



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze
Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2019/2020

Campus Universitario di Savona

Efficacia della Crioterapia nei DOMS: dal mito alle evidenze scientifiche. Una revisione narrativa.

Candidato:

Enrico Martino

Relatore:

Lorenzo Segato

INDICE

- ABSTRACT.....pagina 2
- INTRODUZIONE..... pagina 4
- MATERIALI E METODI..... pagina 7
- RISULTATI..... pagina 9
- DISCUSSIONE..... pagina 21
- CONCLUSIONI..... pagina 24
- BIBLIOGRAFIA..... pagina 25

ABSTRACT

Background

Il DOMS è il più lieve e comune tipo di infortunio muscolare, che insorge tipicamente tra le 24 e le 48 ore dopo l'esercizio. Nella pratica clinica viene trattato comunemente con varie terapie, tra cui la crioterapia, utilizzando mezzi fisici come l'acqua, il ghiaccio, l'aria e i materiali a cambiamento di fase, senza avere però protocolli standardizzati per quanto riguarda le tempistiche e la temperatura di somministrazione.

Obiettivo

Lo scopo di questa revisione è indagare se l'utilizzo di questo tipo di trattamento, da sempre praticato da medici e fisioterapisti su pazienti sportivi, sia fondato su prove di efficacia condivise e se sia possibile concretizzare delle raccomandazioni sulle sue modalità di impiego nella pratica clinica.

Materiali e metodi

È stata condotta una ricerca sulle banche dati *Pubmed*, *Pedro* e *Cochrane library*, selezionando, in particolare, studi di intervento e revisioni riguardo l'effetto della crioterapia nel trattamento dei DOMS.

Il processo di selezione è stato svolto da un solo autore in base ai criteri di inclusione ed esclusione. Degli articoli scelti, è stato esaminato il *full text* e le informazioni principali sono state raccolte in tavole sinottiche.

Risultati

Alla fine del processo di selezione sono stati inclusi 13 RCT e 3 revisioni sistematiche.

Le forme di crioterapia più documentate in letteratura sono: "Cold Water Immersion" (CWI), "Whole Body Cryotherapy" (WBC), "Partial Body Cryotherapy" (PBC).

È emerso dagli RCT che, il tipo di crioterapia che dà risultati migliori ed ha un maggior numero di studi a supporto del suo utilizzo è l'immersione in acqua fredda (CWI). Si identifica, infatti, una riduzione media del dolore di 2/10 punti VAS a 24 ore e 1,5/10 a

48 ore dall'esercizio provocativo rispetto al riposo con temperature che vanno dai 5°C ai 10°C per un tempo medio di esposizione di 10 minuti.

Questo effetto viene confermato ma ridimensionato dalle revisioni sistematiche, a circa 1/10 punti VAS a 24, 48 e 72 ore.

La PBC viene indagata in soli 2 studi e non sembra essere superiore alla CWI a 48 e 72 ore, mentre la WBC in 1 studio ha ottenuto un abbassamento di 1/10 punti rispetto al riposo a 24 e 48 ore.

L'utilizzo dei PCM in 1 studio ha evidenziato una riduzione del dolore di 1/10 punti a 48 ore e di 2/10 a 72 ore rispetto al riposo.

Discussione

L'utilizzo di PBC e WBC nella pratica clinica del fisioterapista implica costi elevati e benefici scarsi, ottenibili anche con altri tipi di crioterapia.

Per quanto riguarda la CWI, invece, sembra che riduca in maniera rilevante il dolore ed abbia dei costi di utilizzo minori. Si ritiene, quindi, che possa essere preferita nel trattamento della dolenzia muscolare in quei pazienti che debbano eseguire prestazioni sportive ravvicinate (meno di 72 ore).

Infine, l'utilizzo dei PCM sembra promettente ma sono necessari ulteriori studi per esplorarne le potenzialità terapeutiche. Se ne fosse confermata l'efficacia, potrebbe essere una metodica valida nella pratica clinica del fisioterapista, in quanto facile da utilizzare, economica e ben tollerata dal paziente.

Conclusioni

L'utilizzo della crioterapia nel trattamento dei DOMS è uno strumento valido, che ha a supporto delle basi scientifiche che ne documentano l'efficacia.

Rimane aperta la discussione sulla sua reale utilità in ambito clinico e sportivo, in quanto non riduce il periodo di durata del DOMS ma solo il dolore percepito dall'atleta.

INTRODUZIONE

Il Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS) è considerato un infortunio di lieve entità ed è un comune motivo di dolenzia muscolare e di riduzione della *performance* in ambito sportivo.

Negli ultimi decenni sono state sviluppate molte ipotesi per spiegare l'eziologia del DOMS, senza arrivare però a delle conclusioni complete e condivise dalla comunità scientifica internazionale.

Il DOMS raggiunge comunemente il picco tra le 24 e le 48 ore (in alcuni studi arriva fino a 72 ore) dopo l'esercizio.[1]

Le caratteristiche cliniche prevalenti sono l'accorciamento muscolare, l'aumento della rigidità passiva, il gonfiore muscolare con aumento del volume, la diminuzione della forza, il dolore localizzato ed esacerbato dal movimento e la propiocezione alterata [2]

Il DOMS è associato, inoltre, a diverse alterazioni molecolari nel sangue di biomarcatori infiammatori di danno muscolare come la creatina chinasi (CK), la proteina C-reattiva (PCR), l'interleuchina-6 (IL-6) e il livello di lattato, osservate in seguito all'esercizio fisico. [3] [4]

Nonostante l'esatto processo fisiopatologico rimanga tutt'ora sconosciuto, la maggior parte degli studi delinea come meccanismo principale alla base della sintomatologia il danno strutturale delle cellule muscolari che può essere dovuto ad un'attività sportiva intensa e non usuale. Il risultato finale è una degradazione delle proteine cellulari, apoptosi e una risposta infiammatoria locale. [5]

Infatti, la competizione agonistica e l'allenamento ad alta intensità possono comportare ripetute contrazioni eccentriche e vibrazioni dei tessuti [6] che possono indurre danni muscolari, vale a dire rottura delle proteine strutturali nelle fibre contrattili, generando flogosi locale e causando dolenzia muscolare a insorgenza ritardata con aumento della fatica percepita [7]

Negli ultimi anni è stata avanzata una nuova ipotesi riguardo all'eziologia del DOMS che, se verificata, potrebbe cambiare alcune delle precedenti credenze a riguardo.

Si ipotizza che la causa principale del dolore sia un'assonopatia da compressione acuta delle terminazioni nervose del fuso neuromuscolare, dovuta ad uno stress meccanico ripetuto e ad un conseguente insulto metabolico delle cellule. [8]

Le attuali evidenze scientifiche in campo di gestione del DOMS evidenziano varie possibilità di trattamento come il massaggio, la compressione e la crioterapia.

