

EFFETTI COMBINATI DELLA CRIOTERAPIA LOCALIZZATA E DELLA COMPRESSIONE INTERMITTENTE SULLA PRESTAZIONE E SUL RECUPERO MUSCOLARE NELLO SPORT

Hausswirth C.^{^1,2,3,4}, Lepers R.^{^3}, Coste A.^{^1}, Millour G.^{^1,5}

^{^1} Istituto beScored, Sophia-Antipolis (Francia);

^{^2} Università Côte d'Azur, Nizza (Francia);

^{^3} Università della Borgogna, Digione (Francia);

^{^4} University of Technology, UTS, Sydney (Australia);

^{^5} Università di Nantes (Francia)



1. INTRODUZIONE

L'esercizio fisico è ampiamente riconosciuto per i suoi benefici sulla salute, svolgendo un ruolo chiave nella prevenzione di malattie croniche come le patologie cardiovascolari, il diabete di tipo 2 o alcuni tipi di cancro. Secondo Khan et al. (2012), la pratica regolare di un'attività sportiva è associata a una riduzione del 20–40% della mortalità per tutte le cause. Tuttavia, sforzi intensi o non abituali possono anche provocare effetti indesiderati, come dolori muscolari (Wolska et al., 2023), disturbi del sonno (Silva et al., 2019) o una fatica globale che comprende sia la dimensione fisica sia quella mentale (Berger et al., 2024). Questi effetti possono non solo compromettere la performance, ma anche incidere negativamente sul benessere generale degli atleti. Per attenuare tali conseguenze, sono state sviluppate diverse strategie di recupero, tra cui la supplementazione nutrizionale (Gauche et al., 2007), i massaggi post-esercizio (Weerapong et al., 2005), l'uso di indumenti compressivi (Jakeman et al., 2010), la crioterapia corpo intero (CCE) (Pournot et al., 2011) e l'esposizione del corpo agli infrarossi a onde lunghe (Hauswirth et al., 2011).

Tra le modalità di recupero più diffuse, l'immersione in acqua fredda e l'applicazione del freddo (come giubbotti refrigeranti o la CCE) si distinguono per la loro efficacia nel ridurre i danni muscolari (Murray et al., 2015). Diversi studi mostrano che l'immersione in acqua fredda consente di diminuire la rigidità muscolare e l'entità dei danni post-esercizio, in particolare dopo attività eccentriche intense, durante le quali i muscoli sono sottoposti a sollecitazioni elevate (Eston et al., 1999). Quando il corpo è esposto al freddo, entrano in gioco diversi meccanismi biologici. In particolare, l'esposizione al freddo induce una vasocostrizione che limita la permeabilità dei vasi sanguigni; questa azione riduce i processi infiammatori e, di conseguenza, attenua i dolori muscolari (Bailey et al., 2007). Inoltre, la crioterapia potrebbe favorire la rimozione del lattato in seguito a esercizi di elevata intensità, contribuendo così a ridurre la sensazione di affaticamento muscolare (Bastos et al., 2012). Le temperature criogeniche possono anche esercitare un effetto analgesico, probabilmente legato all'attivazione del sistema endocrino, che stimola la secrezione di endorfine, ormoni naturali in grado di attenuare il dolore, riducendo al contempo le concentrazioni di istamina e di lattato nei tessuti infiammati (Wolska et al., 2023). Tali effetti benefici del freddo sono mediati da diversi meccanismi:

- Attivazione di vie cellulari e molecolari: la crioterapia favorisce infatti la liberazione di citochine antinfiammatorie e di fattori di crescita che contribuiscono alla riparazione dei tessuti.

- Equilibrio tra pro-ossidanti e antiossidanti: Le basse temperature influenzano l'equilibrio tra le specie reattive dell'ossigeno (pro-ossidanti) e gli antiossidanti, riducendo così i danni cellulari.
- Stabilizzazione delle membrane lisosomiali: Stabilizzando le membrane dei lisosomi, il freddo inibisce il rilascio di enzimi attivi che potrebbero contribuire all'infiammazione e ai danni muscolari (Rose et al., 2017).

Per ottimizzare il recupero, l'associazione tra crioterapia e compressione intermittente degli arti coinvolti nell'esercizio rappresenta un approccio promettente (Martínez-Guardado et al., 2020). La compressione intermittente migliora il flusso linfatico e sanguigno, facilitando così l'eliminazione dei metaboliti generati dai danni muscolari. Questa tecnica ha dimostrato la sua efficacia nel ridurre la percezione di fatica muscolare, in particolare dopo sforzi prolungati come gli ultramaratoni (Hoffman et al., 2016). Esercitando pressione sulle vene dilatate, la compressione riduce il reflusso venoso e favorisce il ritorno sanguigno al cuore, diminuendo al contempo gli edemi post-esercizio (Sarin et al., 1992). Stimola anche la "pompa muscolare", accelerando il flusso sanguigno e favorendo l'apporto di nutrienti essenziali ai muscoli in fase di recupero (O'Riordan et al., 2023).

Inoltre, l'uso di indumenti compressivi si è rivelato efficace nel migliorare il recupero della forza e della potenza dopo l'esercizio, contribuendo anche a limitare i danni muscolari (Kraemer et al., 2001). La compressione ha un impatto significativo sui livelli di creatina chinasi, un marcatore dei danni muscolari, e supporta i processi di riparazione tissutale (Born et al., 2013).

Alla luce di queste evidenze, appare quindi pertinente valutare l'effetto della tecnologia CryoPush®, che combina crioterapia e compressione intermittente applicate agli arti inferiori, per ottimizzare il recupero dopo un esercizio fisico intenso e traumatico per i muscoli.

2. OBIETTIVO E IPOTESI

L'obiettivo principale di questo studio è valutare gli effetti delle sessioni di recupero con la tecnologia CryoPush® dopo un esercizio fisico che induce affaticamento muscolare locale in soggetti sportivi occasionali. La nostra ipotesi è che queste sessioni di recupero migliorino la cinetica del recupero e ottimizzino le prestazioni muscolari. Ciò si tradurrebbe in una riduzione dei marker infiammatori, un recupero più efficace dei parametri di forza e potenza muscolare, una diminuzione della fatica fisica e mentale, e un attenuarsi dei dolori muscolari dopo esercizi intensi, rispetto a una modalità di recupero passivo.

3. MATERIALI E METODI

3.1. Partecipanti

In totale, 15 partecipanti hanno preso parte volontariamente a questo studio (vedi Sezione 4.1 per le caratteristiche dettagliate dei partecipanti). I criteri di inclusione e di esclusione erano i seguenti:

Criteri di inclusione:

- Volontario in buona salute;
- Sesso maschile;
- Età compresa tra 20 e 55 anni;
- Pratica regolare di attività fisica e sportiva (due-quattro volte a settimana);
- Non fumatore;
- Assenza di dolori muscolari superiori a una settimana;
- Non assumere regolarmente farmaci antinfiammatori non steroidei o aspirina.

Criteri di esclusione:

- Persone vulnerabili, come definite dagli articoli L.1121-5 a L.1121-8 e L.1122-1-2 del Codice della Salute Pubblica (ad es. persone private della libertà, minorenni, adulti tutelati, ecc.);
- Persone con controindicazioni mediche alla realizzazione di sessioni CryoPush®, basate sulle raccomandazioni del produttore:
 - Donne in gravidanza, pazienti con ipertensione, diabete o disturbi circolatori, malattia vascolare ischemica, insufficienza cardiaca congestizia, malattie polmonari, neuropatia;
 - Persone con ferite aperte o arti insensibili al dolore, con innesti cutanei recenti, dermatiti, gangrena, legature venose, edema massivo o deformazioni estreme dell'area interessata;
 - Intolleranza al freddo;
 - Malattie vascolari.

Tutti i partecipanti hanno firmato un modulo attestante di non presentare nessuna delle controindicazioni sopra descritte.

3.2. Disegno sperimentale

Lo studio è stato condotto come uno studio randomizzato, controllato, in crossover.

Ogni partecipante ha sperimentato due modalità di recupero dopo un esercizio faticoso: il recupero mediante la tecnologia CryoPush® (Figura 1) e il recupero passivo in posizione supina. L'ordine delle condizioni è stato assegnato in modo casuale.



Figura 1. Illustrazione del dispositivo CryoPush®

Durante le sessioni con CryoPush®, un tessuto fornito dal produttore veniva posizionato sugli arti inferiori dei partecipanti, dal tratto superiore della coscia fino a metà polpaccio. All'interno di ciascuna manica CryoPush® venivano inseriti dei pacchetti di ghiaccio rimovibili e riutilizzabili, precedentemente conservati in congelatore. Le maniche avvolgevano quindi entrambi gli arti inferiori e erano collegate a una pompa che generava una compressione alternata tra le due gambe, raggiungendo progressivamente una pressione di 60 mmHg. Il protocollo è illustrato nella Figura 2.

Le sessioni di esercizio e recupero erano precedute e seguite da una batteria di test durante le varie giornate di valutazione (Figura 3). Tutte queste misurazioni costituiscono le variabili dipendenti e saranno descritte più dettagliatamente nella sezione Strumenti e misurazioni. Le giornate di valutazione erano distribuite su due settimane (Fase 1 e Fase 2, differenziate in base alla modalità di recupero), separate da un periodo di wash-out di due settimane per consentire un recupero ottimale. Per limitare e controllare lo sviluppo di ulteriore affaticamento, ai partecipanti è stato richiesto di non allenarsi nei due giorni precedenti l'inizio della Fase 1 e della Fase 2, né nei due giorni successivi all'esercizio faticoso durante i quali venivano effettuate le misurazioni.

Inoltre, due settimane prima dell'inizio dello studio è stata realizzata una sessione di familiarizzazione con il protocollo faticoso.

