



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di laurea Triennale in Scienze motorie

Tesi di laurea

"L'IMMERSIONE IN ACQUA FREDDA E IL SUO IMPATTO SULLA FUNZIONE MUSCOLARE, IL DANNO MUSCOLARE E L'INFIAMMAZIONE SISTEMICA: UNA REVISIONE DELLA LETTERATURA"

Relatore: Prof. MICHELA RIGONI

Laureando: EDOARDO MALACCHINI

N° di matricola: 2050137

Anno accademico 2023/24

INDICE

- Abstract
- Introduzione
- CWI e adattamenti muscolari
 - Introduzione
 - *“Cold-water immersion blunts and delays increases in circulating testosterone and cytokines post-resistance exercise”*
 - *“Strength training adaptations after cold water immersion”*
 - Conclusioni
 - Applicazioni
- Capitolo 2: CWI ed infiammazione
 - Introduzione
 - *“Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial”*
 - *“Effect of Cold Water Immersion Performed on Successive Days on Physical Performance, Muscle Damage, and Inflammatory, Hormonal, and Oxidative Stress Markers in Volleyball Players”*
 - Conclusioni
 - Applicazioni
- Capitolo 3: CWI e performance muscolare
 - Introduzione
 - *“Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial”*
 - *“Effect of Cold Water Immersion Performed on Successive Days on Physical Performance, Muscle Damage, and Inflammatory, Hormonal, and Oxidative Stress Markers in Volleyball Players”*
 - *“Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise”*
 - Conclusioni
 - Applicazioni

- Conclusioni
- Bibliografia

ABSTRACT

Le tecniche di Crioterapia, che includono le immersioni in acqua fredda, sono spesso utilizzate dagli atleti per favorire il recupero da danno muscolare provocato dall'esercizio o da traumi. In questa revisione si è voluto analizzare il suo effetto in un contesto di allenamento della forza, frequente nella preparazione atletica, e per farlo sono stati selezionati cinque articoli particolarmente interessanti che vanno a misurare: parametri del recupero muscolare (es. Volume muscolare), parametri e markers dell'infiammazione (es. Citochine), performance muscolare e markers di adattamenti muscolari (es. Testosterone). I risultati degli studi non sono completamente in linea tra loro ma suggeriscono che le immersioni in acqua fredda siano una buona tecnica per diminuire l'indolenzimento ed il *discomfort* dovuti all'allenamento o allo svolgimento di una competizione, permettendo una prestazione migliore nel successivo allenamento o nella successiva competizione.

INTRODUZIONE

L' utilizzo della crioterapia come tecnica di recupero da danni muscolari e traumi è molto comune nel mondo dello sport e non solo ma ancora non si è compreso con precisione quale sia il suo effetto fisiologico. Le prime testimonianze sull' utilizzo del freddo per ridurre gli edemi risalgono ad Ippocrate (Susan Y Kwiecien, [2021](#)).

La crioterapia è una tecnica molto antica che prevede l' utilizzo del freddo con l'obbiettivo di migliorare ed accelerare il recupero muscolare, per molti anni si è utilizzato il ghiaccio applicato localmente per favorire il recupero dai traumi, una tecnica riconosciuta da alcuni (Enwemeka et al. [2002](#), Hayden et al. [1964](#)) ma non da tutta la comunità scientifica (Takagi et al. [2011](#), White and Wells [2013](#)), fino ad arrivare alla metodologia ICE (*Icing, Compression and Elevation*) e tutte le metodologie derivate (Bleakley et al. [2012](#), Dubois and Esculier [2020](#)). È importante tenere in considerazione che in questi studi si parla soprattutto di danno muscolare da trauma, il quale presenta caratteristiche diverse dal danno da esercizio ed è difficile da standardizzare; inoltre, sono studi che trattano l' applicazione di pacchi di ghiaccio in maniera locale, solo più recentemente si è iniziato a parlare di *Whole-Body-Cryotherapy* (WBC), *Cold-Water-Immersion* (CWI) e *Phase-Change-Material* (PCM). Si tratta di tecniche che permettono un raffreddamento dei tessuti più globale e quindi un recupero più sistematico. Le evidenze a riguardo non sono concordanti e le tecniche vengono utilizzate con diversi protocolli. Nel recupero da esercizio si considerano performance e adattamenti muscolari e cardiovascolari che invece non vengono presi in considerazione quando si parla di crioterapia nel recupero da traumi (Ihsan et. Al [2016](#), Yamane et. Al [2015](#)). Focalizzando lo sguardo verso i danni muscolari da esercizio (*Exercise Induced Muscle Damage*, EIMD), sappiamo che gli atleti sono sottoposti a stress fisici elevati. Nonostante il lavoro di allenatori e preparatori nella gestione di volume ed intensità possono verificarsi situazioni in cui il livello di stress fisico è troppo elevato. Nel momento in cui lo stress fisico è eccessivo è importante intervenire per due motivi principali:

- si verifica un calo prestativo
- se protratto nel tempo può far emergere la sindrome da *overtraining* (*Overtraining Syndrome*,OTS)