Questa revisione si focalizza sulla crioterapia come metodica di trattamento.

È stata storicamente proposta in vari contesti come intervento per ridurre l'insorgenza tardiva del dolore muscolare, in virtù della sua supposta capacità di modulare la severità della reazione infiammatoria. Le modalità e la posologia degli interventi documentati in letteratura risultano però alquanto eterogenei.[9]

In passato era largamente utilizzato il massaggio con ghiaccio per alleviare il DOMS ma, diversi studi hanno analizzato gli effetti di questa terapia abbinata o meno all'esercizio aerobico e non sono emerse differenze rispetto ai gruppi di controllo che si sottoponevano ad un recupero passivo. [10] [11]

È stato svolto tuttavia uno studio in cui si evidenzia un lieve beneficio nell'utilizzo del massaggio con ghiaccio rispetto al recupero passivo a distanza di 72 h dalla provocazione del DOMS. [12]

Gli interventi attuali relativi alla crioterapia non sono omogenei, ne esistono vari tipi, con tempistiche, temperature e modalità di utilizzo differenti.

Le forme più studiate in ambito clinico avvengono principalmente attraverso immersioni in acqua a bassa temperatura oppure utilizzando aria fredda direttamente sulla cute. [13]

Ad oggi non ci sono protocolli predefiniti per l'utilizzo di queste tipologie di trattamento, esistono tuttavia degli studi in cui vengono proposte modalità simili.

Alcuni autori hanno indagato le immersioni in acqua fredda con temperature tra gli 8°C e i 10°C per tempi prolungati mentre, altri ricercatori hanno osservato gli effetti della

crioterapia sotto forma di aria fredda a temperature molto più basse, tra i -135°C e i -60°C, per tempi molto più brevi [14].

È stato inoltre osservato che il drenaggio linfatico associato alla crioterapia non è in grado di alterare i *markers* infiammatori a livello muscolare. [15]

L'obiettivo di questa revisione narrativa è ricercare in letteratura delle prove di efficacia a supporto della crioterapia, essendo una pratica largamente utilizzata da molti anni in ambito sportivo senza chiare evidenze scientifiche in letteratura.

Lo scopo di questo lavoro è quindi verificare se questo tipo di trattamento, da sempre praticato da medici e fisioterapisti su pazienti sportivi senza indicazioni pragmatiche mutuata dalla letteratura, ha ottenuto oggi delle linee guida o delle raccomandazioni sostenute da prove di efficacia utili per la pratica clinica.

La ricerca che si va a svolgere vuole raggruppare le principali evidenze scientifiche riguardo l'utilizzo della crioterapia nei DOMS. In particolare, vuole riassumere quali siano le modalità di somministrazione del freddo più efficaci, quali siano i tempi di esposizione necessari e capire quanto questi risultati siano trasferibili nella pratica clinica del fisioterapista.

MATERIALI E METODI

La tipologia di studio condotta è una revisione narrativa della letteratura. È stata eseguita una ricerca fino al 24/04/2021 delle fonti bibliografiche sulle principali banche dati elettroniche a livello internazionale ad accesso libero: *Pubmed, Pedro e Cochrane Library*.

Sono stati presi in considerazione studi di intervento come *case report, case series, clinical trial e randomized controlled trial (RCT)*, inoltre revisioni sistematiche e metanalisi.

Il quesito clinico è stato strutturato secondo il modello PICO, ricercando le evidenze di efficacia relative all'utilizzo della crioterapia nella gestione del DOMS negli adulti.

Sono state utilizzate le seguenti parole chiave sia come termini liberi che come termini *Mesh* combinate con gli operatori booleani AND e OR nei diversi database:

Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS, Muscle Soreness, Cryotherapy, Cold, Ice, Cold Water Immersion, Phase Change Materials.

La stringa di ricerca completa è presente in allegato. (allegato 1)

Ulteriori studi, non presenti tra i risultati della stringa, sono stati individuati attraverso una revisione delle fonti bibliografiche degli articoli più rilevanti.

Criteri di inclusione:

- Studi in lingua inglese il cui *abstract* fosse disponibile per la consultazione
- Studi di intervento effettuati su umani
- Studi in cui almeno uno degli interventi includesse la crioterapia, descrivendone tempi, modalità e materiali utilizzati
- Studi che presentassero almeno una misura di *outcome* per il dolore e/o la *performance* nei DOMS
- Studi eseguiti su popolazione adulta

Criteri di esclusione:

- Articoli scritti non in lingua inglese o italiana
- Articoli che prendono in esame una popolazione pediatrica
- Studi *crossover*, prospettici, retrospettivi
- Articoli il cui *abstract* non sia accessibile come *free text*

A partire dagli articoli individuati è stato fatto uno *screening* manuale dei potenziali studi eleggibili.

È stata eseguita da un singolo autore una prima selezione degli articoli di interesse attraverso titolo e *abstract*, eliminando i doppi e gli elementi che non corrispondevano ai criteri di ricerca.

Successivamente è stata effettuata un'ulteriore selezione degli articoli in base al *full text*.

Verranno estratte dagli studi le seguenti caratteristiche, che verranno riportate in tavole sinottiche:

- Tipologia di studio, autore, anno
- Caratteristiche del campione e numerosità
- Intervento, temperatura e tempistiche di esposizione
- Esercizio provocativo
- Risultati ottenuti

Sulla base di queste informazioni, la discussione sarà incentrata sul determinare quanto effettivamente siano utili e applicabili le varie forme di crioterapia nella pratica clinica del fisioterapista.

Verrà discusso inoltre il *target* di pazienti che potrebbero trarre beneficio dall'utilizzo di questo tipo di terapia.

RISULTATI

Selezione degli studi

La stringa di ricerca sulla banca dati *Pubmed* ha prodotto al 20/04/2021 46 risultati, successivamente è stato effettuato da un solo autore uno *screening* manuale degli articoli, visionando il titolo e l'*abstract*.

L'operazione ha condotto ad una selezione di 30 articoli dei quali è stata fatta l'analisi del *full text*.