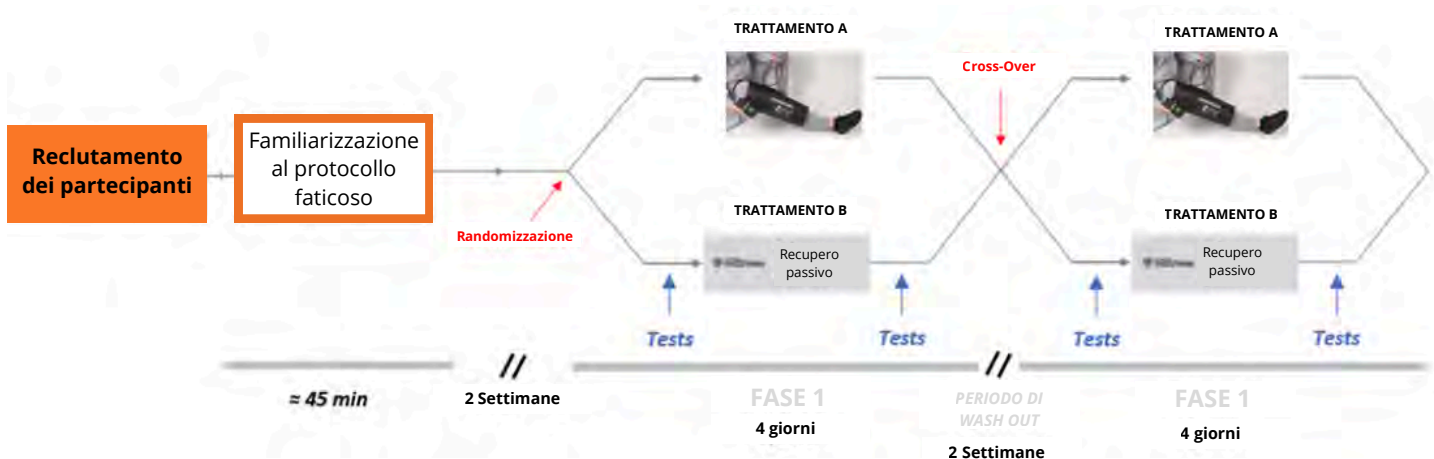


Figura 2. Rappresentazione schematica del disegno sperimentale in crossover

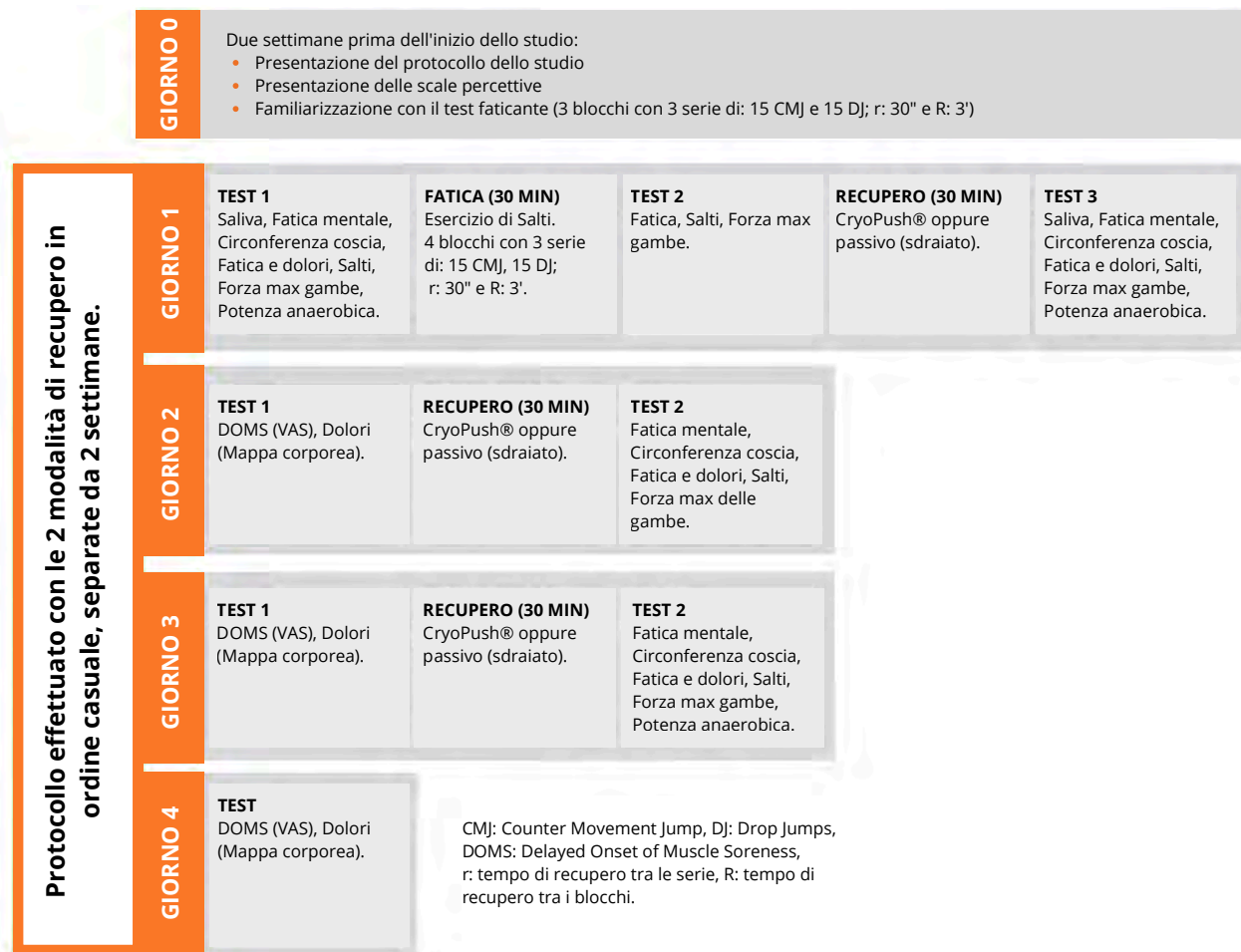


Figura 3. Rappresentazione schematica del protocollo sperimentale

Test di fatica: Il test di fatica, eseguito solo durante la prima giornata di valutazione (J1) di ciascuna fase (Fase 1 e Fase 2), consisteva in esercizi di salti ripetuti di tipo counter movement jump (CMJ) e drop jump (DJ).

Durante i CMJ, il partecipante partiva da posizione eretta e avviava un movimento verso il basso fino a flettere le ginocchia a 90°. Subito dopo questa flessione, si estendevano gli arti inferiori per la fase di spinta, con l'obiettivo di saltare il più in alto possibile.

Nei DJ, il partecipante era inizialmente posizionato su un gradino alto 30 cm. Doveva scendere dal gradino, atterrare con entrambi i piedi a contatto completo con il suolo e flettere le ginocchia per ammortizzare l'impatto. Subito dopo l'atterraggio, doveva eseguire un salto verticale mirato alla massima altezza nel minor tempo possibile. Questi esercizi pliometrici sono noti per generare un'elevata fatica muscolare dinamica e locale (Skurvydas et al., 2002; Fowler et al., 1997).

I partecipanti eseguivano 4 blocchi, ciascuno composto da 3 serie di 15 CMJ e 15 DJ, per un totale di 90 salti per blocco e 360 salti complessivi, alternando CMJ e DJ. Il recupero tra le serie era di 30 secondi, mentre il recupero tra i blocchi era di 3 minuti.

Durante la sessione di familiarizzazione, svolta due settimane prima dell'inizio dello studio, i partecipanti eseguivano 3 blocchi di 3 serie di 15 CMJ e 15 DJ, per un totale di 270 salti, per prendere confidenza con il protocollo faticoso.

Sessioni di recupero: Le sessioni di recupero venivano effettuate subito dopo l'esercizio faticoso e nei due giorni successivi (J2 e J3), per contrastare l'effetto ritardato dei dolori muscolari (DOMS). Come già descritto, la modalità di recupero prevedeva l'uso della tecnologia CryoPush® oppure un recupero passivo.

Indipendentemente dalla modalità scelta, ogni sessione di recupero aveva una durata di 30 minuti.

3.3. Strumenti e misurazioni

3.3.1. Marker infiammatori

Durante lo studio, sono stati effettuati prelievi salivari all'inizio della prima giornata di test e 1 ora dopo la conclusione dell'esercizio faticoso in ciascuna fase, per misurare i livelli della citochina pro-infiammatoria Interleuchina 1 beta (IL-1 β). La letteratura scientifica suggerisce che i prelievi vadano eseguiti tra 45 e 100 minuti dopo lo stimolo, per osservare i picchi di risposta delle citochine salivari (Szabo et al., 2021). I campioni sono stati congelati e successivamente analizzati da un laboratorio certificato di analisi biologiche (Cerballiance - Grand Saint-Jean).

Sono state inoltre eseguite misurazioni antropometriche della coscia destra utilizzando un metro a nastro, secondo una procedura standardizzata, all'inizio di J1 e dopo le sessioni di recupero in J1, J2 e J3. Tutte le misurazioni sono state effettuate dallo stesso operatore, che ha preliminarmente identificato con un pennarello la zona della coscia con la circonferenza massima. Per garantire la riproducibilità, la distanza tra la sommità della rotula e la zona di circonferenza massima è stata misurata e riprodotta in ogni fase di test per ciascun partecipante.

Queste misurazioni permettono di valutare cambiamenti acuti nel volume della coscia, come l'edema, che possono verificarsi a seguito di esercizi eccentrici intensi (Fielding et al., 2000).

3.3.2. Fatica muscolare a bassa frequenza

Dopo le misurazioni antropometriche, la fatica muscolare dei quadricipiti è stata oggettivata utilizzando un dispositivo scientificamente validato, il Myocene® (Ridard et al., 2022) (Figura 4). Le misurazioni sono state effettuate prima e dopo l'esercizio faticoso e dopo i periodi di recupero in J1, J2 e J3.