Ecco che quindi assumono importanza le tecniche di recupero come, ad esempio, la crioterapia oppure i massaggi. Con questa revisione si vuole approfondire l'utilizzo della *Cold-Water-Immersion* (CWI), ovvero l'immersione fino al bacino o metà busto in acqua a 8-15°C per un intervallo che va dai 5 ai 20 minuti (Versey et. Al [2013](#), Ihsan et. Al [2016](#), Machado [2016](#)), eseguita immediatamente dopo l'esercizio per una o più volte con lo scopo di migliorare e/o accelerare il processo di recupero. Il potenziale beneficio di questa tecnica di recupero dal danno muscolare è dovuto alla riduzione della temperatura dei tessuti ed all'effetto della pressione idrostatica: la risposta fisiologica a queste due condizioni sembra essere una diminuzione della perfusione microvascolare e del metabolismo muscolare, ciò comporta un'attenuazione dell'infiammazione (V.H. de Freitas et al. [2019](#)). L'attenuazione dell'infiammazione si manifesta soprattutto a livello di essudato, o *swelling*, un fenomeno che provoca un aumento dei DOMS (*Delayed Onset Muscle Soreness*) e della percezione di fatica in quanto va a comprimere e quindi stimolare i nocicettori, inoltre limita la microcircolazione (minor smaltimento dei prodotti di scarto e minor ossigeno disponibile) ed aumenta il fenomeno definito come *Secondary Tissue Damage* (una serie di conseguenze che vanno ad aumentare il livello di infiammazione e limitare la performance). Le metanalisi e le ricerche sperimentali suggeriscono, in generale, che la tecnica CWI porti a dei benefici nel recupero post-esercizio, anche se questa visione non è condivisa da tutta la comunità scientifica. Negli studi più recenti, oltre a monitorare il processo di recupero si è studiato l'impatto delle CWI frequenti sugli adattamenti all'esercizio; in merito si è osservato come la tecnica CWI porti a diminuzione degli adattamenti al *resistance training* mentre la performance aerobica non subisca modifiche (Malta et. Al [2021](#)). Altri lavori incentrati sugli adattamenti aerobici hanno individuato un aumento dei livelli di PGC-1 α in risposta a CWI, si tratta di un coattivatore di trascrizione che sembra avere un ruolo importante nella biogenesi mitocondriale ed altri adattamenti correlati al miglioramento della performance aerobica (Ihsan et. Al [2021](#)).

La prestazione di un atleta può essere di diverso tipo ed in base alle sue peculiarità variano gli stimoli forniti, gli adattamenti che questi stimoli creano, il tipo di danno provocato e di conseguenza la gestione del recupero. Questa revisione si focalizza sulla gestione del recupero della forza muscolare a livello di performance, recupero e adattamenti tramite immersioni in acqua fredda. La letteratura suggerisce che vi sia un miglioramento del recupero accompagnato da un calo della risposta anabolica.

CWI e ADATTAMENTI MUSCOLARI

▪ Introduzione

La preparazione atletica punta ad un miglioramento costante della performance sul lungo periodo e spesso anche nel breve, anche se in quest'ultimo caso possono esserci andamenti ondulatori dei livelli di forza con l'obiettivo di ottenere un picco della performance nel momento della competizione. La forza può essere ottimizzata attraverso diversi tipi di adattamenti che modificano le diverse componenti, questi adattamenti variano in base al tipo di forza che vogliamo migliorare (es. esplosiva, resistente, rapida). Le componenti della forza si differenziano in:

- Strutturali: volume, numero e tipo di fibre muscolari
- Nervose: reclutamento, coordinazione e sincronizzazione delle unità motorie
- Di stiramento: proprietà elastiche del muscolo

Il volume delle fibre muscolari aumenta tramite la sintesi proteica (*Muscle Protein Synthesis*, MPS) soprattutto di proteine muscolari miofibrillari. Il protagonista dell'attivazione del processo MPS è il complesso mTORC-1, la sua attività è influenzata da:

- Nutrizione: la presenza di amminoacidi nell'adeguata quantità
- Stress meccanico: comporta l'attivazione di FAK e PA che indirettamente attivano mTORC-1
- Insulina e IGF-1: indirettamente attivano mTORC-1

Queste tre vie sono le principali responsabili dell'ipertrofia ma vi sono altri fattori che interagiscono con mTORC-1 come TNF- α , Interleuchine e ROS. Queste ultime sostanze vengono prodotte durante l'infiammazione favorita dallo stress meccanico dovuto all'allenamento che, se eccessivo, può comportare l'effetto opposto: la degradazione proteica. Per limitare l'eccessiva infiammazione tra i vari metodi utilizzati vi è la *Cold Water Immersion*, talvolta utilizzata, ad esempio nel rugby, al termine di ogni allenamento. Si tratta di una strategia controversa perché può annullare o diminuire lo stress meccanico derivante dall'allenamento e necessario per adattamenti muscolari come l'ipertrofia.