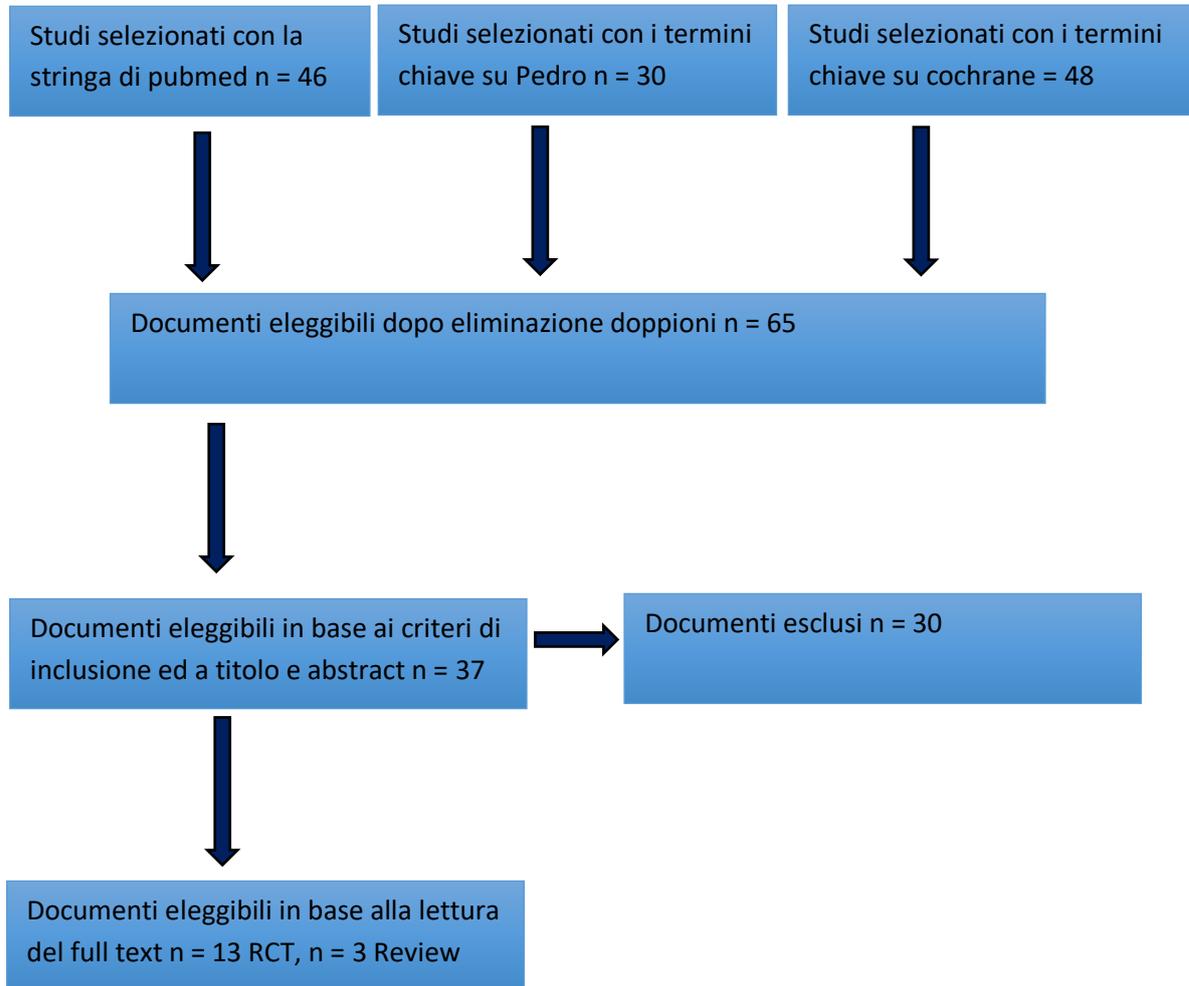
Per quanto riguarda la ricerca attraverso i termini chiave nella banca dati *Pedro* al 13/03/2021, ha prodotto un risultato di 30 articoli. Eliminando i doppi e gli studi che non rispettavano i criteri di inclusione, 4 articoli sono stati considerati eleggibili.

La ricerca attraverso i termini chiave nella banca dati *Cochrane Library* al 20/04/2021 ha prodotto 48 risultati. Di questi, un solo articolo è stato considerato eleggibile secondo i criteri di inclusione.

Infine, è stata controllata la bibliografia degli articoli selezionati, al fine di individuare ulteriori pubblicazioni pertinenti l'oggetto della revisione ma non presenti nella stringa di ricerca. Tale strategia ha portato all'individuazione di 2 articoli.

Alla fine del processo di selezione, 13 studi randomizzati controllati e 3 revisioni sistematiche sono stati inclusi nella revisione, per un totale di 16 articoli (vedi diagramma di flusso Fig 1).

Il processo di screening è stato schematizzato nel diagramma di flusso creato prendendo spunto dalle linee guida PRISMA Statement del 2015. (Fig. 1)



From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

Tabella sinottica RCT (fig. 2)

Autore, anno, tipologia di studio	Caratteristiche del campione	Numerosità del campione	Intervento e Temperatura	Esercizio provocativo	Intervento e tempistiche di esposizione	Risultati
Susan Y. Kivickelen et al, 2019, RCT	Uomini di 25 anni \pm 6, atleti attivi di vari sport di squadra, privi di infortuni da almeno 6 mesi.	N= 26 N=13 PMA N= 13 CON	PCM a 15°C, CON a T ambiente	Squat hipodali eccentrici.	Fase 1: PCM= fascia su quadricipite per 6 h. CON= fascia su quadricipite per 6h fase 2: PCM a T ambiente ad entrambi i gruppi	Nel gruppo PCM a 15°C il punteggio VAS è minore a 48h e a 72h rispetto al gruppo di controllo. fase 2= nessuna differenza tra i due gruppi
Erich Hohener et al, 2020, RCT	Donne di 22,5 anni \pm 2,7, sportive amatoriali (circa 2h/settimana di attività).	N = 28 N= 10 PBC N= 10 CWI N= 8 CON	PBC a -60°C e -135°C, CWI a 10°C, CON recupero passivo	5x20 drop-jumps.	PBC = 30 secondi in criocamera a -60°C, poi 2 minuti a -135°C. CWI= immersione fino allo sterno in acqua per 10 minuti. CON= 10 minuti recupero passivo	Nei gruppi CWI e PBC, a 72 h, il punteggio VAS è più basso rispetto al gruppo di controllo. Non c'è differenza tra i gruppi CWI e PBC.
Glauko Dantas et al, 2020, RCT	Uomini, 31,6 anni \pm 5, corridori amatoriali.	N= 30 N= 10 CWI, N= 10 WI, N= 10 CON,	CWI a 10°C WI a T ambiente CON recupero passivo	10 km di corsa al massimo della prestazione possibile.	CWI= immersione in acqua per 10 minuti. WI= immersione in acqua per 10 minuti. CON= 10 minuti recupero passivo	Non ci sono differenze tra i 3 gruppi
E. Hohenauer, 2017, RCT	Uomini, di 25,9 anni \pm 4,4, sportivi amatoriali.	N = 19 N= 9 CWI, N= 10 PBC	CWI a 10°C PBC a -60°C e -135°C	5x20 drop jumps.	PBC= in criocamera 30 secondi a -60°C, 2 minuti a -135°C, CWI= immersione in acqua a 10°C per 10 minuti	Non ci sono differenze tra i 2 gruppi