I partecipanti erano seduti sul sedile del dispositivo, con la gamba in contatto con il Myo-sensor, un sensore di forza capace di registrare le contrazioni a una frequenza di 4 kHz. Sulla coscia destra sono state posizionate tre elettrodi (MyoPro1, Myocene, Liège, Belgio): la cathode (5 × 10 cm) trasversalmente sulla parte prossimale del retto femorale, e le anodi (5 × 5 cm) rispettivamente sul muscolo vasto laterale e sul muscolo vasto mediale.

Treni di stimoli elettrici preprogrammati sono stati inviati direttamente dal dispositivo, pilotato dal software Myocene®, per valutare la capacità del muscolo di generare forza e monitorare la fatica muscolare a basse frequenze.

La serie di stimolazioni prevedeva tre tipi di impulsi: 1. Impulso singolo; 2. Treno di 5 stimoli a bassa frequenza (20 Hz); 3. Treno di 18 stimoli ad alta frequenza (120 Hz).

Tra ogni stimolazione era previsto un intervallo di 1 secondo. In totale sono state effettuate 16 serie, separate da 5 secondi l'una dall'altra, e l'intensità di stimolazione è stata progressivamente aumentata di 1 mA per serie, passando da 25 mA a 40 mA.

La durata complessiva della valutazione della fatica muscolare a bassa frequenza con il dispositivo era di circa 2 minuti. Il software Myocene® integra un algoritmo specifico che permette la misura istantanea e automatica della fatica muscolare.

Per ciascuna serie, è stato calcolato il rapporto tra la forza a bassa frequenza e quella ad alta frequenza, e il Powerdex, espresso in percentuale e corrispondente al valore mediano di tutti questi rapporti, è stato fornito come risultato finale della misurazione.

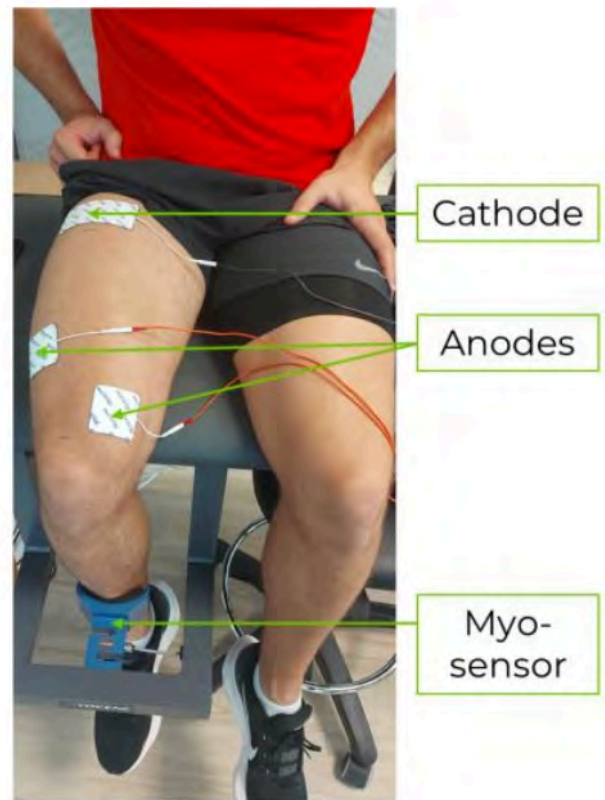


Figura 4. Illustrazione del dispositivo Myocene®

3.3.3. Prestazione esplosiva misurata durante i salti

Dopo un riscaldamento di 5 minuti a potenza e cadenza libera su un cicloergometro (LC6 Novo, Monark Exercise AB, Vansbro, Svezia) regolato in base alla morfologia di ciascun partecipante, è stata valutata la performance esplosiva degli arti inferiori.

I partecipanti hanno eseguito tre ripetizioni di Squat Jump (SJ) e tre ripetizioni di Counter Movement Jump (CMJ), con 30 secondi di recupero tra ciascuna ripetizione (Figura 5A, 5B). Nei Squat Jump (SJ), i partecipanti flettevano le ginocchia a 90° e mantenevano la posizione per circa 3 secondi, con le mani sui fianchi, prima di saltare il più in alto possibile senza contro-movimento (cioè senza spinta verso il basso).

Il tempo di volo è stato misurato tramite piattaforme di forza K-Delta (Kinvent®, Montpellier, Francia) collegate all'applicazione Kinvent Physio®, che ha permesso il calcolo dell'altezza dei salti (Albano et al., 2019).

Questi test di salto sono stati ripetuti dopo l'esercizio faticoso e dopo ciascuna sessione di recupero in J1, J2 e J3, per monitorare gli effetti dell'affaticamento e l'efficacia delle modalità di recupero (CryoPush® vs recupero passivo) sulla performance esplosiva.

3.3.4. Forza massima degli estensori del ginocchio

Cinque minuti dopo ciascun esercizio di salto descritto in precedenza, è stata valutata la forza muscolare isometrica degli estensori del ginocchio dell'arto inferiore destro, espressa in Newton (N).

I test sono stati eseguiti su una panca per estensione della gamba dotata di una catena a maglie in acciaio e di un sensore S-force (ME-Meßsys-teme GmbH, Germania, modello KD40s, ± 5 kN) (Figura 5C). La lunghezza della catena è stata regolata in modo che l'angolo del ginocchio fosse di circa 90° per ciascun soggetto.

Il sensore S-force era collegato a un computer tramite un amplificatore di misura digitale (GSV-3USB) e il software di acquisizione dati GSVmulti (versione 1.39.6.8). Questo software consentiva la visualizzazione in tempo reale e la registrazione dei dati, campionati a una frequenza di 100 Hz.

Sono stati effettuati due tipi di test:

- tre prove massimali della durata di 3 secondi ciascuna, per valutare la forza isometrica volontaria massima (Forza massima, FMax);
- una prova della durata di 30 secondi con impegno massimo, per valutare la performance muscolare media (Forza media, FMoy).

Ogni prova era separata da un periodo di recupero di 45 secondi.

3.3.5. Potenza anaerobica

Infine, è stato eseguito un test di Wingate su cicloergometro (Figura 5D) per misurare la performance anaerobica all'inizio e alla fine di J1 e alla fine di J3 (ogni volta 5 minuti dopo i test isometrici). Le regolazioni della sella e del manubrio sono state registrate dopo il riscaldamento e riprodotte identicamente per ciascuna prova, al fine di garantire un'elevata riproducibilità del posizionamento tra i test.

Il cicloergometro era collegato a un computer e il software Monark (Monark Exercise AB) è stato utilizzato per progettare il protocollo Wingate, controllare il dispositivo e registrare i dati, campionati a una frequenza di 1 Hz.

Dopo 3 minuti di pedalata a potenza e cadenza libere, il test di Wingate iniziava con una fase iniziale di 15 secondi contro una resistenza di 10 N, seguita immediatamente da un esercizio massimale di 30 secondi contro una resistenza proporzionale al peso corporeo dei soggetti (7,5% del peso corporeo). I partecipanti erano incoraggiati a mantenere la massima cadenza di pedalata possibile per tutta la durata dei 30 secondi. Al termine del test sono state calcolate la potenza massima e la potenza media.



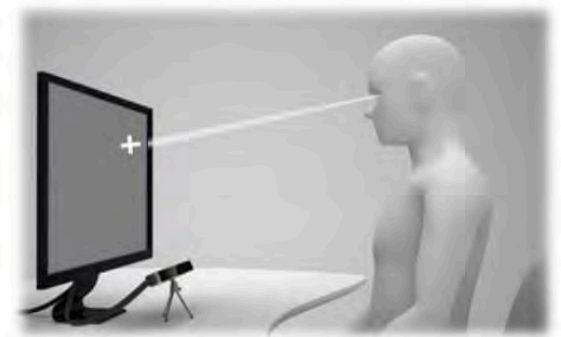
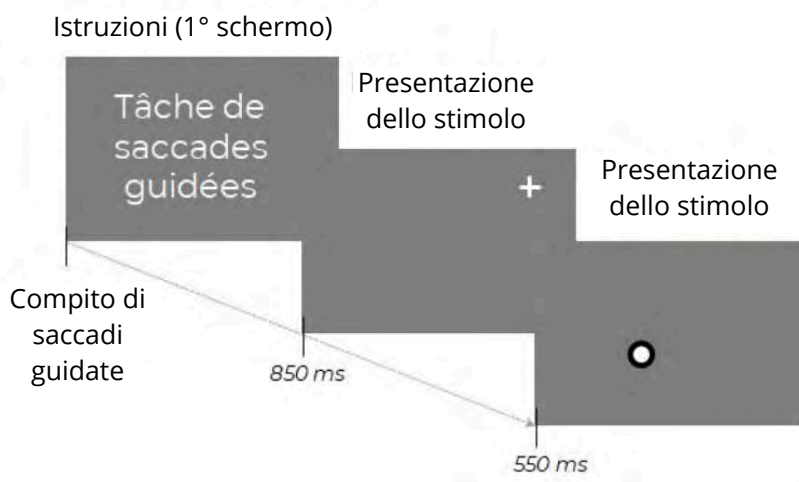
Figura 5. Illustrazione dei diversi esercizi svolti nello studio per indurre uno stato di fatica muscolare o per valutare la performance. (A: Counter Movement Jump; B: Squat Jump; C: misurazione della forza isometrica degli estensori del ginocchio; D: test di Wingate sul cicloergometro Monark LC6 Novo).