- *“Cold-water immersion blunts and delays increases in circulating testosterone and cytokines post-resistance exercise”* Earp, J.E., Hatfield, D.L., Sherman, A. et al. *Eur J Appl Physiol* 119, 1901–1907 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04178-7>

Sono stati selezionati 11 uomini sani ed abituati all'allenamento che dopo un riscaldamento standardizzato hanno effettuato un test iniziale nel *back squat* alla *Smith machine* per misurare in maniera diretta l'1RM (*One Repetition Maximum*), ovvero il carico che se utilizzato in un determinato esercizio permette al soggetto di eseguire una singola ripetizione e non più di una, questo è stato raggiunto tramite serie di avvicinamento separate una dall'altra da 3 minuti di recupero. Questo 1RM viene utilizzato in una seconda giornata in cui, dopo lo stesso riscaldamento standardizzato della prima seduta, viene eseguito dai soggetti un protocollo di allenamento che consiste in 5 serie da 10 ripetizioni di *back squat* alla *Smith machine* con un carico pari all'80% dell'1RM. In queste serie il carico è stato abbassato se necessario per concludere le 10 ripetizioni, le serie sono state eseguite con 2 minuti di recupero tra una e l'altra. Questo protocollo di allenamento è stato eseguito dai soggetti in due sessioni separate dai 3 ai 14 giorni, in una sessione l'allenamento è stato seguito da un recupero passivo di 60 minuti e nell'altra i soggetti, 5-8 minuti dopo l'ultima serie, sono stati immersi fino al processo xifoideo in una vasca di acqua a 15°C per una durata di 15 minuti. In seguito all'immersione i partecipanti hanno completato i 60 minuti di recupero in maniera passiva.

Durante l'esperimento sono stati presi campioni di sangue prima dell'esercizio (PRE), 5 minuti dopo (5POST), 15 minuti dopo (15POST), 30 minuti dopo (30POST) e 60 minuti dopo (60POST) per andare a misurare i livelli di lattato, testosterone (T), IL-6 e TNF- α .

Non si rilevano differenze nei livelli di lattato ematico (**Figura 1**), i livelli di T sono più elevati nel gruppo di controllo (**Figura 2**) e nel gruppo CWI si riscontra un livello di T alla misurazione 60POST più basso rispetto ai livelli iniziali (PRE). Il valore di IL-6 è più alto nel gruppo CON alla misurazione 30POST ma successivamente il valore al 60POST è più alto nel gruppo CWI (**Figura 3**). TNF- α è leggermente più alto nel gruppo di controllo (**Figura 4**).

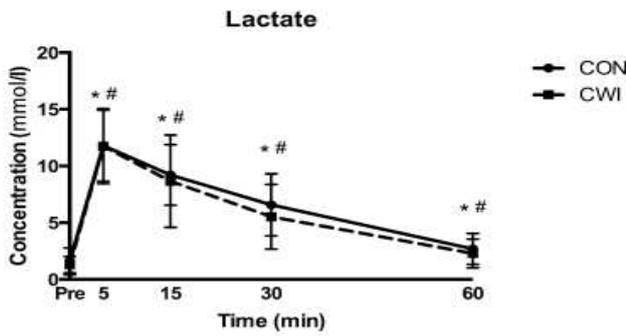


Figura 1: Il grafico in figura rappresenta l'andamento della concentrazione di lattato ematico (Concentration) in mmol/l dei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in minuti, misurata prima dell'esercizio (PRE), 5 minuti dopo (5), 15 minuti dopo (15), 30 minuti dopo (30) e 60 minuti dopo (60).

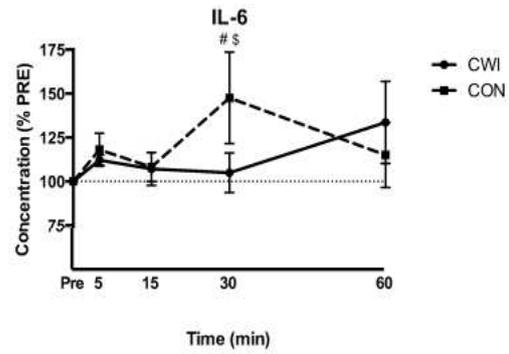


Figura 3: Il grafico in figura rappresenta l'andamento della concentrazione di IL-6 in %RPE nei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in minuti, misurata prima dell'esercizio (PRE), 5 minuti dopo (5), 15 minuti dopo (15), 30 minuti dopo (30) e 60 minuti dopo (60).

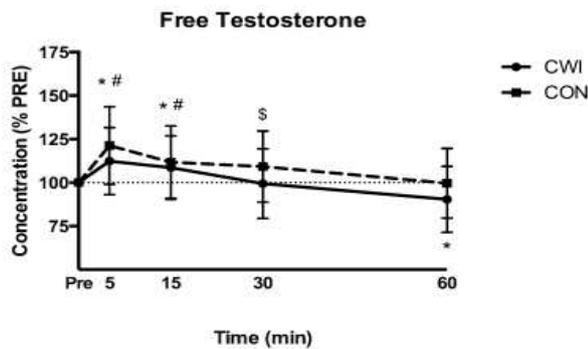


Figura 2: Il grafico in figura rappresenta l'andamento del testosterone (Free Testosterone) in %RPE dei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in minuti, misurata prima dell'esercizio (PRE), 5 minuti dopo (5), 15 minuti dopo (15), 30 minuti dopo (30) e 60 minuti dopo (60).