<p>Laura J Wilson, 2018, RCT</p>	<p>Uomini, maratone, 39 ± 8 anni.</p>	<p>N = 31 N= 11 CWI, N= 10 WBC, N= 10 CON</p>	<p>CWI a 10°C WBC a -85°C CON recupero passivo</p>	<p>9 giri di corsa di 4,7 km</p>	<p>CWI= immersione in acqua a 8°C per 10 minuti. WBC= in giocobina a -85°C per 3 minuti CON= bevanda a base di frutta per 5 giorni</p>	<p>Non ci sono differenze tra i 3 gruppi a 24 h. WBC e CWI hanno punteggio VAS minore rispetto al placebo a 48h</p>
<p>Bailey et al, 2007, RCT</p>	<p>Uomini, attivi, 22,3 ± 3,3 anni.</p>	<p>N = 20 N=10 CWI N=10 CON</p>	<p>CWI a 10°C CON recupero passivo</p>	<p>Intermittent shuttle test</p>	<p>CWI= immersione degli arti inferiori in acqua per 10 minuti, CON= recupero passivo per 10 minuti</p>	<p>Il gruppo CWI riduce la dolenzia percepita a 1h, 24h, 48h rispetto al placebo</p>
<p>Lillian Beatriz Fonseca, 2016, RCT</p>	<p>Uomini, atleti di Jiu-Jitsu, 24 ± 3,6 anni.</p>	<p>N = 8 1° giorno: 4 CWI, 4 CON 2° giorno: 4 CON, 4 CWI</p>	<p>CWI a 6°C CON recupero passivo</p>	<p>Allenamento in prima giornata e con un secondo allenamento in seconda giornata</p>	<p>CWI= 4 cicli da 4 minuti in immersione fino al collo in acqua a 6°C CON= recupero passivo</p>	<p>Si rileva una diminuzione del punteggio alla scala VAS a 24h dal primo allenamento nel gruppo CWI</p>
<p>Jerrold S Petrofsky, 2015, RCT</p>	<p>50 uomini e 50 donne tra i 20 e i 30 anni con livelli simili di allenamento. Viene utilizzato come strumento per la terapia il Thermacare Wrap</p>	<p>N = 100 n = 20 Freddo dopo allenamento; n= 20 Freddo dopo 24h, n = 20 Caldo dopo allenamento; n = 20 Caldo dopo 24 h, N= 20 CON</p>	<p>Non vengono indicate le temperature</p>	<p>2 serie da 5 minuti di squat</p>	<p>Il Therma Care viene applicato per 20 minuti in tutti i gruppi.</p>	<p>Non c'è differenza rispetto al placebo nell'applicazione del caldo e del freddo a distanza di 24 h. Il punteggio della VAS invece è inferiore nei gruppi caldo e freddo immediato, tra i due il gruppo del freddo ha ottenuto il risultato migliore a 24h, 48h e 72h.</p>

Philip D Glasgow, 2014, RCT	32 uomini, 18 donne tra i 18 e i 35 anni, non atleti.	N = 50 N = 10 Short contrast immersion N = 10 short intermittent CWI N = 10 CWI1 N = 10 CWI2 N = 10 CON	Short contrast immersion a 38°C e a 10°C, short intermittent CWI a 10°C CWI1 a 10°C CWI2 a 6°C CON recupero passivo	Hamstring Curl Machine	Short contrast immersion: 1 minuto di immersione a 38°C, 1 minuto di immersione a 10°C per 3 volte. Short intermittent CWI: immersione per 1 minuto, 1 minuto di riposo per 3 volte. CWI1: 10 minuti CWI2: 10 minuti CON: recupero passivo	Il risultato migliore a 24h, 48h, 72h nel ridurre il dolore è attribuito al gruppo CWI2
Naomi J Crystal, 2013, RCT	Uomini di 21,2 ± 2,3 anni.	N = 20 N = 10 CWI N = 10 CON	CWI a 5°C CON recupero passivo	Corsa di 40 minuti in discesa su treadmill.	CWI: immersione degli arti inferiori per 20 minuti CON: nessun trattamento	Non c'è differenza tra il gruppo CWI e i controlli nella riduzione del dolore
Ascensão, 2011, RCT	Uomini, giovani atleti di calcio. 18,1 ± 1,8 anni in CWI, 18,3 ± 0,8 anni in CON	N = 20 N = 10 CWI N = 10 CON	CWI a 10°C CON a 35°C	Una partita di calcio.	CWI: 10 minuti a 10°C Immersione a temperatura neutra: 10 minuti a 35°C	A 24h il valore della NRS è minore nel gruppo CWI
Kylie Louise Sellwood, 2007, RCT	Soggetti con età media 21 anni, non atleti.	N = 40 N = 20 CWI N = 20 immersione in acqua tiepida.	CWI a 5°C Acqua tiepida a 24°C	Legg extension 5x20	CWI: 1 minuto in acqua a 5°C per 3 volte Immersione in acqua tiepida: a 24°C per 3 volte	Non ci sono differenze tra i due gruppi
Ingram et al., 2009, RCT	Uomini atleti, età 26,5 ± 6 anni	N = 11	CWI a 10°C	80 minuti di allenamento	CWI per 10 minuti	CWI 1 valore VAS migliore a 24h e 48h rispetto al controllo

CWI= Cold Water Immersion, PBC= Partial Body Cryotherapy, WPC= whole body cryotherapy, CON= controllo, PCM= Phase Change Material

Le caratteristiche delle pubblicazioni incluse sono di seguito riassunte e suddivise per tipologia di studio.

RANDOMISED CONTROLLED TRIAL (RCT), N= 13

Caratteristiche del campione

La somma dei soggetti presi in esame in questi RCT è di 403, dei quali 278 sono uomini e 125 donne. L'età media dei campioni è 25,5 anni.

È presente un solo studio in cui viene analizzata una popolazione femminile [17], in 3 [23][24][27], invece, i gruppi sono misti, mentre nei rimanenti il campione è composto da soli soggetti di sesso maschile. [16][18][19][20][21][22][25][26][28]

In 9 studi i partecipanti sono atleti professionisti o amatoriali [16][17][18][19][20][21][22][26][28], in 4 studi, invece, sono persone non allenate ma fisicamente attive [23][24][25][27].

Caratteristiche del protocollo di esercizio

I protocolli di esercizi per provocare il DOMS sono eterogenei. In uno studio i soggetti eseguono 1 squat ogni 3 secondi per 5 minuti, riposano 2 minuti e ripetono altre 2 serie da 5 minuti [23]. In 1 altro studio viene utilizzata una macchina isocinetica ed i partecipanti eseguono 120 contrazioni eccentriche (10 set da 12 ripetizioni con 30 secondi di riposo), mentre in 2 studi vengono eseguiti dei *drop jump* (5 set da 20 con 2 minuti di riposo tra le serie) [17][19].