3.3.6. Fatica mentale

La fatica mentale è stata valutata in modo soggettivo mediante una scala analogica visiva numerica all'inizio di J1 e immediatamente dopo le sessioni di recupero in J1, J2 e J3. Ai partecipanti veniva chiesto di indicare il livello di fatica mentale percepita spostando un cursore su una scala da 0 ("per niente affaticato/a") a 10 ("mentalmente esausto/a"). Successivamente, è stata eseguita una tarefa di saccadi guidate (Di Stasi et al., 2014) per valutare in modo oggettivo il livello di fatica mentale (Figura 6). In questa prova, ai partecipanti veniva richiesto di seguire dei bersagli che apparivano successivamente su uno schermo di computer. La sequenza di presentazione degli stimoli visivi era composta da una croce di fissazione mostrata per 850 ms, seguita da un cerchio presentato per 550 ms. In totale, durante ciascuna sessione di test, i partecipanti eseguivano un blocco di 48 saccadi guidate.

Queste 48 saccadi corrispondevano alla combinazione di quattro posizioni di partenza (i quattro angoli dello schermo), quattro ampiezze di saccade (8° , 12° , 16° e 20° di angolo visivo) e tre direzioni (verticale, orizzontale e diagonale). I movimenti oculari sono stati registrati mediante un oculometro Tobii Pro X3-120® (Tobii Technology, Danderyd, Svezia) con una frequenza di campionamento di 120 Hz.

Successivamente, sono state analizzate la velocità massima delle saccadi, una misura ampiamente utilizzata nella letteratura scientifica (Di Stasi et al., 2014), e la velocità media delle saccadi per ampiezze comprese tra 15° e 20° . Quest'ultima misura risulta meno influenzata da eventuali valori anomali rispetto alla velocità massima, che si basa su un singolo valore. Infine, è stata stabilita la relazione tra velocità e ampiezza dei picchi di saccade ed è stata adattata una funzione di potenza per calcolare l'area sotto la curva corrispondente alle ampiezze delle saccadi comprese tra 5° e 20° .



Eye tracker Tobii Pro x3-120®

Figura 6. Illustrazione del compito di saccadi guidate

3.3.7. Variabili percettive

Per completare le misurazioni precedentemente descritte, la sensazione di gambe pesanti dopo i salti è stata valutata mediante una scala visiva analogica (EVA) cartacea dotata di cursore scorrevole (Figura 7).

- Lato anteriore: riportava la domanda, ad esempio “Come giudicate lo stato delle vostre gambe in questo momento?” e una barra lineare con due estremità: in basso “molto molto leggera” e in alto “molto molto pesanti”. I partecipanti spostavano il cursore lungo la barra per indicare il livello percepito.
- Lato posteriore: una scala numerica da 0 (molto molto leggera) a 10 (molto molto pesanti) permetteva all’investigatore di leggere il valore senza che il partecipante lo vedesse.

Prima di ciascuna sessione successiva all’esercizio faticoso (J2, J3 e J4), è stata utilizzata una EVA simile per misurare il Delayed Onset of Muscle Soreness (DOMS), ovvero i dolori muscolari a insorgenza ritardata (Mattacola et al., 1997).

Inoltre, l’intensità globale del dolore è stata valutata all’inizio di ciascuna sessione e dopo le periodi di recupero in J1, J2 e J3 mediante una mappa corporea digitale (bodily map) (Rigoard et al., 2021). I partecipanti utilizzavano il mouse per posizionare cerchi colorati sulle zone dolorose su silhouette 3D del corpo:

- Tre dimensioni di cerchi (piccolo, medio, grande) indicavano l’estensione della zona dolorosa;
- Possibilità di scegliere tra lato anteriore o posteriore del corpo;
- Un codice colore indicava l’intensità del dolore: rosso = severo, rosa scuro = moderato, rosa chiaro = lieve.

Per ogni zona, il punteggio di dolore era calcolato come:

$$\text{Punteggio dolore zona} = \text{Superficie} \times \text{Intensità}$$

dove l’intensità e la superficie erano associate a coefficienti:

- Intensità: 1 = lieve, 2 = moderata, 3 = severa
- Superficie: 1 = piccola, 2 = media, 3 = grande

Il punteggio di dolore globale era ottenuto sommando tutti i punteggi delle zone dolorose:

$$\text{Punteggio dolore globale} = \sum_{i=1}^n (\text{Superficie}_i \times \text{Intensità}_i)$$

dove n rappresenta il numero totale di zone dolorose indicate dal partecipante.

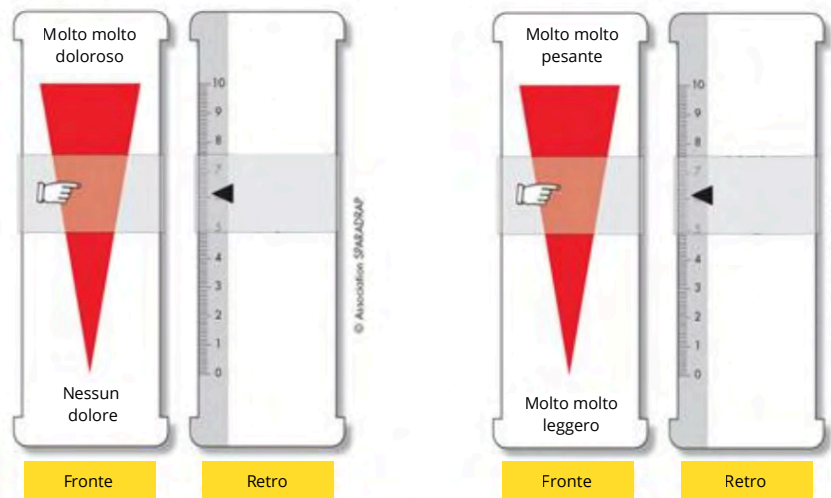


Figura 7. Illustrazione delle scale analogiche e della bodily map utilizzate nello studio per valutare in modo soggettivo il livello di DOMS e la sensazione di gambe pesanti, nonché l'intensità del dolore su tutto il corpo.

3.4. Analisi statistica

Per analizzare tutti questi dati quantitativi, è stata eseguita una ANOVA a due vie con misure ripetute (modalità di recupero × periodo) per confrontare gli effetti della modalità di recupero (CryoPush® vs. recupero passivo) nei diversi momenti di misura (Pre, Post, Post 24h e Post 48h).

La normalità della distribuzione, l'omogeneità delle varianze e l'ipotesi di sfericità sono state verificate rispettivamente con i test di Shapiro-Wilk, Levene e Mauchly.

Se l'analisi della varianza mostrava un'interazione tra modalità di recupero e periodo, venivano eseguiti test post-hoc HSD di Tukey per identificare differenze significative tra le coppie di condizioni. Le misurazioni effettuate tra il protocollo di fatica e quello di recupero hanno permesso di assicurarsi che il livello di fatica dopo l'esercizio faticoso fosse uguale in entrambe le fasi, indicando che i partecipanti avevano compiuto uno sforzo simile.

A tal fine, sono stati eseguiti test t di Student per campioni appaiati per confrontare la variazione di forza muscolare, esplosività (salti) e fatica muscolare a bassa frequenza (Myocene®) tra pre e post esercizio faticoso nelle due fasi sperimentali (CryoPush® vs. recupero passivo). Il livello di significatività è stato fissato a $p < 0,05$.

4. RISULTATI

4. Caratteristiche generali dei partecipanti

Le caratteristiche iniziali del nostro campione sono riportate nella Tabella 1 qui sotto. Il campione era esclusivamente maschile e praticava attività fisica in maniera ricreativa, con una frequenza di 2-4 sedute settimanali.

Tabella 1. Caratteristiche dei partecipanti al momento dell'inclusione. I valori sono espressi come media \pm deviazione standard, con minimi e massimi tra parentesi quadre.

Caratteristica	Valore
Sesso, n (%)	Maschi N = 15 (100%)
Età (anni)	39 \pm 9 [25 - 50]
Massa corporea (kg)	77,6 \pm 7,6 [67,0 - 92,0]
Altezza (m)	1,80 \pm 0,05 [1,73 - 1,89]
Indice di massa corporea (kg/m²)	24,0 \pm 2,2 [21,2 - 29,1]

4.2. Esercizio faticoso: performance e fatica indotta dall'esercizio

Abbiamo osservato che l'altezza media dei salti durante il test di fatica era statisticamente identica nelle due fasi sperimentali (Recupero passivo: 17,5 \pm 4,8 cm vs. CryoPush®: 18,1 \pm 3,9 cm, $p = 0,26$).

Per garantire che la fatica indotta dalla ripetizione dei salti fosse simile, è stata calcolata la variazione di:

- forza isometrica durante i test di 3 secondi (Fmax) e 30 secondi (Fmoy),
- esplosività durante SJ e CMJ,
- fatica muscolare misurata con il dispositivo Myocene®,

tra le misurazioni effettuate all'inizio della sessione e dopo i 4 blocchi da 90 salti:

- La Fmax è diminuita del 20 \pm 12 % nella fase di recupero passivo e del 20 \pm 10 % nella fase CryoPush® ($p = 0,91$).
- La Fmoy è diminuita rispettivamente del 27 \pm 8 % e del 21 \pm 10 % dopo l'esercizio nelle fasi passiva e CryoPush® ($p = 0,08$).

- L'altezza media dei salti è diminuita del $5 \pm 7 \%$ per gli SJ e del $4 \pm 7 \%$ per i CMJ nella fase di recupero passivo, e dell' $8 \pm 5 \%$ per gli SJ e dell' $8 \pm 4 \%$ per i CMJ nella fase CryoPush® ($p = 0,32$ per gli SJ e $p = 0,10$ per i CMJ).
- L'indice di fatica muscolare, evidenziato dalla riduzione del Powerdex, ha mostrato una diminuzione del $31 \pm 9 \%$ nella fase passiva e del $29 \pm 15 \%$ nella fase CryoPush® ($p = 0,65$).

