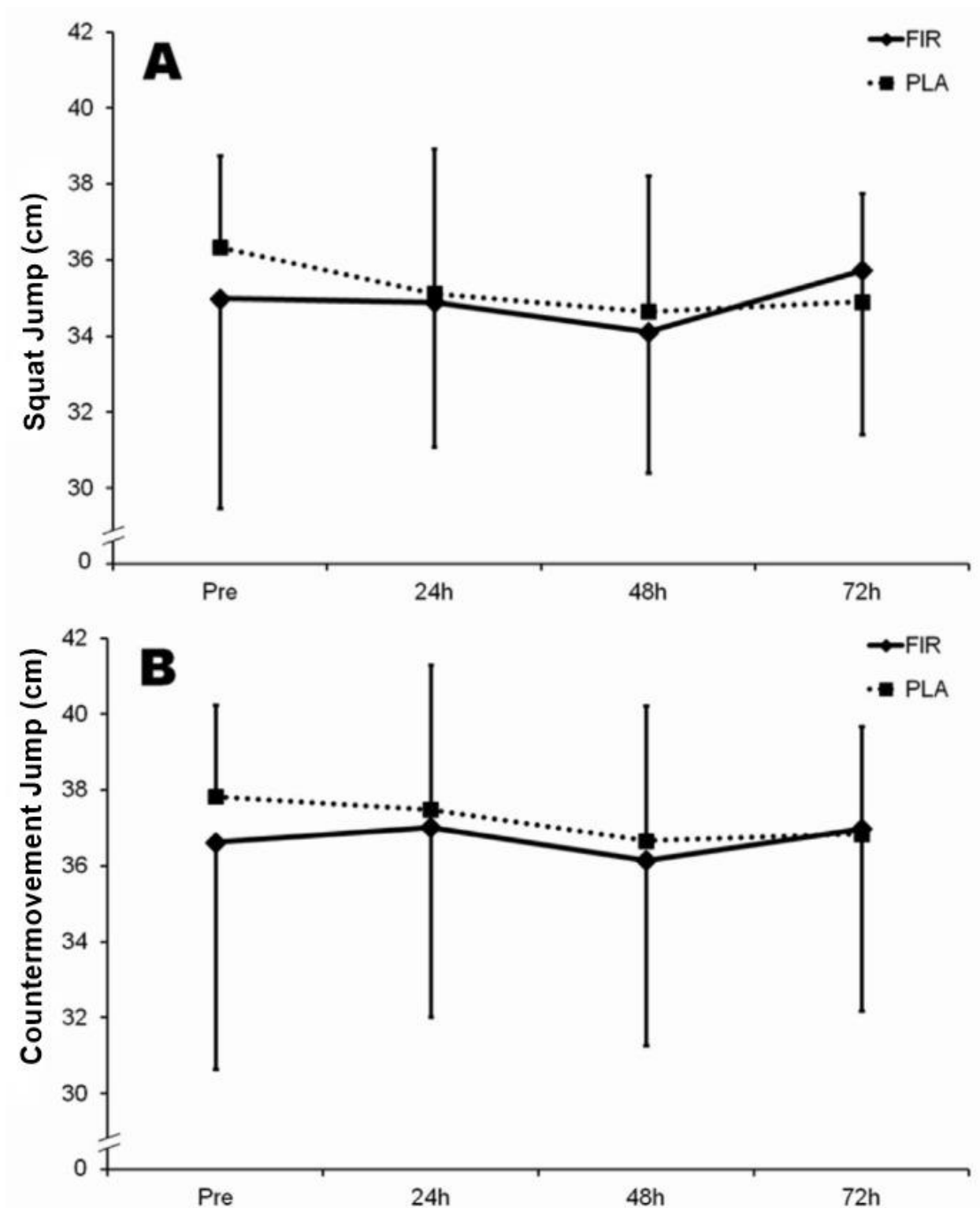
DOMS (punteggio VAS) prima, subito dopo (post), ed a 24, 48 e 72 ore dopo la sessione pliometrica.



Nessuna differenza è stata osservata nel test SJ e CMJ o nei valori leg press 1RM durante il periodo sperimentale (Figura 4A e 4B e Figura 5, rispettivamente).

**FIGURA. 4**

Valori di Squat Jump (pannello A) e countermovement Jump (pannello B) prima, ed a 24, 48 e 72 ore dopo la sessione pliometrica.