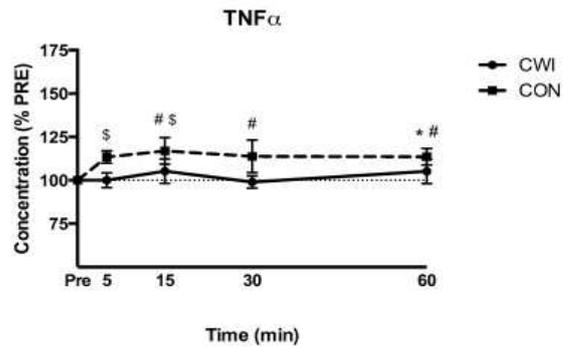


Figura 4: Il grafico in figura rappresenta l'andamento della concentrazione di TNFα in %RPE nei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in minuti, misurata prima dell'esercizio (PRE), 5 minuti dopo (5), 15 minuti dopo (15), 30 minuti dopo (30) e 60 minuti dopo (60).

Osservando i dati rilevati possiamo concludere che la tecnica di recupero CWI determina un abbassamento dei livelli di testosterone nella prima ora dopo l'allenamento, di conseguenza minor attività di mTORC-1 e perciò una probabile ridotta sintesi proteica. Per quanto riguarda TNF-α e

IL-6, abbiamo un aumento molto moderato in seguito all'esercizio, forse dovuti ad un allenamento poco intenso. In ogni caso, in particolare al 30POST ma in generale su tutto il periodo di misurazioni, si rilevano valori più elevati nel gruppo CON. Come specificato anche nella discussione dell'articolo è strana la misurazione 5POST di TNF- α perché rileva valori più bassi nel gruppo CWI già prima dell'intervento di recupero.

La conclusione dello studio è che la somministrazione di CWI a 15°C per 15 minuti quasi subito dopo un allenamento di *resistance training* comporta un abbassamento della risposta acuta di testosterone e citochine.

Si tratta di uno studio interessante ed utile, i limiti che si possono riscontrare sono l'utilizzo di un esercizio tecnicamente difficile con soggetti che avevano come requisito un solo anno di *resistance training*, questo livello di esperienza potrebbe aver comportato differenze nell'espressione dell'intensità, inoltre si dice che in alcuni casi è stato abbassato il carico da sollevare ma non si specifica a quali gruppi appartengano questi soggetti. Un ulteriore difetto nel design sperimentale riguarda il tempo di recupero utilizzato nel test incrementale per il calcolo dell'1RM, 3' sono pochi per recuperare da prestazioni vicine al massimale a basse ripetizioni; potrebbe non rappresentare un problema grazie alla standardizzazione.

- ["Strengthtraining adaptations after cold water immersion"](#) Fröhlich M, Faude O, Klein M, Pieter A, Emrich E, Meyer T. *J Strength Cond Res.* 2014 Sep;28(9):2628-33. doi: 10.1519/JSC.0000000000000434. PMID: 24552795.

Sono stati selezionati 17 studenti sportivi sani con un minimo di 6 mesi di esperienza nel *resistance training*. Dopo una prima familiarizzazione è stato eseguito un pretest (T1) che ha preceduto un periodo di 5 settimane di allenamento, al termine del programma di allenamento c'è stato un posttest (T2), due settimane di *detraining* ed un ulteriore test (T3). I test consistevano in prestazioni di *leg curl* monolaterali con carichi incrementali, all'interno di queste prestazioni i valori ricercati sono stati il 12RM e l'1RM. Il protocollo di allenamento durato 5 settimane è stato eseguito sempre tramite *leg curl* monolaterale eseguita per 3 serie a gamba, 8-12 ripetizioni con un carico al 75-80% dell'1RM e 3 minuti di recupero, durante questo periodo i soggetti non hanno praticato *resistance training* ma hanno continuato con le attività sport-specifiche.

Al termine di ogni sessione di allenamento una delle due gambe (sempre la stessa) viene immersa in acqua a circa 12°C per 3 intervalli di 4 minuti separati da 30 secondi di recupero (un totale di 12 minuti). Il primo risultato che indica un buon protocollo di allenamento è il miglioramento dei valori 1RM e 12RM tra T1, T2 e T3. Si può poi osservare come la gamba di controllo ha ottenuto un significativo maggior miglioramento nel 12RM; anche nell' 1RM ottiene risultati migliori ma non abbastanza da rappresentare un dato statisticamente significativo.