In altri 3 studi, invece, i soggetti vengono sottoposti ad un allenamento di corsa di 10 km al massimo della prestazione dell'atleta, 9 giri da 4,7 km (maratona) o 40 minuti di corsa in discesa al 10% su *treadmill* [18][20][25]. Infine, in 1 studio si utilizza lo *shuttle test* intermittente per 90 minuti [21], in 1 altro viene utilizzata la *leg extension* per 5 set

da 10 ripetizioni con 1 minuto di riposo [27] e in 1 altro ancora la *hamstring curl machine* con 3 serie di contrazioni eccentriche fino a sfinimento [24].

In altri studi invece viene sfruttato l'allenamento sport specifico per il *ju-jitsu*, il calcio oppure la simulazione di uno sport di squadra attraverso un protocollo di esercizi in campo. [22][26][28]

Caratteristiche del protocollo di crioterapia

La metodica di applicazione della crioterapia più utilizzata nei vari studi è l'immersione in acqua fredda o *Cold Water Immersion* (CWI) [17][18][19][20][21][22][24][25][26][27][28].

La temperatura utilizzata varia tra i 5°C e i 10°C e il tempo di immersione in media è di 10 minuti [17][18][19][20][21][24][26][28].

La permanenza in acqua in 1 studio è di 20 minuti [25], in 1 altro di 4 minuti per 4 volte [22], in altri 2 l'immersione in acqua fredda dura 1 minuto con più ripetizioni [24][27].

Infine, viene indagata anche la somministrazione della crioterapia attraverso il contrasto dell'immersione in acqua fredda a 10°C e poi acqua calda a 38°C [24].

Un'altra forma di crioterapia è l'utilizzo dell'aria fredda in criocabina su tutto il corpo (*Whole Body Cryotherapy*) (WBC) oppure solo su una parte (*Partial Body Cryotherapy*) (PBC) [17][19][20], a temperature comprese tra i -60°C e i -135°C.

Le tempistiche negli studi in cui viene impiegata la PBC sono di 1 minuto a -60°C seguito da 2 minuti a -135°C [17][19], mentre per la WBC, l'esposizione è di 3 minuti a -85°C.

Un ulteriore studio propone come applicazione alternativa della crioterapia l'utilizzo dei materiali a cambiamento di fase (*Phase Change Material*) (PCM) per mantenere la temperatura a 15°C costante per 6 ore sulla cute della zona da trattare [16].

L'ultimo studio si serve invece del "*Thermacare*", una fascia che si avvolge intorno all'arto, sui muscoli interessati dall'allenamento, e mantiene costante la temperatura

impostata. Viene utilizzato per l'applicazione della crioterapia con una durata di 20 minuti ma non viene indicata la temperatura [22].

Caratteristiche dei gruppi di controllo

Il gruppo di controllo, nella maggior parte dei casi è costituito da soggetti che si sottopongono ad un recupero passivo a temperatura ambiente per lo stesso periodo di tempo del gruppo sperimentale [16][17][18][19][20][21][22][23][24][25][28].

Nel caso dello studio di Ascensao et al. invece, il gruppo di controllo viene immerso in acqua a temperatura neutra (35°C) allo stesso livello e per lo stesso tempo del gruppo di intervento [24].

Anche nello studio di Sellwood et al. i soggetti del gruppo di controllo vengono immersi in acqua tiepida a 24°C [27].

Effetto della crioterapia per la riduzione del dolore nel DOMS

Si ottengono dati da 13 RCT riguardo l'effetto della crioterapia per la riduzione del dolore percepito dai soggetti esaminati dopo un esercizio intenso.

La misura di *outcome* maggiormente utilizzata è stata la scala VAS, impiegata in tutti gli studi tranne quello di Ascensao et al, in cui è stata scelta la scala NRS (0-10).

In tutti gli studi è stato misurato l'effetto della crioterapia confrontata con il controllo, alcuni hanno messo inoltre a confronto diverse metodiche di somministrazione della crioterapia [17][18][19][20][21][24].

I risultati vengono presentati in base ai *follow-up* che, in particolare, sono stati eseguiti a 24, 48, 72 e 96 ore dall'intervento nella maggior parte degli studi.

La CWI viene ritenuta efficace a 24 ore rispetto al controllo in 4 studi per riduzione del dolore percepito con un valore medio di 2,1/10 punti [21][22][26][28] ad una temperatura compresa tra i 6°C e i 10°C.

A 48 ore la CWI è superiore al placebo in 4 studi con un valore medio di riduzione del dolore percepito di 1,5/10 punti [20][21][24][28].

In 2 soli studi si denota una superiorità della CWI rispetto al controllo a 72h, con una riduzione media del punteggio di 2,75/10 [17][24].

Nello studio di Glasgow et al. vengono messe a confronto la CWI continua a 10°C e a 6°C e la CWI intermittente, ottenendo un valore minore di 0,60/10 punti nella somministrazione a 6°C continua.

In 3 studi la crioterapia non si è rivelata superiore al controllo in quanto non è presente differenza di punteggio VAS tra il gruppo sperimentale e il gruppo di controllo a 24, 48, 72 ore di follow-up [18][25][27].

La PBC viene studiata in 2 articoli [17][19], i cui risultati evidenziano una differenza significativa di 2/10 punti rispetto al controllo a 72 e 48 ore nella riduzione del dolore. Invece tra la PBC e la CWI, il valore VAS non si discosta in modo significativo.

La somministrazione della WBC viene studiata in 1 solo articolo in cui si rileva una riduzione del punteggio VAS di 0,7/10 punti rispetto al controllo a 24h e di 1/10 punti a 48h. Non è tuttavia superiore alla CWI. [20]

La crioterapia somministrata con PCM, viene indagata in 1 studio e dà risultati positivi per la riduzione del dolore percepito rispetto al controllo a 48 ore di 1/10 punti, a 72 ore di 2/10. [16]

L'utilizzo del *thermacare* freddo viene indagato in 1 studio ed emerge una differenza nella riduzione del dolore percepito rispetto al gruppo di controllo a 24 e 48 ore di 3/10 punti, di 2/10 a 72 ore. [23]

TABELLA SINOTTICA REVISIONI SISTEMATICHE (fig. 3)

Autori, anno	Numero e tipo di studi inclusi	Partecipanti totali	Terapia	Tempo di esposizione	Temperatura di esposizione	Risultati
Costello JT, 2015	4 RCT	64	WBC vs CON	3 minuti	N = 3 a -110°C N = 1 tra -140°C e -195°C	Non ci sono differenze statisticamente significative tra WBC e i controlli
Bleakley C, 2012	17 RCT	366, 16-29 anni	N = 14 CWI vs passive immersion N = 5 CWI vs contrast immersion N = 4 CWI vs Warm-immersion N = 1 CWI vs active recovery N = 1 CWI vs compression	In 10 studi tra 5 e 24 minuti continui In 3 studi 3-5 set da 1 minuto In 2 studi 2 set da 5 minuti In 1 studio 2 set da 15 minuti	75% degli studi tra 10°C e 15°C, altri usano 5°C o 9°C	CWI vs passive= no differenze al tempo 0, riduzione della VAS a 24, 48, 72h in CWI CWI vs contrast= no differenze tra i 2 gruppi CWI vs Warm= no differenze
Hohenauer, 2015	36	574, 22 anni in media	CWI PBC	eterogeneo	N = 15: CWI 5°C-10°C N = 13: CWI 11°C-15°C N = 2 PBC a -110°C e -60°C	Sembra che la crioterapia sia efficace nella riduzione del DOMS tra le 24h e le 96h

REVISIONI SISTEMATICHE N=3

Le 2 revisioni *cochrane* di Costello et al. e Hohenauer et al. indagano la WBC, la PBC e la CWI comparata con il riposo del gruppo di controllo.