## FIGURA. 5

Valori di leg press a massimo sforzo dinamico (dell'1RM) prima e 72 ore dopo la sessione pliometrica.

## DISCUSSIONE

---

Per quanto a nostra conoscenza, questo è il primo studio che ha valutato l'efficacia degli indumenti emettitori di FIR sui marcatori indiretti EIMD e sul recupero delle prestazioni fisiche dopo lo svolgimento di un esercizio pliometrico in soggetti altamente qualificati. L'unico marcatore EIMD che sembrava cambiare a causa dell'uso di indumenti emittenti FIR era DOMS a 48 ed a 72 ore (ES da moderato a grande, rispettivamente) dopo la sessione pliometrica svolta da giocatori di calcio d'élite. Di fatto, non sono stati osservati effetti per tempo e trattamento isolati, né interazioni per tempo x trattamento sui salti verticali (SJ e CMJ) o sulle prestazioni dell'esercizio di massimo sforzo dinamico (leg press 1RM). Pertanto non è stato possibile identificare il potenziale effetto dei FIR sul recupero della prestazione fisica dei giocatori. Inoltre, la sessione pliometrica non ha provocato variazioni significative della circonferenza di metà coscia nei time-points di entrambi i gruppi. Anche l'attività CK non è stata influenzata dal trattamento, aumentando solo a 24 ore dopo la sessione. Quindi, gli effetti reali dei FIR possono essere stati oscurati dalla mancanza di modifiche sostanziali nei marcatori EIMD.

Il trattamento FIR convenzionale fatto con piccoli irradiator emittenti infrarosso lontano (per esempio, lampade, dischi ceramici, cerotti e pastiglie) ha dimostrato di essere efficace per ridurre il dolore in diversi studi clinici [2, 39-41]. Ad esempio, Bagnato et al. [39] hanno dimostrato che i cerotti FIR applicati per 12 ore al giorno a pazienti sofferenti di osteoartrosi producevano una significativa riduzione del punteggio VAS già dopo una settimana di applicazione. Inoltre, Wong et al. [41] hanno dimostrato che 15 minuti di esposizione FIR al giorno per cinque giorni consecutivi sono stati in grado di diminuire la sensazione di dolore soggettivo e ridurre le concentrazioni di siero interleuchina-6 ed endotelina-1 (che sono biomarcatori del dolore) nei soggetti che avevano subito artroplastica totale del ginocchio. D'altra parte, uno studio clinico in doppio cieco placebo randomizzato ha rilevato che un dispositivo da collo contenente particelle ceramiche FIR incorporate nel tessuto non è stato più efficace di un dispositivo placebo nella riduzione del dolore muscolare cronico del collo e della spalla, dopo una settimana di trattamento giornaliero [42]. Hauswirth et al. [17] hanno sviluppato un protocollo relativo alla corsa e studiato per indurre danno muscolare nei corridori, ed hanno applicato successivamente lampade FIR immediatamente dopo ed a 24 e 48 ore dopo l'esercizio. Gli autori hanno osservato che la percezione del dolore muscolare era significativamente diminuita dopo 48 h rispetto alla condizione di non-trattamento [17]. Anche se i risultati di Hauswirth e colleghi [17] in relazione ai dolori muscolari possono essere parzialmente distorti a causa della mancanza della condizione di doppio cieco, i nostri risultati suggeriscono che gli indumenti emittenti FIR possono produrre una più rapida diminuzione della percezione del dolore nel corso del tempo, con possibile sollievo da DOMS fra le 48 e le 72 ore. Quindi, confermiamo i risultati di Hauswirth et al. [17].

Recentemente, Hauswirth et al. [17] hanno riportato che corridori altamente addestrati esposti a 30 min. di radiazioni dell'infrarosso lontano in tutto il corpo sono stati in grado di recuperare le contrazioni massime volontarie degli estensori del ginocchio 48 ore dopo l'esecuzione di un protocollo EIMD, composto da 48 minuti di corsa su pedana mobile in piano, discesa e salita. Al contrario, noi non siamo stati in grado di valutare gli effetti FIR sul recupero delle prestazioni fisiche dei giocatori, dal momento che non vi era alcuna significativo cambiamento nelle prestazioni di SJ, CMJ, o leg press 1RM dopo il protocollo di esercizio pliometrico. Va ricordato che secondo le indagini precedenti [7, 30, 35], il protocollo di esercizio adottato nel nostro studio, composto da 100 drop-jumps verticali, è in grado di indurre un danno muscolare e DOMS anche