La riduzione degli adattamenti relativi alla forza è dell'1-2% nella gamba sottoposta a CWI, un valore molto basso ma comunque interessante, presumibilmente dovute alla soppressione del processo infiammatorio (il quale è ritenuto fondamentale per permettere la supercompensazione e quindi il miglioramento) e la diminuzione di permeabilità capillare che comporta una riduzione della circolazione di insulina e IGF-1.

Lo studio in questione ha portato nuova conoscenza sul tema CWI, il limite riguarda la scelta di soggetti non esperti (in quanto non sono atleti e 6 mesi di esperienza nel *resistance training* sono pochi).

▪ Conclusioni

I due studi hanno analizzato 2 parametri diversi, da una parte abbiamo l'analisi della risposta fisiologica interna e dall'altra abbiamo l'analisi dell'andamento del carico esterno e quindi della capacità di esprimere forza, ciò che accomuna i due studi è l'interesse verso l'utilizzo della crioterapia come tecnica di recupero con un focus nei confronti delle componenti muscolari; infatti nel secondo studio osservato viene utilizzato un protocollo di allenamento che favorisce un aumento della forza dovuto principalmente all'aumento di massa muscolare piuttosto che al miglioramento della coordinazione o delle componenti neurali.

Vi sono molteplici differenze tra i due studi, tra le principali vi è sicuramente la durata, però possiamo utilizzarli insieme per comprendere qualcosa in più sull'effetto delle CWI nei confronti degli adattamenti muscolari che vengono ricercati dagli atleti attraverso il *resistance training*, perciò ipertrofia ed aumento della forza.

Nello studio di J. E. Earp et al. (2019) svolge il ruolo di protagonista il testosterone, un potente ormone anabolico con effetti positivi nei confronti di tessuto muscolare, osseo, connettivo e nervoso. Tra i principali effetti del testosterone vi è un aumento dell'espressione dei recettori degli

androgeni che inizia non prima di 60-120 minuti dopo l'allenamento, con un picco a 3 ore. Questo aumento persiste fino a 24 ore (Kraemer et al. [2017](#)). È necessario un programma di allenamento che produca un'elevata quantità di testosterone per ottenere una risposta a livello dei recettori degli androgeni, perciò, la risposta acuta dei livelli di testosterone in risposta all'esercizio è importante. Sembra quindi che la risposta ipertrofica sia condizionata anche dai livelli dei recettori degli androgeni, stimolati appunto dal testosterone circolante, più che dai livelli di testosterone circolante stesso, sarebbe quindi interessante studiare gli effetti della crioterapia nei loro confronti.

IL-6 non è solo correlata al processo di rigenerazione muscolare che caratterizza l'ipertrofia, ma può comportarsi, in base alla sua origine, come una citochina pro-infiammatoria oppure anti-infiammatoria. Se viene rilasciata dalle cellule immunitarie, è accompagnata dalla secrezione di TNF- α ed ha un effetto pro-infiammatorio che sfocia nel processo di riparazione, se invece viene rilasciata dal muscolo (ciò avviene in una situazione di stress energetico, per questo motivo anche l'allenamento di endurance comporta un aumento di IL-6) assume un effetto anti-infiammatorio inibendo il rilascio di TNF- α e promuovendo la sintesi di IL-10 (Ringleb et al. [2023](#)). IL-6 risulta quindi essere un buon parametro per valutare la risposta fisiologica nel momento in cui ne si accerta la provenienza.

La meta-analisi di Ringleb et al. ([2023](#)) mostra come una sessione di *resistance training* non comporti una larga risposta a livello di TNF- α . La produzione di questo fattore è legata ad IL-6 ed ai macrofagi, la principale fonte di TNF- α . Uno studio in particolare ha rilevato un picco di TNF- α 8 ore dopo lo studio, per lo studio di Earp et al. sarebbe stato quindi interessante monitorare più a lungo i soggetti.

Come illustrato nella review di A.C. Petersen ([2021](#)), gli effetti delle CWI nei confronti della risposta ipertrofica al *resistance training* sembrerebbero essere negativi: le CWI riducono la risposta ipertrofica (Roberts et al. [2015](#); Yamane et al. [2015](#); Poppendieck et al. [2020](#)), oppure la annullano (Ohnishi et al. [2004](#); Yamane et al. [2006](#)).

Per quanto riguarda i miglioramenti dei livelli di forza una recente meta-analisi (Malta et al. [2020](#)) ha concluso che l'utilizzo delle CWI diminuisce i miglioramenti di forza sia dinamica che isometrica.

▪ Applicazioni

Riassumendo, l'utilizzo delle CWI come tecnica di recupero post esercizio si conferma come una tecnica non positiva per quanto riguarda gli adattamenti a livello di ipertrofia e di forza massimale. Ciò non significa che le CWI siano inutili, bisognerebbe identificare il momento più opportuno in cui somministrare le CWI all'interno del microciclo, sicuramente non nelle 24 ore successive agli allenamenti di *resistance training*.