4.3. Marcatori infiammatori

Il livello di IL-1 β , un marcatore dell'infiammazione muscolare, è stato misurato tramite prelievi salivari all'inizio e alla fine della prima visita delle fasi Recupero passivo e CryoPush®. Nella fase passiva, il livello di IL-1 β è passato da $0,51 \pm 0,10$ pg/mL a $4,02 \pm 1,55$ pg/mL, mentre nella fase CryoPush® è passato da $0,50 \pm 0,10$ pg/mL a $3,25 \pm 1,45$ pg/mL. L'analisi statistica ha evidenziato un effetto significativo della modalità di recupero ($p = 0,008$), un effetto del periodo ($p < 0,001$) e un effetto di interazione ($p = 0,007$). I test post-hoc hanno confermato un aumento significativo di IL-1 β dopo la sessione rispetto al valore pre-seduta, sia nella fase passiva ($+6,9\%$, $p < 0,001$) sia nella fase CryoPush® ($+5,5\%$, $p < 0,001$). Inoltre, è stata osservata una differenza significativa tra i valori post-seduta delle due fasi ($p = 0,033$).

Le misurazioni antropometriche della circonferenza della coscia (Figura 8A), utilizzate per caratterizzare l'edema muscolare prima e dopo il recupero, nonché a 24h e 48h post-esercizio, hanno evidenziato un effetto della modalità di recupero ($p = 0,016$) e un effetto di interazione ($p < 0,001$). I test post-hoc hanno mostrato una diminuzione della circonferenza della coscia dopo la seduta nella fase CryoPush® ($57,7 \pm 4,0$ cm in pre vs. $57,4 \pm 4,2$ cm in post, $p = 0,044$), mentre nella fase passiva si è osservato un leggero aumento, non significativo. Questo ha generato una differenza significativa tra i valori post-seduta delle due fasi (Passivo: $58,0 \pm 4,1$ cm vs. CryoPush®: $57,4 \pm 4,2$ cm, $p = 0,048$).

4.4. Fatica muscolare a bassa frequenza

Per quanto riguarda le misurazioni della fatica muscolare (Figura 8B), determinate dai valori di Powerdex tramite il dispositivo Myocene®, abbiamo osservato un effetto della modalità di recupero ($p = 0,014$), un effetto del periodo ($p < 0,001$) e un effetto di interazione ($p = 0,02$). Nella fase Recupero passivo, il Powerdex è diminuito subito dopo la prima seduta rispetto ai valori pre-esercizio (-21% , $p < 0,001$), per poi aumentare a post 24h ($+22\%$, $p < 0,001$) e post 48h ($+25\%$, $p < 0,001$). Nella fase CryoPush®, è stata osservata una diminuzione del Powerdex in post-seduta 1 rispetto ai valori pre-esercizio (-14% , $p = 0,009$), seguita da un aumento a post 24h ($+18\%$, $p < 0,001$) e post 48h ($+22\%$, $p < 0,001$). I test post-hoc hanno evidenziato che il Powerdex a 48h post-esercizio era significativamente più alto nella fase CryoPush® rispetto alla fase passiva ($+6,1\%$, $p = 0,002$).

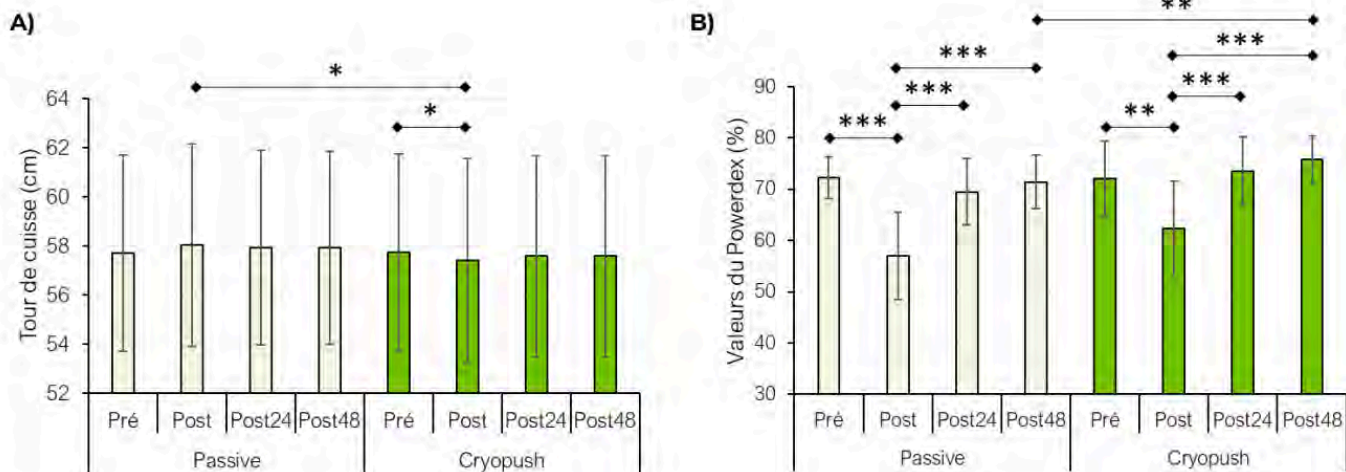


Figura 8. Media \pm deviazione standard dell'evoluzione della circonferenza della coscia e dei valori di Powerdex, misurati con il dispositivo Myocene®, all'inizio (pre) e alla fine (post) della prima seduta, a post 24h e post 48h nelle fasi Recupero passivo e CryoPush®.

* : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$, *** : $p < 0,001$

4.5. Prestazione esplosiva nei salti

La prestazione nei salti è stata valutata sulla base dell'altezza media e massima misurata durante SJ e CMJ (Tabella 2). Nonostante sia stato osservato un effetto del periodo ($p < 0,001$), non sono state rilevate interazioni significative per queste variabili.

È stata rilevata solo una tendenza per l'altezza massima dei salti negli SJ ($p = 0,074$). I test post-hoc hanno mostrato un peggioramento della prestazione subito dopo la seduta rispetto alle altre condizioni in entrambe le fasi sperimentali (tutti $p < 0,05$).

Inoltre, si è osservato che la prestazione massima negli SJ tendeva a essere superiore a post 48h rispetto a post 24h solo nella fase CryoPush® (+6%, $p = 0,06$).

Tabella 2. Media \pm deviazione standard della prestazione media e massima nei tre salti effettuati all'inizio (pre) e alla fine (post) della prima seduta, a post 24h e post 48h, nelle fasi Recupero passivo e CryoPush®. Sono indicate la significatività statistica del fattore Modalità di recupero, del fattore Periodo e dell'effetto di interazione.

Variabile	Condizione	Pre	Post	Post 24h	Post 48h	Modalità	Periodo	Interazione
Hauteur moyenne SJ	Passive	26,5 \pm 3,7	24,0 \pm 2,9	26,0 \pm 3,7	26,6 \pm 4,5	0,270	< 0,001	0,238
	CryoPush®	27,5 \pm 4,1	23,8 \pm 4,1	26,3 \pm 3,4	27,6 \pm 3,1			
Hauteur Maximale SJ	Passive	27,8 \pm 4,0*	25,4 \pm 3,5	27,2 \pm 3,7**	27,8 \pm 4,6*	0,434	< 0,001	0,074
	CryoPush®	28,9 \pm 4,4***	24,9 \pm 4,1	27,1 \pm 3,2*\$	28,8 \pm 3,3***			
Hauteur moyenne CMJ	Passive	30,1 \pm 4,5	27,8 \pm 4,0	29,9 \pm 4,1	30,3 \pm 4,5	0,775	< 0,001	0,343
	CryoPush®	30,8 \pm 4,4	27,1 \pm 4,0	29,9 \pm 3,9	30,9 \pm 3,9			
Hauteur Maximale CMJ	Passive	31,1 \pm 4,3	28,6 \pm 4,3	30,8 \pm 3,9	31,5 \pm 4,7	0,827	< 0,001	0,504
	CryoPush®	31,6 \pm 4,3	28,0 \pm 4,4	30,7 \pm 4,1	32,1 \pm 4,3			

Note: SJ: Squat Jump; CMJ: Counter Movement Jump; *: diverso da post-seduta ($p < 0,05$); **: diverso da post-seduta ($p < 0,01$); ***: diverso da post-seduta ($p < 0,001$); \$: tendenza a differire da post 48h ($p = 0,06$)

4.6. Forza massima degli estensori del ginocchio

La prestazione nei test isometrici è stata valutata su 3 s (Figura 9A) e 30 s (Figura 9B). I dati sono stati trasformati in valori assoluti, considerando il valore pre di entrambe le fasi come riferimento, fissato a 100%.

Per i test di 3 s, è stato osservato un effetto della modalità di recupero ($p = 0,030$), un effetto del periodo ($p < 0,001$) e una interazione significativa tra i fattori ($p = 0,014$). I test post-hoc hanno rivelato:

- Nella fase Recupero passivo, una diminuzione significativa della F_{max} tra pre e post (-19%, $p < 0,001$) e tra pre e post 24h (-15%, $p = 0,003$), non osservata nella fase CryoPush®.
- Nella fase CryoPush®, è stata invece rilevata una recupero significativo post vs. post 48h (+26%, $p = 0,014$).

Per i test di 30 s, sono stati evidenziati un effetto della modalità di recupero ($p = 0,003$), un effetto del periodo ($p < 0,001$) e un'interazione significativa ($p = 0,005$). I test post-hoc hanno mostrato:

- Nella fase Recupero passivo, una diminuzione della F_{moy} post vs. pre (-25%, $p = 0,003$) e un miglioramento a post 48h vs. post (+27%, $p = 0,012$).
- Nella fase CryoPush®, una diminuzione della F_{moy} post vs. pre (-12%, $p = 0,028$) seguita da un aumento significativo a post 24h (+21%, $p = 0,023$) e post 48h (+34%, $p = 0,001$).

Questi risultati confermano che la cinetica di recupero è stata accelerata con il dispositivo CryoPush®.