nei soggetti familiarizzati con le attività ad alta intensità, tra cui le contrazioni eccentriche. Inoltre, gli atleti ricreativi hanno mostrato una significativa diminuzione della massima contrazione volontaria ed aumenti di edema muscolare e dell'attività del CK plasmatico dopo l'esecuzione di un protocollo di esercizio pliometrico simile a quello adottato nel presente studio [7, 43]. Secondo Howatson et al. [7, 30], tuttavia, il protocollo di esercizio che comprende 100 drop-jumps potrebbe evocare un aumento dei livelli di CK a 24 ore, un picco di dolore muscolare a 48 ore ed una diminuzione MVC a 24 ore in atleti professionisti di calcio e rugby atleti professionisti. Tuttavia, nessuna alterazione significativa della capacità di salto è stata rilevata nel presente studio. Pertanto, gli atleti del nostro campione sembravano essere ben addestrati ed adattati e quindi resistenti agli effetti dannosi dell'esercizio pliometrico.

Conformemente ad Howatson et al. [30], anche noi non abbiamo trovato differenze significative nella circonferenze di metà coscia dopo aver fatto eseguire 100 drop-jumps consecutivi a partire da un'altezza di 45 cm. È plausibile ancora una volta che l'uso di soggetti altamente qualificati in entrambi gli studi abbia ridotto gli effetti dannosi dell'esercizio sul muscolo. Tuttavia, gli aumenti di CK (24 h dopo) e DOMS (24, 48, e 72 ore dopo) in questo studio possono indicare un lieve grado di danno muscolare in entrambi i gruppi sperimentali. Nessun effetto sulle attività del CK è stato osservato nei soggetti trattati con FIR. Questo è in accordo con un precedente studio che ha dimostrato che FIR (sauna) applicata per tre giorni consecutivi non ha fatto diminuire i livelli di CK in corridori di resistenza altamente qualificati [17].

Un aspetto importante dello studio è stato il lasso di tempo intercorso tra la fine del protocollo di esercizio ed il momento in cui sono stati indossati gli indumenti FIR. Poiché uno dei principali effetti dei FIR è quello di migliorare la microcircolazione locale, ci si poteva aspettare che applicando FIR immediatamente dopo l'esercizio aumentasse il flusso di sangue e questo inducesse lo sviluppo di edema e migrazione dei leucociti nei tessuti [44]. Infatti, uno studio in vitro ha dimostrato che l'irradiazione di cellule endoteliali fosforilate e-NOS ha indotto il rilascio di NO dopo 30 minuti [45]. La produzione di NO tramite e-NOS può provocare vasodilatazione ed un aumento della temperatura del tessuto, facilitando la migrazione e l'attivazione dei neutrofili nel muscolo [46, 47]. I neutrofili sono la prima linea di difesa infiammatoria cellulare, migranti verso il muscolo scheletrico già 45 minuti dopo l'esercizio, e sono associati con lo stress ossidativo negli EIMD [40, 46-48]. Per evitare gli effetti acuti dei FIR nella migrazione dei neutrofili e per rendere il trattamento più confortevole evitando di far indossare abbigliamento FIR durante le attività quotidiane, abbiamo deciso di applicare FIR durante il periodo del sonno, con un maggiore controllo di tempi di esposizione e condizioni ambientali.