CAPITOLO 2: CWI e infiammazione

▪ Introduzione

Ora affrontiamo il lato oscuro dell'infiammazione dovuta all'allenamento (escludendo infiammazioni tendinee/articolari da sovraccarico o infiammazioni dovute a traumi), ovvero le sue conseguenze negative. Innanzitutto, è importante sottolineare in quali casistiche l'infiammazione rappresenta un problema perché si tratta di una condizione che, a bassi livelli, accompagna la vita di un atleta:

- *Overtraining Syndrome* (OTS): è una situazione in cui l'organismo accusa lo squilibrio tra lavoro e recupero con effetti negativi a livello di performance e di benessere. Si tratta di una condizione multifattoriale, viene definita come un accumulo di stress (dovuto sia all'allenamento che non) che comporta un calo della performance per un periodo prolungato (L.E. Armstrong et al. [2022](#)) che secondo la review di J. Carrard et al. ([2022](#)) corrisponde ad un periodo sopra le 3-4 settimane. Possiamo analizzare l'effetto delle CWI nei confronti di infiammazione e sistema nervoso autonomo per comprendere se questa tecnica di recupero può essere utile nel campo della cura o della prevenzione della sindrome da *overtraining*.
- In vista di una competizione: nel momento in cui un atleta è sottoposto ad uno sforzo nelle ore che precedono una competizione, oltre ad essere soggetto ad affaticamento può svilupparsi un certo grado di infiammazione. Oltre alla gestione dell'infiammazione può essere utile dirigere l'attività del sistema nervoso autonomo andando a favorire i processi di recupero.

- [“Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial”](#) Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Júnior JB, Nóbrega OT, de Souza VC, Marqueti RC, Babault N, Durigan JLQ. *Sci Rep.* 2018 Jul 19;8(1):10961. doi: 10.1038/s41598-018-28942-5. PMID: 30026562; PMCID: PMC6053395.

Sono stati selezionati 30 uomini fisicamente attivi e divisi in due gruppi: CON (gruppo di controllo) e CWI. Sono stati selezionati soggetti che praticano regolarmente attività aerobiche o sport ricreativi, perciò, né atleti e né abituati al *resistance training*. Dopo la classica familiarizzazione i soggetti sono stati sottoposti ad un allenamento (o protocollo di danneggiamento muscolare): 5 serie di 20 *drop jump* con 2 minuti di recupero tra una e l'altra. Successivamente il gruppo CON ha recuperato passivamente mentre al gruppo CWI sono state prescritte più immersioni: 10 minuti dopo l'allenamento ed ogni 24 ore per i tre giorni successivi. Le immersioni sono state effettuate fino al bacino in acqua a 10°C per 20 minuti. Le misurazioni prese durante questo esperimento sono: spessore del muscolo tramite ultrasuoni (US), massima contrazione isometrica volontaria (MIVC), *Counter Movement Jump* (CMJ), *Delayed Onset Muscle Soreness* (DOMS) attraverso una scala di autovalutazione e prelievi del sangue per osservare i marker di danno muscolare, i marker dell'infiammazione ed il livello di degradazione della matrice extracellulare. Queste misurazioni sono state prese prima del protocollo di allenamento, subito dopo l'allenamento e 24, 48, 72, 96 e 168 ore dopo; fatta eccezione per i prelievi sanguigni e la misurazione dei DOMS che non sono state effettuati subito dopo l'esercizio e 96 ore dopo. A livello di MIVC e CMJ non vi sono differenze significative anche se nel CMJ il gruppo CWI ha un andamento migliore rispetto al gruppo CON. La **Figura 5** mostra come in seguito al protocollo di esercizio il volume muscolare aumenti molto in entrambi i gruppi, mentre dopo 24 ore vi è una notevole diminuzione statisticamente significativa nel gruppo CWI rispetto al gruppo CON. Nelle successive misurazioni la differenza non è significativa ma si nota come il gruppo CWI abbia un volume simile a quello di partenza, mentre il volume muscolare del gruppo CON rimanga elevato nelle successive 96 ore.

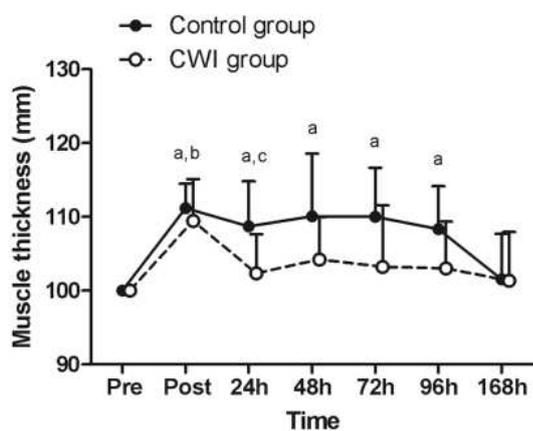


Figura 5: Il grafico in figura rappresenta l'andamento dello spessore muscolare (muscle thickness) in mm dei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in ore, misurato prima dell'esercizio (Pre), subito dopo (Post), 24 ore dopo (24h), 48 ore dopo (48h), 72 ore dopo (72h), 96 ore dopo (96h) e 168 ore dopo (168h).