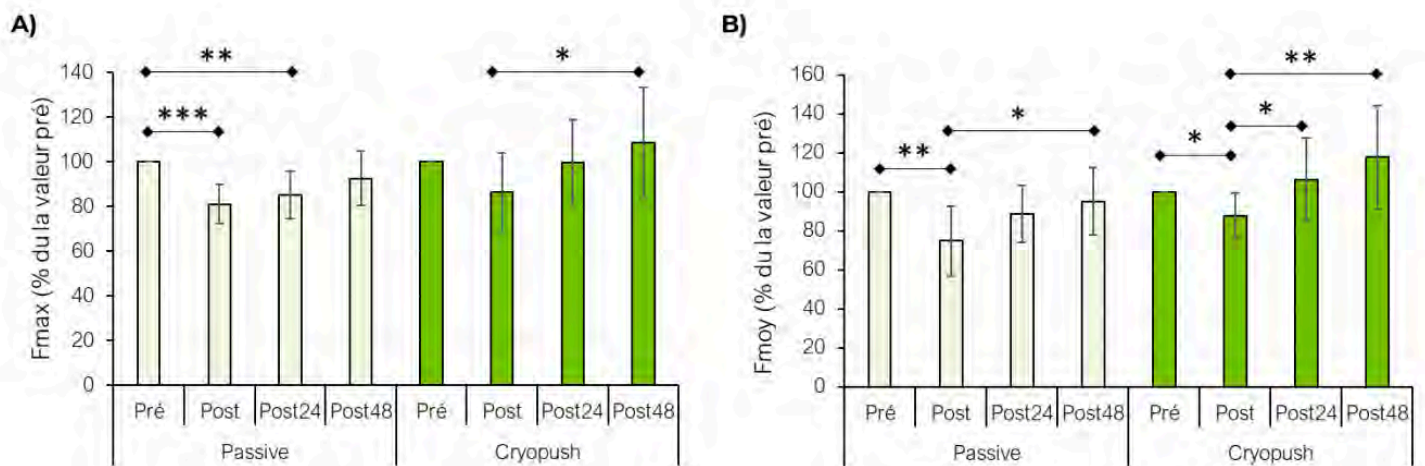


Figura 9. Media \pm deviazione standard della prestazione nei test isometrici di 3 s (F_{max} , A) e 30 s (F_{moy} , B), effettuati all'inizio (pre) e alla fine (post) della prima seduta, a post 24h e post 48h, nelle fasi Recupero passivo e CryoPush®.

*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

4.7. Potenza anaerobica

L'analisi della potenza media e massima nel test di Wingate ha evidenziato un effetto periodo in entrambe le fasi sperimentali, mentre l'effetto della modalità di recupero e l'interazione tra i fattori non sono risultati significativi (Tabella 3).

Tabella 3. Media \pm deviazione standard della prestazione media e massima nei tre test di Wingate sul cicloergometro, effettuati all'inizio (pre) e alla fine (post) della prima seduta e a post 48h, nelle fasi Recupero passivo e CryoPush®. Sono indicati la significatività statistica del fattore Modalità di recupero, del fattore Periodo e dell'effetto di interazione.

Variabile	Condizione	Pre	Post	Post 48h	Modalità	Periodo	Interazione
Puissance moyenne (W)	Passive	615 \pm 78	583 \pm 79	604 \pm 75	0,941	< 0,001	0,069
	CryoPush®	607 \pm 70	574 \pm 76	614 \pm 67			
Puissance maximale (W)	Passive	783 \pm 118	769 \pm 126	812 \pm 138	0,958	< 0,001	0,156
	CryoPush®	805 \pm 138	754 \pm 132	797 \pm 111			

Per completare la nostra analisi, abbiamo studiato l'evoluzione della potenza durante tutto il test suddividendo i 30 secondi in quartili (Figura 10).

È stato osservato un effetto periodo per tutti e quattro i quartili (tutti $p < 0,01$), mentre nessun effetto della modalità di recupero è stato rilevato. È stata evidenziata un'interazione significativa tra i fattori per il quartile 2 ($p = 0,029$). I test post-hoc hanno mostrato che la potenza media diminuiva post-seduta rispetto al valore pre-seduta per il quartile 2 ($p = 0,012$) solo nella fase Passivo.

Al contrario, nella fase CryoPush®, la potenza media tendeva ad aumentare a post 48h rispetto al valore post-seduta ($p = 0,055$). Sono state osservate anche tendenze per l'effetto di interazione nei quartili 3 ($p = 0,08$) e 4 ($p = 0,10$). I test post-hoc hanno evidenziato:

- Nel quartile 3, diminuzione della potenza media post vs. pre durante la fase Passivo ($p = 0,03$).
- Nella fase CryoPush®, aumento della potenza media a post 48h rispetto al valore post-seduta per il quartile 3 ($p = 0,047$) e quartile 4 ($p = 0,002$).

Questi risultati suggeriscono che i partecipanti erano meno affaticati alla fine della seduta 1 e che il recupero era facilitato dall'utilizzo del sistema CryoPush® a post 48h.

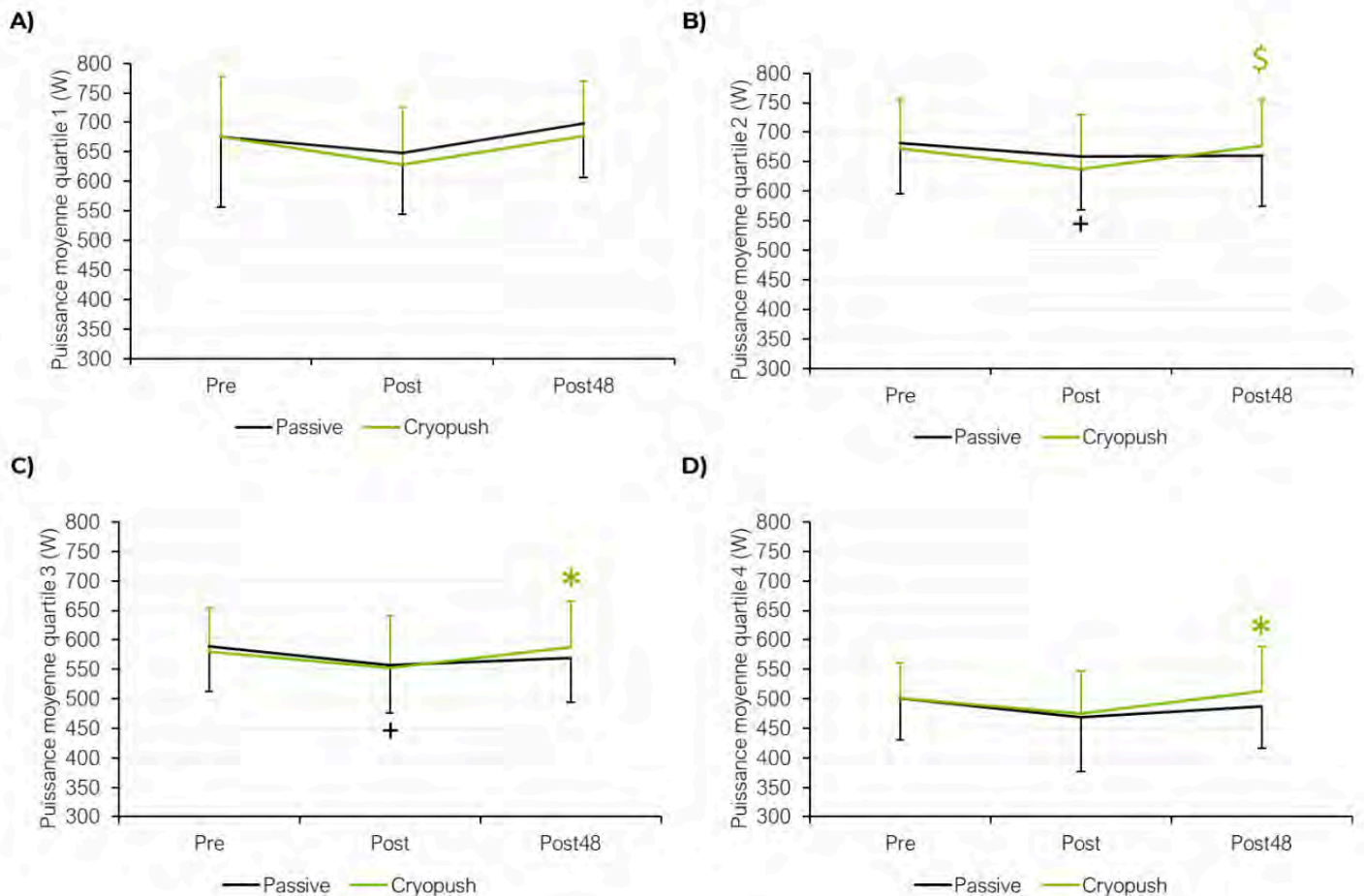


Figura 10. Potenza media e deviazioni standard nei 4 quartili del test Wingate di 30 s effettuati all'inizio (pre) e alla fine (post) della seduta 1, e a post 48h durante la fase Passivo e la fase CryoPush®. + : diverso dalla misura pre ($p < 0,05$) ; * : diverso dalla misura post ($p < 0,05$) ; \$: tendenza a differire dalla misura post ($p = 0,055$).

4.8. Fatica mentale

I risultati relativi alla fatica mentale hanno mostrato un effetto Période per l'EVA, un effetto Modalité de récupération per la velocità massima delle saccadi e un effetto d'interazione per la velocità media delle saccadi oculari. Tuttavia, i test post-hoc non hanno evidenziato differenze significative tra le coppie, impedendo di identificare un effetto del sistema CryoPush® sul recupero mentale.