Gli effetti anti-infiammatori dei FIR possono essere associati con la produzione di NO e l'aumentata espressione di eme ossigenasi 1, risultante nella diminuzione della produzione di radicali liberi e dei mediatori dell'infiammazione [28, 45, 49]. Tuttavia, molti degli effetti anti-infiammatori dei FIR possono essere stati persi di vista, dal momento che 6 ore dopo l'esercizio alcune vie di segnalazione pro-infiammatoria erano probabilmente già state attivate e l'aumento dei livelli dei mediatori pro-infiammatori (come l'interleuchina-1) sono stati espressi nel tessuto muscolare [40, 48]. D'altro canto, l'andamento nel tempo delle variazioni di infiltrato infiammatorio presenta un picco 24 ore dopo l'EIMD [47]. Pertanto l'applicazione FIR poche ore dopo l'esercizio, durante il sonno, potrebbe ancora down-modulare la produzione di mediatori infiammatori che contribuiscono al dolore nei DOMS. Anche se le proprietà anti-infiammatorie dei FIR possono aver diminuito le infiltrazioni di cellule nei muscoli, non siamo riusciti a trarre conclusioni sulla sua efficacia in questo aspetto dal momento che nessuna biopsia muscolare è stata fatta e le perdite di forza muscolare non erano evidenti nel nostro studio. Infine, il nostro studio è stato limitato dal solo uso della scala VAS per valutare i DOMS. Gli studi futuri dovrebbero determinare gli effetti degli indumenti emettenti FIR sull'indolenzimento muscolare utilizzando altri metodi (ad esempio, algometrie) per confermare i nostri risultati. Inoltre, i possibili effetti dell'utilizzo degli indumenti FIR su altri aspetti del recupero (ad esempio, il flusso di sangue ed il recupero "metabolico")

dovrebbero essere indagati in studi futuri, tra cui l'uso a lungo termine degli indumenti FIR sugli adattamenti relativi all'allenamento.

## CONCLUSIONI

---

In conclusione, sembra che i giocatori di calcio d'élite siano resistenti agli effetti della EIMD dopo 100 drop-jumps, in quanto la resistenza della parte inferiore del corpo e le prestazioni di potenza non sono state influenzate negativamente. L'uso di indumenti FIR durante un periodo di sonno di 10 ore per tre notti di seguito può aver contribuito a ridurre i DOMS a 48 ore e 72 ore dopo (dimensioni dell'effetto moderate e grandi, rispettivamente) la sessione pliometrica. Pertanto, suggeriamo che gli indumenti FIR possano essere utilizzati per accelerare la ripresa dal dolore muscolare dopo esercizi eccentrico-sbilanciati nei giocatori di calcio. Inoltre, l'uso di indumenti che favoriscono il recupero potrebbe essere pratico e vantaggioso per gli atleti professionisti, dal momento che questo metodo non influisce sugli allenamenti di routine e può essere facilmente implementato. La riduzione del dolore può essere utile nel migliorare la qualità degli allenamenti attraverso un maggiore carico e rischi di lesioni ridotti. Futuri studi sono necessari per determinare i possibili effetti degli indumenti FIR sulla attenuazione dei marcatori EIMD nei soggetti meno allenati (tra questi il dolore muscolare) o negli atleti con perdita più marcata della funzione muscolare a causa della maggiore intensità / volume degli esercizi eccentricamente sbilanciati, utilizzando altre misure quantitative di DOMS e recupero metabolico/funzionale.

## Conflitti di interesse

---

Gli autori hanno dichiarato di non avere alcun conflitto di interessi per quanto riguarda la pubblicazione di questo manoscritto.

[I Loturco](#),<sup>1,\*</sup> [CCC Abad](#),<sup>1</sup> [FY Nakamura](#),<sup>3</sup> [SP Ramos](#),<sup>3</sup> [R Kobal](#),<sup>1</sup> [S Gil](#),<sup>1</sup> [LA Pereira](#),<sup>1</sup> [FHP Burini](#),<sup>4</sup> [H Roschel](#),<sup>2</sup> [C Ugrinowitsch](#),<sup>2</sup> and [V Tricoli](#)<sup>2</sup>

## REFERENZE

---

1. Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(1):173–177. [[PubMed](#)]
2. Sander A, Keiner M, Wirth K, Schmidtbleicher D. Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(5):445–451. [[PubMed](#)]
3. Loturco I, Ugrinowitsch C, Tricoli V, Pivetti B, Roschel H. Different loading schemes in power training during the preseason promote similar performance improvements in Brazilian elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(7):1791–1797. [[PubMed](#)]
4. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011;41(2):125–146. [[PubMed](#)]
5. Vaczi M, Tollar J, Meszler B, Juhasz I, Karsai I. Short-term high intensity plyometric training program improves strength, power and agility in male soccer players. *J Hum Kinet.* 2013;36:17–26. [[PMC free article](#)][[PubMed](#)]