I DOMS sono stati misurati tramite l'indolenzimento percepito durante la MIVC e durante un *seat to stand task* (ovvero un passaggio da posizione seduta ad in piedi). In entrambe le situazioni il gruppo CWI riporta dei valori più bassi di indolenzimento, notiamo in particolare come nella situazione MIVC il gruppo CON non ritorni ai valori di base nel tempo investigato al contrario del gruppo CWI che li raggiunge dopo 168 ore dall'allenamento (**Figura 6**).

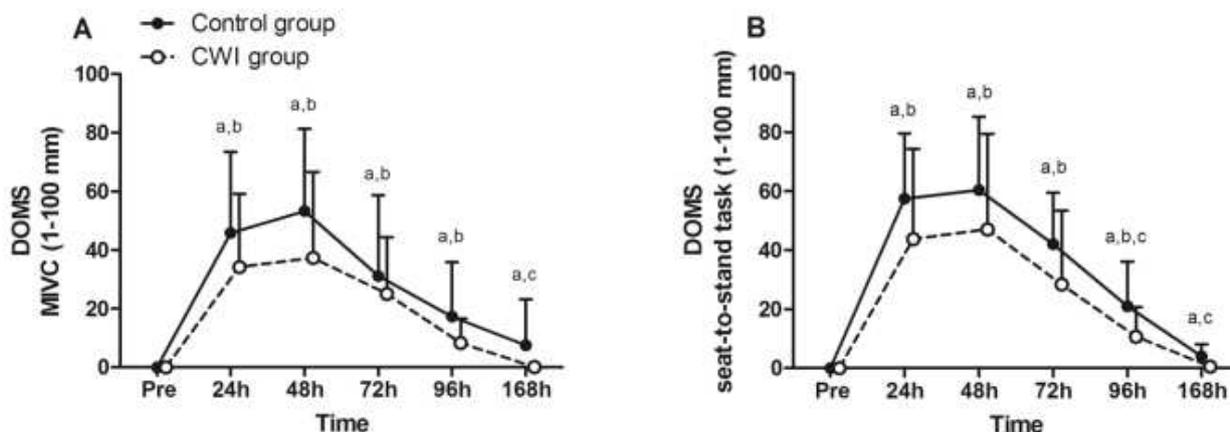


Figura 6: Mostra l'andamento dei valori di DOMS percepiti dai soggetti durante MIVC (a sinistra) e *seat-to-stand task* (a destra) nei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in ore, misurato prima dell'esercizio (Pre), subito dopo (Post), 24 ore dopo (24h), 48 ore dopo (48h), 72 ore dopo (72h), 96 ore dopo (96h) e 168 ore dopo (168h).

Passiamo ora ai dati ottenuti dai campioni sanguigni raccolti:

- Creatin chinasi: questo marker del danno muscolare cresce molto nelle 24 ore successive all'allenamento in entrambi i gruppi. Il gruppo CWI torna ai valori basali 72 ore dopo l'allenamento mentre il gruppo CON mantiene elevati i valori su tutta la durata delle misurazioni, con uno strano picco a 168 ore dall'allenamento.

- Markers dell'inflammation: CRP, IL-6, TNF- α , IL-1 α (citochine pro-infiammatorie) e IL-10 (citochina anti-infiammatoria). Non vi sono grandi differenze tra i due gruppi se non TNF- α più elevato nel gruppo di controllo dopo 24 ore dall'allenamento ed IL-1 α più elevato nel gruppo CON a 72 ore dal protocollo di danno muscolare.
- MMP-2 (marker di degradazione della matrice extracellulare) non vi è differenza tra i due gruppi ma non si notano nemmeno differenze in seguito all'allenamento.

Ciò che questo studio aggiunge alla letteratura sulle CWI è che queste hanno diminuito il danno muscolare nelle 72 ore successive, ciò è confermato da una riduzione del volume muscolare, dei DOMS e della concentrazione di creatin chinasi. A livello di inflammation invece si è registrato un effetto su alcuni valori ed in alcune misurazioni ma non sembrano essere risultati abbastanza rilevanti da poter confermare che le CWI riducono la risposta infiammatoria. Un risultato interessante riguarda MMP-2, il fatto che i suoi valori non hanno subito variazioni permette di smentire la teoria secondo cui le CWI riducono l'inflammation ma vanno ad aumentare il deposito di collagene a livello muscolare.

- *“Effect of Cold Water Immersion Performed on Successive Days on Physical Performance, Muscle Damage, and Inflammatory, Hormonal, and Oxidative Stress Markers in Volleyball Players”* de Freitas VH, Ramos SP, Bara-Filho MG, Freitas DGS, Coimbra DR, Cecchini R, Guarnier FA, Nakamura FY. *J Strength Cond Res.* 2019 Feb;33(2):502-513. doi: 10.1519/JSC.0000000000001884. PMID: 28277426.

Sono stati selezionati 15 giocatori professionisti di pallavolo sani ed inseriti in uno dei due gruppi: gruppo CWI o gruppo placebo.