La revisione di Bleakley et al. indaga l'effetto della CWI rispetto al recupero passivo, all'immersione in acqua calda e rispetto alle immersioni in acqua fredda e calda alternate.

Nelle revisioni vengono presi in considerazione un totale di 57 studi presenti in letteratura fino al 2015, dei quali alcuni sono comuni.

In particolare, Bleakley et al. e Hohenauer et al. prendono in considerazione 13 articoli in comune, mentre tra Hohenauer et Al. e Costello et Al. sono soltanto 2.

Non ci sono invece studi comuni tra Bleakley et Al. e Costello et Al.

Per quanto riguarda le fonti bibliografiche contenute in questa revisione invece, 5 su 13 RCT sono in comune con le revisioni sistematiche, 8 invece no, 6 dei quali sono stati pubblicati dopo il 2015 (anno della revisione più recente).

Caratteristiche della popolazione

Nella popolazione presa in esame non ci sono criteri di selezione in base a età, sesso e forza fisica.

Sono escluse le persone sotto i 18 anni, quelle che hanno subito recenti infortuni, che hanno dolore muscoloscheletrico oppure che hanno patologie vascolari.

Tipologie di intervento

Degli interventi esaminati quello più studiato è la CWI, in cui la temperatura dell'acqua non è sempre uguale ma varia tra i 5°C e i 15°C, anche se in oltre il 50% degli studi è compresa tra i 10°C e i 15°C.

Anche il tempo di esposizione non è una grandezza omogenea, nella maggior parte dei casi varia da 5 a 24 minuti di immersione continua. In 5 invece, l'esposizione non è continua ma di 1 minuto, alternata con acqua calda.

Nel trattamento attraverso l'utilizzo di aria fredda (WBC) nel 75% dei casi viene utilizzata una temperatura di -110°C per 3 minuti, in un caso, invece, viene somministrata tra -140°C e -195°C per 3 minuti.

Nella PBC la temperatura utilizzata è tra -60°C e -110°C .

L'*outcome* preso in considerazione è la riduzione del dolore percepito sulla scala VAS a 24, 48, 72, 96 ore dall'esercizio che ha provocato il DOMS.

Risultati

Dalle revisioni sistematiche non emergono differenze statisticamente significative per la riduzione del dolore sull'utilizzo della WBC rispetto ai gruppi di controllo. [29]

Mentre per quanto riguarda la CWI, nello studio di Bleakley et al., è efficace nella riduzione del dolore percepito rispetto al controllo a 24h di -0,55 punti VAS (CI -0,84 to -0,58), a 48h di 0,66 punti (CI -0,97 to -0,35), a 72h di -0,93 (CI -1,36 to -0,51), a 96h di -0,58 (CI -1,00 to -0,16).

Non emergono differenze invece tra la CWI e l'immersione in acqua fredda e calda a contrasto.[30]

Nello studio di Hohenauer et al. nella CWI tra i 5°C e i 15°C emergono differenze statisticamente significative per la riduzione del dolore rispetto al controllo a 24h di -0,75 punti VAS (CI -1,20 to -0,30), a 48h di -0,73 (CI -1,20 to -0,26) e a 96 ore di -0,71 (CI -1,10 to -0,33) dalla somministrazione.

Sembra inoltre che l'effetto della PBC sulla zona interessata dal DOMS, abbia un'efficacia simile per la riduzione del dolore rispetto al controllo ma gli studi che la prendono in esame sono solo 2, per cui gli autori non hanno condotto un'analisi quantitativa [31].

DISCUSSIONE

In letteratura sono presenti prevalentemente studi primari che analizzano forme di crioterapia come la CWI, la PBC e la WBC. Di tutte queste, negli ultimi anni, esistono più studi che riguardano la CWI.

Solo per quest'ultima, infatti, esistono delle revisioni sistematiche con meta-analisi. La qualità degli studi è generalmente bassa, il rischio di *bias* è elevato, soprattutto per quanto riguarda il *selection bias* e il *detection bias*, che influenzano negativamente la valutazione dei risultati degli studi.

La randomizzazione del campione non in tutti gli studi è resa esplicita e non vengono riportate le caratteristiche medie, inoltre, la raccolta degli *outcome*, nella maggior parte degli studi, viene eseguita dalle stesse persone che hanno eseguito il trattamento.

Per quanto riguarda il fatto che i partecipanti e il personale che esegue la terapia non possano essere in cieco, invece, è un *bias* inevitabile in questo tipo di studio.
[29][30][31]

La popolazione presa in esame dagli autori citati nei risultati rispecchia sostanzialmente il *target* di pazienti che si possono incontrare nella pratica clinica, cioè sportivi amatoriali o professionisti.

I soggetti sono inoltre piuttosto omogenei come età, (giovani adulti), ma non come sesso. Nonostante non siano presenti in letteratura evidenze che delineino differenze tra i due sessi nello sviluppo dei DOMS e nell'effetto della crioterapia, non possiamo essere certi che l'effetto sul sesso maschile sia identico in quello femminile.

Negli studi analizzati in precedenza, un'ulteriore grossa limitazione è l'eterogeneità del protocollo di esercizi per provocare il DOMS, non c'è una linea comune, in alcuni si utilizzano esercizi codificati, in altri allenamenti sport specifici ed il tutto rende non omogeneo il dolore provocato nei campioni al tempo 0 e ai vari *follow-up* post esercizio.

Bisogna tenere conto inoltre del diverso livello di allenamento dei vari soggetti, che non rende possibile la standardizzazione del protocollo.

Questi aspetti aumentano il rischio di errori nel comparare i risultati degli studi, non essendo uguale l'entità del danno funzionale provocato e il dolore associato.

Nella pratica clinica odierna la crioterapia viene largamente utilizzata con tempistiche, modalità e temperature differenti ma sembra che i risultati ottenuti in termini di riduzione del dolore non si discostino di molto l'uno dall'altro.

Inoltre la riduzione del dolore imputata all'utilizzo della crioterapia è clinicamente rilevante ma modesta [32]. Di conseguenza è necessario valutare quante risorse investire in questo tipo di terapia a fronte del beneficio clinico risultante.