6. Hody S, Rogister B, Leprince P, Wang F, Croisier JL. Muscle fatigue experienced during maximal eccentric exercise is predictive of the plasma creatine kinase (CK) response. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(4):501–507. [[PubMed](#)]
7. Howatson G, Goodall S, van Someren KA. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2009;105(4):615–621. [[PubMed](#)]
8. Marklund P, Mattsson CM, Wahlin-Larsson B, Ponsot E, Lindvall B, Lindvall L, Ekblom B, Kadi F. Extensive inflammatory cell infiltration in human skeletal muscle in response to an ultraendurance exercise bout in experienced athletes. *J Appl Physiol*. 2013;114(1):66–72. [[PubMed](#)]
9. Molina R, Denadai BS. Dissociated time course recovery between rate of force development and peak torque after eccentric exercise. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012;32(3):179–184. [[PubMed](#)]
10. Paulsen G, Egnér I, Raastad T, Reinholt F, Owe S, Lauritzen F, Brorson SH, Koskinen S. Inflammatory markers CD11b, CD16, CD66b, CD68, myeloperoxidase and neutrophil elastase in eccentric exercised human skeletal muscles. *Histochem Cell Biol*. 2013;139(5):691–715. [[PubMed](#)]
11. Silva LA, Pinho CA, Silveira PC, Tuon T, De Souza CT, Dal-Pizzol F, Pinho RA. Vitamin E supplementation decreases muscular and oxidative damage but not inflammatory response induced by eccentric contraction. *J Physiol Sci*. 2010;60(1):51–57. [[PubMed](#)]
12. Morgan DL, Allen DG. Early events in stretch-induced muscle damage. *J Appl Physiol*. 1999;87(6):2007–2015. [[PubMed](#)]
13. Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Farrelly K, Fairhurst E. Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer) *Chronobiol Int*. 2007;24(3):507–519. [[PubMed](#)]
14. Andersson H, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(2):372–380. [[PubMed](#)]
15. De Nardi M, La Torre A, Barassi A, Ricci C, Banfi G. Effects of cold-water immersion and contrast-water therapy after training in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011;51(4):609–615. [[PubMed](#)]
16. Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P. Effects of electrostimulation therapy on recovery from acute team-sport activity. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(3):293–299. [[PubMed](#)]
17. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard JR, Brisswalter J. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One*. 2011;6(12):e27749. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
18. Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in soccer: part ii-recovery strategies. *Sports Med*. 2013;43(1):9–22. [[PubMed](#)]
19. Pruscino CL, Halson S, Hargreaves M. Effects of compression garments on recovery following intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(6):1585–1596. [[PubMed](#)]

20. Versey NG, Halson SL, Dawson BT. Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Med.* 2013;43(11):1101–1130. [[PubMed](#)]
21. Beever R. Far-infrared saunas for treatment of cardiovascular risk factors:summary of published evidence. *Can Fam Physician.* 2009;55(7):691–696. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
22. Inoue S, Takemoto M, Chishaki A, Ide T, Nishizaka M, Miyazono M, Sawatari H, Sunagawa K. Leg heating using far infra-red radiation in patients with chronic heart failure acutely improves the hemodynamics, vascular endothelial function, and oxidative stress. *Intern Med.* 2012;51(17):2263–2270. [[PubMed](#)]
23. Vatansever F, Hamblin MR. Far infrared radiation (FIR):its biological effects and medical applications. *Photonics Lasers Med.* 2012;4:255–266. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
24. Conrado LA, Munin E. Reduction in body measurements after use of a garment made with synthetic fibers embedded with ceramic nanoparticles. *J Cosmet Dermatol.* 2011;10(1):30–35. [[PubMed](#)]
25. Ko GD, Berbrayer D. Effect of ceramic-impregnated „thermoflow” gloves on patients with Raynaud's syndrome: randomized, placebo-controlled study. *Altern Med Rev.* 2002;7(4):328–335. [[PubMed](#)]
26. Hsu YH, Chen YC, Chen TH, Sue YM, Cheng TH, Chen JR, Chen CH. Far-infrared therapy induces the nuclear translocation of PLZF which inhibits VEGF-induced proliferation in human umbilical vein endothelial cells. *PLoS One.* 2012;7(1):e30674. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
27. Leung TK, Lee CM, Tsai SY, Chen YC, Chao JS. A Pilot Study of Ceramic Powder Far-Infrared Ray Irradiation (cFIR) on Physiology: Observation of Cell Cultures and Amphibian Skeletal Muscle. *Chin J Physiol.* 2011;54(4):247–254. [[PubMed](#)]
28. Tu YP, Chen SC, Liu YH, Chen CF, Hour TC. Postconditioning with far-infrared irradiation increases heme oxygenase-1 expression and protects against ischemia/reperfusion injury in rat testis. *Life Sci.* 2013;92(1):35–41. [[PubMed](#)]
29. Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *J Sports Sci Med.* 2008;7(2):235–241. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
30. Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids:a randomized, double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9:20. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
31. Cleak MJ, Eston RG. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *Br J Sports Med.* 1992;26(4):267–272. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]
32. Vaile JM, Gill ND, Blazeovich AJ. The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2007;21(3):697–702. [[PubMed](#)]
33. Willoughby DS, McFarlin B, Bois C. Interleukin-6 expression after repeated bouts of eccentric exercise. *Int J Sports Med.* 2003;24(1):15–21. [[PubMed](#)]