Tabella 4. Media \pm deviazione standard delle variabili soggettive (EVA) e oggettive (saccadi guidate) relative alla fatica mentale, misurate all'inizio (pré) e alla fine (post) della sessione 1, a post 24h e a post 48h durante la fase passiva e la fase CryoPush®. È indicata la significatività statistica dei fattori Modalité de récupération, Période e dell'effetto di interazione.

Variables	Condition	Pré	Post	Post 24h	Post 48h	Modalité	Période	Interaction
EVA	<i>Passive</i>	33,7 ± 23,8	41,3 ± 23,7	31,8 ± 23,1	27,9 ± 16,4	0,329	0,008	0,282
	<i>CryoPush®</i>	37,2 ± 22,8	35,0 ± 18,4	26,7 ± 17,1	23,8 ± 15,2			
Vsacc. moy	<i>Passive</i>	470 ± 29	461 ± 38	451 ± 38	455 ± 40	0,057	0,053	0,048
	<i>CryoPush®</i>	453 ± 41	451 ± 38	456 ± 37	452 ± 31			
Vsacc. max	<i>Passive</i>	698 ± 53	708 ± 68	675 ± 50	685 ± 65	0,015	0,906	0,188
	<i>CryoPush®</i>	668 ± 78	637 ± 58	681 ± 71	670 ± 61			
AUC 5-20°	<i>Passive</i>	5378 ± 345	5359 ± 372	5298 ± 329	5355 ± 364	0,272	0,340	0,124
	<i>CryoPush®</i>	5332 ± 397	5264 ± 390	5358 ± 363	5329 ± 334			

Note:

EVA: Échelle Visuelle Analogique

Vsacc. moy: Velocità media delle saccadi per ampiezze tra 15 e 20°

Vsacc. max: Velocità massima delle saccadi

AUC 5-20°: Area sotto la curva per ampiezze comprese tra 5 e 20°

4.9. Variabili percettive

Sono state effettuate misure percettive per valutare il livello di gambe pesanti (Figura 11A), il dolore corporeo (Figura 11B) e le DOMS (Figura 11C) durante ciascuna delle due fasi sperimentali.

Per quanto riguarda la percezione di gambe pesanti, è stato rilevato un effetto della Modalità di recupero ($p = 0,006$), un effetto del Periodo ($p < 0,001$) e un effetto di interazione ($p = 0,024$). I confronti a coppie hanno mostrato una differenza tra la condizione pre e le condizioni post (+61%, $p < 0,001$), post 24h (+53%, $p = 0,001$) e post 48h (+52%, $p < 0,001$) nella fase Passiva. Durante la fase CryoPush®, non sono state rilevate differenze significative, ma la percezione di gambe pesanti tendeva a diminuire tra la condizione post e quella post 48h (-22%, $p = 0,051$). È stata inoltre identificata una differenza tra le condizioni post 48h delle due fasi ($p = 0,012$), con gambe percepite come più leggere dopo l'utilizzo del sistema CryoPush®, mentre a post 24h è stata osservata una tendenza ($p = 0,051$).

L'analisi del livello di dolore corporeo, valutato con la bodily map, ha mostrato un effetto della Modalità di recupero ($p = 0,009$), un effetto del Periodo ($p = 0,005$) e un effetto di interazione ($p < 0,001$). I test post-hoc hanno evidenziato un livello di dolore più basso a post 48h dopo l'utilizzo del sistema CryoPush® ($p = 0,046$).

Inoltre, il livello di DOMS (indolenzimento muscolare) ha mostrato un effetto della Modalità di recupero ($p < 0,001$), un effetto del Periodo ($p < 0,001$) e un effetto di interazione ($p = 0,049$). Dai test post-hoc, è stata identificata una diminuzione delle DOMS a post 72h rispetto alle condizioni post 24h (-52%, $p = 0,008$) e post 48h (-53%, $p = 0,002$) esclusivamente nella fase CryoPush®. È stata osservata anche una differenza tra le due condizioni post 72h ($p = 0,018$), con DOMS più basse dopo l'utilizzo del dispositivo CryoPush®.

Infine, sono state osservate correlazioni tra le DOMS e i livelli di dolore corporeo, misurati all'inizio delle sessioni, a post 24h e post 48h. I test di correlazione di Pearson hanno evidenziato correlazioni significative nella fase Passiva a post 48h ($r = 0,68$, $p = 0,016$), nonché nella fase CryoPush® a post 24h ($r = 0,78$, $p = 0,003$) e post 48h ($r = 0,70$, $p = 0,012$).

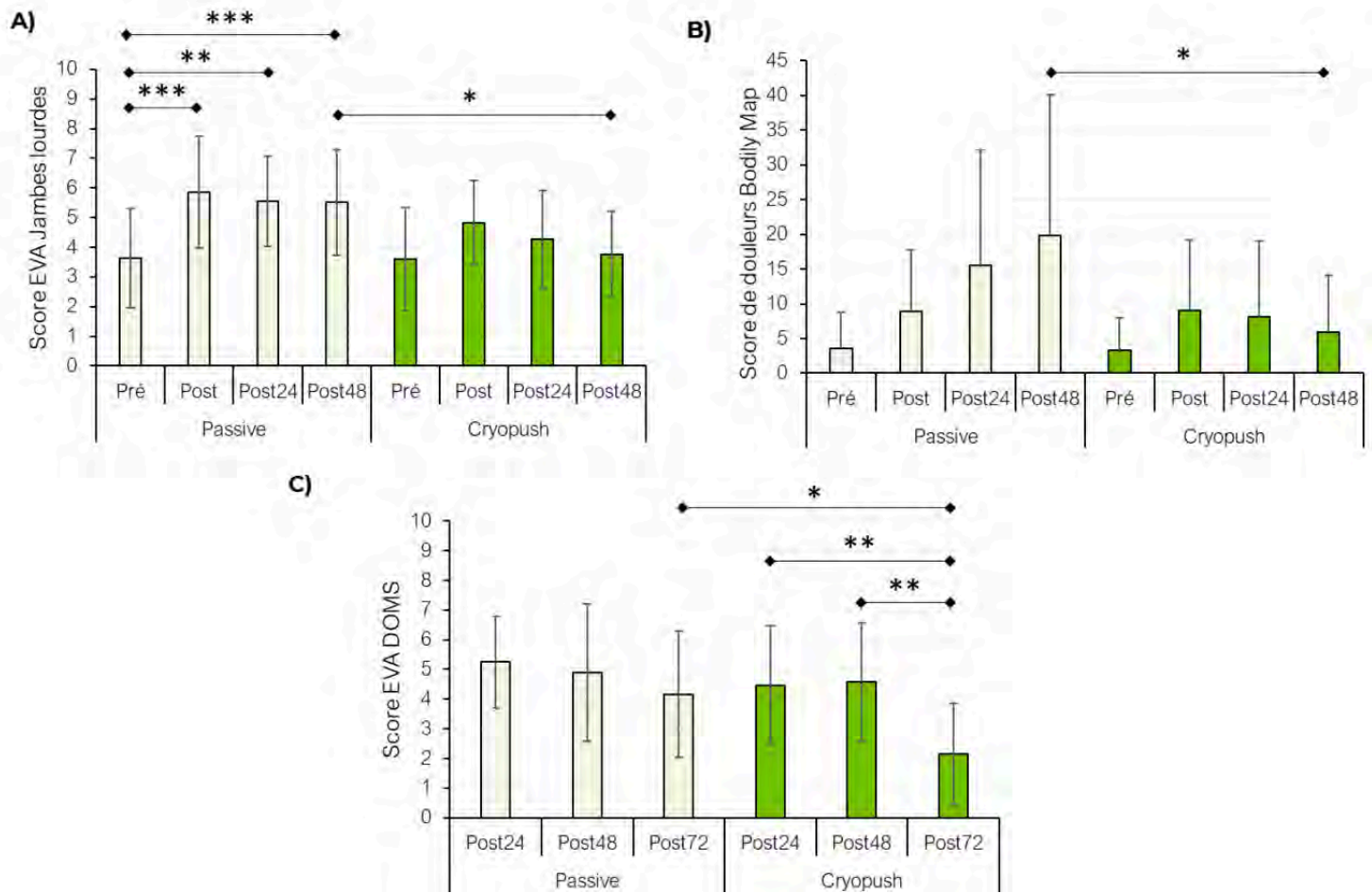


Figura 11. Media \pm deviazione standard della percezione di gambe pesanti (A) e del dolore (B) all'inizio (pre) e alla fine (post) della sessione 1, a post 24h e post 48h durante la fase Passiva e la fase CryoPush®. Il livello di indolenzimento muscolare (DOMS) è stato valutato a post 24h, post 48h e post 72h durante entrambe le fasi sperimentali. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, *** : $p < 0,001$.

5. COSA TRATTENERE

Questo studio aveva l'obiettivo di valutare gli effetti delle sessioni di recupero con la tecnologia CryoPush®, rispetto a un recupero passivo, dopo un esercizio fisico basato su salti ripetuti volto a indurre affaticamento muscolare locale. Dopo aver confermato che l'affaticamento indotto dai salti era comparabile tra le due fasi sperimentali (in termini di fatica muscolare a bassa frequenza, perdita di forza ed esplosività), sono stati osservati i seguenti risultati:

EFFETTI DELLA CRIOTERAPIA COMPRESSIVA SUI MARCATORI INFIAMMATORI

- Il recupero con il sistema CryoPush® dopo l'esercizio di salti ha ridotto significativamente l'infiammazione muscolare, valutata mediante la misurazione delle citochine IL-1 β .
- Il recupero con il sistema CryoPush® ha determinato una diminuzione significativa della circonferenza della coscia, effetto inverso rispetto alla condizione di recupero passivo.

EFFETTO DELLA CRIOTERAPIA COMPRESSIVA SULLA FATICA MUSCOLARE A BASSA FREQUENZA:

- Dopo 48 ore, la fatica muscolare misurata con il sistema Myocene® era inferiore nella fase CryoPush® rispetto alla fase passiva.