Non sono ancora noti con certezza né l'eziologia dei DOMS, né quale sia il miglior trattamento per ridurre la sintomatologia associata. È nota però la durata che non supera le 72-96 ore dopo la prestazione fisica. [33]

Sulla base di questa asserzione, nella pratica clinica del fisioterapista, il rapporto tra costi (in termini di tempo e attrezzature necessarie) e benefici non è così favorevole come si riteneva in passato. In particolare per quanto riguarda la WBC e la PBC in criocabina, il costo delle attrezzature è molto alto a fronte dei modesti benefici.

Per quanto riguarda la CWI invece, l'efficacia sembra leggermente migliore rispetto agli altri, con vari protocolli [34] ed i costi delle attrezzature necessarie sono più contenuti.

Potrebbe quindi avere un senso il suo utilizzo per 10-15 minuti subito dopo la prestazione fisica ad una temperatura tra i 5°C ed i 15 °C, tenendo conto del fatto che temperature più basse e tempi di esposizione più lunghi sembrano dare risultati migliori. Non vengono proposti tempi più lunghi di trattamento a causa del *discomfort* creato dall'acqua fredda a contatto con la cute.

È utile quindi per ridurre il dolore in atleti che devono eseguire prestazioni sportive a meno di 72 ore di distanza, passato questo termine la crioterapia diventa inutile in quanto il DOMS ha un'evoluzione benigna e i sintomi scompaiono del tutto dopo 72-96 ore.

Le limitazioni di CWI, PBC, WBC, secondo alcuni autori, sono il tempo di somministrazione del freddo e l'abbassamento della temperatura corporea prettamente a livello cutaneo. Viene proposto quindi, come alternativa, l'utilizzo di temperature più

alte per tempi molto più lunghi per non provocare fastidi a livello cutaneo ed abbassare la temperatura più in profondità nel tessuto muscolare tramite l'utilizzo dei PCM.

Sembra che l'utilità clinica di questo mezzo fisico sia meglio delle altre terapie.

Sono necessari tuttavia ulteriori studi per verificarne la reale utilità.

Si ritiene che questa nuova forma di crioterapia possa avere dei risvolti positivi sulla pratica clinica in quanto è facilmente utilizzabile nel setting di uno studio fisioterapico e gli studi preliminari indicano una buona efficacia [35]

L'utilizzo di temperature e mezzi fisici molto diversi che alla fine hanno un risultato, in termini di riduzione del punteggio VAS, abbastanza simile, porta a presumere che non sia così determinante il protocollo con cui si somministra la crioterapia.

Sembra che il suo effetto rispetto al riposo sia, seppur modesto ma clinicamente rilevante, correlato in parte all'abbassamento della temperatura corporea e in parte, probabilmente, alle credenze del paziente.

Parte dell'effetto del trattamento potrebbe essere legato al placebo, infatti, non potendo erogare una crioterapia *sham* non siamo in grado di distinguere obiettivamente quanto del trattamento sia di terapeutico e quanto sia placebo.

Nella realtà viene confrontata con il riposo passivo o con altre terapie.

CONCLUSIONI

Dagli studi esaminati si può affermare che la crioterapia è più efficace rispetto al riposo passivo nell'alleviare il dolore muscolare percepito dopo una sessione di esercizio ad alta intensità.

La forma più studiata e più efficace è l'immersione in acqua fredda somministrata subito dopo lo sforzo fisico che, confrontata con le altre terapie, sembra dare i risultati migliori a 24, 48, 72 e 96 ore.

Per quanto riguarda le altre forme di crioterapia (la WBC e la PBC), i risultati sono contrastanti ma ancora preliminari, serviranno ulteriori studi per verificare l'efficacia e gli eventuali eventi avversi derivati da queste tipologie di intervento.

L'utilizzo della crioterapia sembra quindi avere una maggiore efficacia, seppur modesta, rispetto al recupero passivo, nella gestione del dolore.

Rimane aperta la discussione sulla sua reale utilità in ambito clinico e sportivo, in quanto non riduce il periodo di durata del DOMS ma solo il dolore percepito dall'atleta.

In particolare, la CWI sembra essere la forma di intervento più efficace secondo le evidenze disponibili e, non richiedendo l'impiego di attrezzature costose, potrebbe essere facilmente impiegata negli atleti degli atleti sottoposti a prestazione sportive ravvicinate (meno di 72 ore).

BIBLIOGRAFIA

1. Cleak MJ, Eston RG. Muscle soreness, swelling, stiffness, and strength loss after intense eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine* 1992;26(4):267-72.
2. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology* 2001;537(Pt 2):333-45.
3. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, Grim C, Bloch W, Hüttel M, Heiss R. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*. 2018 Dec;32(4):243-250. English. doi: 10.1055/a-0753-1884. Epub 2018 Dec 11. PMID: 30537791.
4. Pointon M, Duffield R, Cannon J, Marino FE. Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *European journal of applied physiology*. 2011; 111(12):2977–86. doi: 10.1007/s00421-011-1924-1 PMID: 21445604.
5. Cheung, K., Hume, P., and Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med*. 33, 145–164. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005
6. Friesenbichler, B., Stirling, L. M., Federolf, P., and Nigg, B. M. (2011). Tissue vibration in prolonged running. *J. Biomech*. 44, 116–120. doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.08.034
7. Bishop, P. A., Jones, E., and Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *J. Strength Cond. Res*. 22, 1015–1024. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816eb518
8. Sonkodi B, Berkes I, Koltai E. Have We Looked in the Wrong Direction for More Than 100 Years? Delayed Onset Muscle Soreness Is, in Fact, Neural Microdamage Rather Than Muscle Damage. *Antioxidants (Basel)*. 2020 Mar 5;9(3):212. doi: 10.3390/antiox9030212. PMID: 32150878; PMCID: PMC7139782.
9. Torres R, Ribeiro F, Alberto Duarte J, Cabri JM. Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2012 May;13(2):101-14. doi: 10.1016/j.ptsp.2011.07.005. Epub 2011 Sep 14. PMID:22498151.
10. Isabell WK, Durrant E, Myrer W, Anderson S. The effects of ice massage, ice massage with exercise, and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness. *J Athl Train*. 1992;27(3):208-17. PMID: 16558163; PMCID: PMC1317248.
11. Howatson G, Van Someren KA. Ice massage. Effects on exercise-induced muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003 Dec;43(4):500-5. PMID: 14767412.
12. Adamczyk JG, Krasowska I, Boguszewski D, Reaburn P. The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. *J Therm Biol*. 2016 Aug;60:20-5. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.05.006. Epub 2016 Jun 6. PMID: 27503712.
13. Kraemer WJ, Bush JA, Wickham RB, Denegar CR, Gómez AL, Gotshalk LA, Duncan ND, Volek JS, Putukian M, Sebastianelli WJ. Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2001 Jun;31(6):282-90. doi: 10.2519/jospt.2001.31.6.282. PMID: 11411623.
14. Hohenauer E, Costello JT, Deliens T, Clarys P, Stoop R, Clijsen R. Partial-body cryotherapy (-135°C) and cold-water immersion (10°C) after muscle damage in females. *Scand J Med Sci Sports*. 2020 Mar;30(3):485-495. doi: 10.1111/sms.13593. Epub 2019 Nov 27. PMID: 31677292; PMCID: PMC7027844.