34. Bosco C, Tihanyi J, Komi PV, Fekete G, Apor P. Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand.* 1982;116(4):343–349. [[PubMed](#)]
35. Miyama M, Nosaka K. Influence of surface on muscle damage and soreness induced by consecutive drop jumps. *J Strength Cond Res.* 2004;18(2):206–211. [[PubMed](#)]
36. Nosaka K, Kuramata T. Muscle soreness and serum enzyme activity following consecutive drop jumps. *J Sports Sci.* 1991;9(2):213–220. [[PubMed](#)]
37. Skurvydas A, Dudoniene V, Kalvenas A, Zuoza A. Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scand J Med Sci Sports.* 2002;12(1):34–39. [[PubMed](#)]
38. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
39. Bagnato GL, Miceli G, Atteritano M, Marino N, Bagnato GF. Far infrared emitting plaster in knee osteoarthritis: a single blinded, randomised clinical trial. *Reumatismo.* 2012;64(6):388–394. [[PubMed](#)]
40. Fielding RA, Manfredi TJ, Ding W, Fiatarone MA, Evans WJ, Cannon JG. Acute phase response in exercise. III. Neutrophil and IL-1 beta accumulation in skeletal muscle. *Am J Physiol.* 1993;265(1 Pt. 2):R166–172. [[PubMed](#)]
41. Wong CH, Lin LC, Lee HH, Liu CF. The analgesic effect of thermal therapy after total knee arthroplasty. *J Altern Complement Med.* 2012;18(2):175–179. [[PubMed](#)]
42. Lai CH, Leung TK, Peng CW, Chang KH, Lai MJ, Lai WF, Chen SC. Effects of far-infrared irradiation on myofascial neck pain: a randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study. *J Altern Complement Med.* 2014;20(2):123–129. [[PubMed](#)]
43. Skurvydas A, Brazaitis M, Venckunas T, Kamandulis S. Predictive value of strength loss as an indicator of muscle damage across multiple drop jumps. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011;36(3):353–360. [[PubMed](#)]
44. Yang CS, Yeh CH, Tung CL, Chen MY, Jiang CH, Yeh ML. Impact of far-infrared ray exposure on the mechanical properties of unwounded skin of rats. *Exp Biol Med (Maywood).* 2010;235(8):952–956. [[PubMed](#)]
45. Park JH, Lee S, Cho DH, Park YM, Kang DH, Jo I. Far-infrared radiation acutely increases nitric oxide production by increasing Ca<sup>2+</sup> mobilization and Ca<sup>2+</sup>/calmodulin-dependent protein kinase II-mediated phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase at serine 1179. *Biochem Biophys Res Commun.* 2013;436(4):601–606. [[PubMed](#)]
46. Kanda K, Sugama K, Hayashida H, Sakuma J, Kawakami Y, Miura S, Yoshioka H, Mori Y, Suzuki K. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exerc Immunol Rev.* 2013;19:72–85. [[PubMed](#)]
47. Paulsen G, Crameri R, Benestad HB, Fjeld JG, Morkrid L, Hallen J, Raastad T. Time course of leukocyte accumulation in human muscle after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(1):75–85. [[PubMed](#)]
48. Paulsen G, Mikkelsen UR, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc Immunol Rev.* 2012;18:42–97. [[PubMed](#)]

49. Lin CC, Liu XM, Peyton K, Wang H, Yang WC, Lin SJ, Durante W. Far infrared therapy inhibits vascular endothelial inflammation via the induction of heme oxygenase-1. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2008;28(4):739–745. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)]