L'UTILIZZO DEL SISTEMA CRYOPUSH® HA ACCELERATO LA CINETICA DI RECUPERO DELLA FORZA E DELLA POTENZA MUSCOLARE RISPETTO AL RECUPERO PASSIVO.

- È stata osservata un'accelerazione del recupero muscolare a 24h e 48h nei test isometrici di 3 s e 30 s quando i partecipanti hanno utilizzato il sistema CryoPush®.
- La performance nei salti non è stata influenzata dalla modalità di recupero, sebbene i partecipanti tendessero a saltare più in alto a 48h rispetto a 24h solo nella fase con CryoPush®.
- Prestazioni simili sono state osservate nelle due fasi sperimentali per il test Wingate di 30 s. Tuttavia, l'analisi statistica per quartili suggerisce che i partecipanti erano più affaticati subito dopo la seduta con il recupero passivo e che recuperavano più facilmente a 48h con l'uso del sistema CryoPush® (visibile solo a partire dal 2° quartile).

EFFETTO DELLA CRIOTERAPIA COMPRESSIVA SUI PARAMETRI LEGATI ALLA FATICA MENTALE:

- Non è stata rilevata alcuna differenza nella fatica mentale misurata oggettivamente tramite i movimenti oculari (saccadi) e soggettivamente tramite la scala visiva analogica nelle due fasi sperimentali.

EFFETTO DELLA CRIOTERAPIA COMPRESSIVA SULLA PERCEZIONE DI GAMBE PESANTI E DOLORE

- Abbiamo osservato differenze significative tra le condizioni a 48h post delle due fasi, con le gambe percepite come più leggere dopo l'utilizzo del sistema CryoPush®. Inoltre, rispetto alla misura effettuata all'inizio della sessione, i partecipanti percepivano gambe più pesanti dopo la seduta, nonché a 24h e 48h, solo durante la fase Passive.
- Una diminuzione significativa dei dolori muscolari è stata evidenziata anche a 72h dopo lo sforzo rispetto alle condizioni a 24h post (-52%) e 48h post (-53%), ma solo durante la fase CryoPush®, mentre il livello di dolore corporeo era più basso a 48h post dopo l'utilizzo del sistema CryoPush®.

6. CONCLUSIONE

I risultati di questo studio dimostrano l'efficacia del dispositivo CryoPush® nel migliorare la cinetica di recupero muscolare dopo un esercizio intenso e traumatico. È stata osservata una riduzione significativa dell'infiammazione, della fatica e dei dolori muscolari, accompagnata da un miglioramento delle prestazioni nei diversi test sportivi, in particolare per quanto riguarda la forza muscolare isometrica degli estensori del ginocchio. Queste osservazioni evidenziano il potenziale del sistema CryoPush® come strumento di recupero per gli atleti, offrendo prospettive promettenti per ottimizzare le strategie di recupero in ambito sportivo.

7. REFERENZE

- Albano, D., Coppola, S., & Vastola, R. (2019). Vertical jump performance in Italian elite athletes. *Journal of physical Education and Sport*, 19, 2110-2114.
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of sports sciences*, 25(11), 1163-1170.
- Bastos, F. N., Vanderlei, L. C. M., Nakamura, F. Y., Bertollo, M., Godoy, M. F., Hoshi, R. A., ... & Pastre, C. M. (2012). Effects of cold-water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability. *International journal of sports medicine*, 33(8), 873-879.
- Berger, N. J., Best, R., Best, A. W., Lane, A. M., Millet, G. Y., Barwood, M., ... & Bearden, S. (2024). Limits of ultra: towards an interdisciplinary understanding of ultra-endurance running performance. *Sports Medicine*, 54(1), 73-93.
- Born, D. P., Sperlich, B., & Holmberg, H. C. (2013). Bringing light into the dark: effects of compression clothing on performance and recovery. *International journal of sports physiology and performance*, 8(1), 4-18.
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Macknik, S. L., Mankin, J. A., Hooft, N., Catena, A., & Martinez-Conde, S. (2014). Saccadic eye movement metrics reflect surgical residents' fatigue. *Annals of surgery*, 259(4), 824-829.
- Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold-water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of sports sciences*, 17(3), 231-238.
- Fielding, R. A., Violan, M. A., Svetkey, L., Abad, L. W., Manfredi, T. J., Cosmas, A., & Bean, J. (2000). Effects of prior exercise on eccentric exercise-induced neutrophilia and enzyme release. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(2), 359-364.
- Fowler, N. E., Lees, A., & Reilly, T. (1997). Changes in stature following plyometric drop-jump and pendulum exercises. *Ergonomics*, 40(12), 1279-1286.
- Gauche, E. J., Lepers, R., Rabita, G., Leveque, J., Bishop, D., Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2006). Vitamin and mineral supplementation and neuromuscular recovery after a running race. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(12), 2110-2117.
- Hausswirth, C., Louis, J., Bieuzen, F., Pournot, H., Fournier, J., Filliard, J. R., & Brisswalter, J. (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly trained runners. *PLoS one*, 6(12), e27749.
- Hoffman, M. D., Badowski, N., Chin, J., & Stuenkel, K. J. (2016). A randomized controlled trial of massage and pneumatic compression for ultramarathon recovery. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(5), 320-326.
- Jakeman, J. R., Byrne, C., & Eston, R. G. (2010). Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females. *European journal of applied physiology*, 109(6), 1137-1144.
- Khan, K. M., Thompson, A. M., Blair, S. N., Sallis, J. F., Powell, K. E., Bull, F. C., & Bauman, A. E. (2012). Sport and exercise as contributors to the health of nations. *The Lancet*, 380(9836), 59-64.
- Kraemer, W. J., Bush, J. A., Wickham, R. B., Denegar, C. R., Gomez, A. L., Gotshalk, L. A., ... & Sebastianelli, W. J. (2001). Continuous compression as an effective therapeutic intervention in treating eccentric-exercise-induced muscle soreness. *Journal of Sport Rehabilitation*, 10(1), 11-23.
- Martínez-Guardado, I., Rojas-Valverde, D., Gutiérrez-Vargas, R., Ugalde Ramírez, A., Gutiérrez-Vargas, J. C., & Sánchez-Ureña, B. (2020). Intermittent pneumatic compression and cold-water immersion effects on physiological and perceptual recovery during multi-sports international championship.

7. REFERENZE

- Journal of functional morphology and kinesiology, 5(3), 45.
- Mattacola, C. G., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Allen, J. D., & Mickey, C. A. (1997). A comparison of visual analog and graphic rating scales for assessing pain following delayed onset muscle soreness. *Journal of Sport Rehabilitation*, 6(1), 38-46.
- Murray, A., & Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *Extreme physiology & medicine*, 4, 1-15.
- O'Riordan, S. F., McGregor, R., Halson, S. L., Bishop, D. J., & Broatch, J. R. (2023). Sports compression garments improve resting markers of venous return and muscle blood flow in male basketball players. *Journal of sport and health science*, 12(4), 513-522.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Fillard, J. R., Barbiche, E., & Hausswirth, C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PloS one*, 6(7), e22748.
- Ridard, J., Rozand, V., Millet, G. Y., & Lapole, T. (2022). On-field low-frequency fatigue measurement after repeated drop jumps. *Frontiers in Physiology*, 13, 1039616.
- Rigoard, P., Ounajim, A., Goudman, L., Louis, P. Y., Slaoui, Y., Roulaud, M., ... & Billot, M. (2021). A novel multi-dimensional clinical response index dedicated to improving global assessment of pain in patients with persistent spinal pain syndrome after spinal surgery, based on a real-life prospective multicentric study (PREDIBACK) and machine learning techniques. *Journal of clinical medicine*, 10(21), 4910.
- Rose, Catriona, et al. "Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: a review of the literature." *International journal of sports medicine* 38.14 (2017): 1049-1060.
- Sarin, S., Scurr, J. H., & Smith, P. C. (1992). Mechanism of action of external compression on venous function. *Journal of British Surgery*, 79(6), 499-502.
- Schaefer, E., Peil, H., Ambrosetti, L., & Petrini, O. (2003). Oedema protective properties of the red vine leaf extract AS 195 (*Folia vitis viniferae*) in the treatment of chronic venous insufficiency. *Arzneimittelforschung*, 53(04), 243-246.
- Silva, A., Narciso, F. V., Rosa, J. P., Rodrigues, D. F., da Silva Cruz, A. Á., Tufik, S., ... & De Mello, M. T. (2019). Gender differences in sleep patterns and sleep complaints of elite athletes. *Sleep Science*, 12(04), 242-248.
- Skurvydas, A., Dudoniene, V., Kalvėnas, A., & Zuoza, A. (2002). Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters, and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(1), 34-39.
- Szabo, Y. Z., & Slavish, D. C. (2021). Measuring salivary markers of inflammation in health research: A review of methodological considerations and best practices. *Psychoneuroendocrinology*, 124, 105069.
- Weerapong, P., Hume, P. A., & Kolt, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports medicine*, 35(3), 235-256.
- Wolska, B., Domagała, Ł., Kisilewicz, A., Hassanlouei, H., Makar, P., Kawczyński, A., & Klich, S. (2023). Multiple cryosauna sessions for post-exercise recovery of delayed onset muscle soreness (DOMS): a randomized control trial. *Frontiers in Physiology*, 14, 1253140.



Pr. Christophe HAUSSWIRTH

Founder beScored Institute

christophe@bescored.fr

+33.6.86.58.46.93

<https://bescored.fr/>

PUBBLICAZIONI INTERNAZIONALI

Lien: [Pubmed website](#)

LIBRI

- > Recovery for performance in sport ([link](#))
- > Nutrition And Performance In Sport. Science At The Tip Of The Fork ([link](#))
- > Science of Recovery - Update on Sports Performance Improvement ([link](#))