15. Behringer M, Jedlicka D, Mester J. Effects of lymphatic drainage and cryotherapy on indirect markers of muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018 Jun;58(6):903-909. doi: 10.23736/S0022-4707.17.07261-9. Epub 2017 May 5. PMID: 28480692.
16. Kwiecien SY, O'Hara DJ, McHugh MP, Howatson G. Prolonged cooling with phase change material enhances recovery and does not affect the subsequent repeated bout effect following exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2020 Feb;120(2):413-423. doi: 10.1007/s00421-019-04285-5. Epub 2019 Dec 11. PMID: 31828479.
17. Hohenauer E, Costello JT, Deliens T, Clarys P, Stoop R, Clijsen R. Partial-body cryotherapy (-135°C) and cold-water immersion (10°C) after muscle damage in females. *Scand J Med Sci Sports*. 2020 Mar;30(3):485-495. doi: 10.1111/sms.13593. Epub 2019 Nov 27. PMID: 31677292; PMCID: PMC7027844.
18. Dantas G, Barros A, Silva B, Belém L, Ferreira V, Fonseca A, Castro P, Santos T, Lemos T, Héricksen W. Cold-Water Immersion Does Not Accelerate Performance Recovery After 10-km Street Run: Randomized Controlled Clinical Trial. *Res Q Exerc Sport*. 2020 Jun;91(2):228-238. doi: 10.1080/02701367.2019.1659477. Epub 2019 Oct 25. PMID: 31652109.
19. Hohenauer E, Costello JT, Stoop R, Küng UM, Clarys P, Deliens T, Clijsen R. Cold-water or partial-body cryotherapy? Comparison of physiological responses and recovery following muscle damage. *Scand J Med Sci Sports*. 2018 Mar;28(3):1252-1262. doi: 10.1111/sms.13014. Epub 2017 Dec 13. PMID: 29130570.
20. Wilson LJ, Cockburn E, Paice K, Sinclair S, Faki T, Hills FA, Gondek MB, Wood A, Dimitriou L. Recovery following a marathon: a comparison of cold water immersion, whole body cryotherapy and a placebo control. *Eur J Appl Physiol*. 2018 Jan;118(1):153-163. doi: 10.1007/s00421-017-3757-z. Epub 2017 Nov 10. PMID:29127510.
21. Bailey DM, Erith SJ, Griffin PJ, Dowson A, Brewer DS, Gant N, Williams C. Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci*. 2007 Sep;25(11):1163-70. doi: 10.1080/02640410600982659. PMID: 17654228.
22. Fonseca LB, Brito CJ, Silva RJ, Silva-Grigoletto ME, da Silva WM Junior, Franchini E. Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes. *J Athl Train*. 2016 Jul;51(7):540-9. doi: 10.4085/1062-6050-51.9.01. Epub 2016 Aug 30. PMID: 27575565; PMCID: PMC5317190.
23. Petrofsky JS, Khowailed IA, Lee H, Berk L, Bains GS, Akerkar S, Shah J, Al-Dabbak F, Laymon MS. Cold Vs. Heat After Exercise-Is There a Clear Winner for Muscle Soreness. *J Strength Cond Res*. 2015 Nov;29(11):3245-52. doi: 10.1519/JSC.0000000000001127. PMID: 26502272.
24. Glasgow PD, Ferris R, Bleakley CM. Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: is dose important? A randomised controlled trial. *Phys Ther Sport*. 2014 Nov;15(4):228-33. doi: 10.1016/j.ptsp.2014.01.002. Epub 2014 Jan 29. PMID: 24768476.
25. Crystal NJ, Townson DH, Cook SB, LaRoche DP. Effect of cryotherapy on muscle recovery and inflammation following a bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2013 Oct;113(10):2577-86. doi: 10.1007/s00421-013-2693-9. Epub 2013 Jul 20. PMID: 23873339.
26. Ascensão A, Leite M, Rebelo AN, Magalhães S, Magalhães J. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci*. 2011 Feb;29(3):217-25. doi:10.1080/02640414.2010.526132. PMID: 21170794.
27. Sellwood KL, Brukner P, Williams D, Nicol A, Hinman R. Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 2007

- Jun;41(6):392-7. doi: 10.1136/bjism.2006.033985. Epub 2007 Jan 29. PMID: 17261562; PMCID: PMC2465319.
28. Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport*. 2009 May;12(3):417-21. doi: 10.1016/j.jsams.2007.12.011. Epub 2008 Jun 11. PMID: 18547863.
 29. Costello JT, Baker PR, Minett GM, Bieuzen F, Stewart IB, Bleakley C. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015 Sep 18;(9):CD010789. doi: 10.1002/14651858.CD010789.pub2. PMID: 26383887.
 30. Bleakley C, McDonough S, Gardner E, Baxter GD, Hopkins JT, Davison GW. Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012 Feb 15;2012(2):CD008262. doi: 10.1002/14651858.CD008262.pub2. PMID: 22336838; PMCID: PMC6492480.
 31. Hohenauer E, Taeymans J, Baeyens JP, Clarys P, Clijssen R. The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2015 Sep 28;10(9):e 0139028. doi: 10.1371/journal.pone.0139028. PMID: 26413718; PMCID: PMC4586380.
 32. Torres R, Ribeiro F, Alberto Duarte J, Cabri JM. Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2012 May;13(2):101-14. doi: 10.1016/j.ptsp.2011.07.005. Epub 2011 Sep 14. PMID: 22498151.
 33. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med*. 2003;33(2):145-64. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005. PMID: 12617692.
 34. Stephens JM, Sharpe K, Gore C, Miller J, Slater GJ, Versey N, Peiffer J, Duffield R, Minett GM, Crampton D, Dunne A, Askew CD, Halson SL. Core Temperature Responses to Cold-Water Immersion Recovery: A Pooled-Data Analysis. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018 Aug 1;13(7):917-925. doi: 10.1123/ijsp.2017-0661. Epub 2018 Jul 30. PMID: 29283744
 35. Kwiecien SY, McHugh MP, Howatson G. Don't Lose Your Cool With Cryotherapy: The Application of Phase Change Material for Prolonged Cooling in Athletic Recovery and Beyond. *Front Sports Act Living*. 2020 Oct 15;2:118. doi:10.3389/fspor.2020.00118. PMID: 33345107; PMCID: PMC7739598.