L'esperimento consiste nell'osservare l'effetto che le CWI, rispetto ad un gruppo placebo, applicate giornalmente su un periodo di 5 giorni di allenamento, hanno su performance, danno muscolare, inflammation, ormoni e marker di stress ossidativo.

Durante i cinque giorni di allenamento sono state effettuate 15 sessioni di allenamento che comprendono: *resistance training*, *circuit training*, allenamento specifico ed allenamento tecnico.

Al termine di ogni giornata di allenamento, 15 minuti dopo il termine, viene somministrato l'intervento di recupero:

- Gruppo placebo: è stato utilizzato uno strumento LED inattivo: presentato alla squadra come un'ottima strategia di recupero.
- Gruppo CWI: le immersioni in acqua fino allo sterno sono durate 15 minuti ad una temperatura di 14°C.

Sono state effettuate diverse misurazioni:

- DOMS (*Delayed Onset Muscle Soreness*) e CMJ (*Counter Movement Jump*) ogni giorno. I DOMS sono stati misurati somministrando agli atleti scale di auto-valutazione del dolore percepito durante un'accosciata a 90° a corpo libero.
- TC (*Thigh Circumference*), ovvero la circonferenza del muscolo, e lo SJ (*Squat Jump*) test sono stati misurati il giorno 1, il giorno 3 ed il giorno 6. TC viene preso tramite misurazioni antropometriche ed è indice dello *swelling*.
- BC (*Blood Collection*) e SC (*Saliva Collection*) sono stati presi al giorno 1 ed al giorno 6 (giornata dedicata esclusivamente a misurazioni). Attraverso le analisi del sangue si sono osservati marker dell'infiammazione: TNF- α , IL-1 β , IL-6 e IGF-1, CK e stress ossidativo (quest'ultimo attraverso una stima delle proteine ossidate). Attraverso i campioni di saliva invece si sono analizzate le concentrazioni di testosterone e cortisolo per osservare il comportamento del loro rapporto (T:Cr), questo rapporto sembra essere un marker dell'*overreaching*.

Vi sono state ulteriori misurazioni come lo sforzo percepito tramite una scala RPE (*Rating of Perceived Exertion*) per ottenere una stima del lavoro eseguito e test di agilità.

Non sono state rilevate notevoli differenze tra i due gruppi per quanto riguarda la performance, ovvero sui test CMJ, SJ e di agilità, vale anche per i dati relativi ai DOMS che non presentano differenze tra i due gruppi. Solo nel CMJ si è visto un leggero beneficio dato dall'utilizzo di CWI. Le misurazioni TC non presentano differenze statisticamente significative tra i due gruppi però nel gruppo placebo c'è un aumento leggermente maggiore di questo valore.

I marker dell'infiammazione non presentano differenze significative tra i due gruppi ma c'è un aumento maggiore di IL-6 al sesto giorno nel gruppo placebo ($p=0.03$). Gli altri dati relativi a stress ossidativo, testosterone e cortisolo non presentano differenze significative. I livelli di CK aumentano in entrambi i gruppi senza differenze.

I risultati ottenuti dal presente studio suggeriscono che l'utilizzo delle CWI come tecnica di recupero ha un effetto molto limitato rispetto all'ipotesi iniziale. Oltre al mancato effetto delle CWI rispetto al gruppo placebo è stata inaspettata la non presenza o la scarsa presenza di: decremento a livello di performance, aumento dei DOMS ed aumento della concentrazione di CK, conseguenze dell'allenamento comunemente accettate dalla letteratura. Questa mancata risposta al volume di allenamento somministrato potrebbe essere dovuta alla bassa intensità di allenamento oppure all'esperienza dei giocatori, la quale potrebbe avergli permesso di sviluppare adattamenti che gli permettono di accusare meno gli effetti negativi dell'allenamento.

Questo studio è interessante perché aggiunge alla review la presenza di dati ottenuti da atleti professionisti.

I risultati sono poco importanti a livello di *effect size* però dato il contesto non sono completamente irrilevanti e soprattutto sono in linea con la letteratura, confermando l'effetto delle CWI nei confronti di performance (CMJ), edema (TC) ed IL-6. Un'osservazione interessante fatta dallo

studio in questione è che nel momento in cui l'impatto delle CWI sulla performance è stato molto leggero a differenza dell'impatto sul volume muscolare ed IL-6, forse questi due fattori non sono così importanti per la performance come si crede. Per dare risposta a questo dubbio però sono necessari ulteriori studi.

▪ Conclusioni

Per discutere l'argomento "CWI e infiammazione" sono stati selezionati due studi diversi principalmente per il diverso livello di esperienza motoria dei soggetti arruolati, per il volume ed i protocolli di allenamento. Il livello di esperienza degli atleti sembra permettere lo sviluppo di adattamenti che rendono i soggetti più resistenti ai danni muscolari da esercizio; infatti, abbiamo visto che nel primo studio (con soggetti inesperti) sono stati rilevati livelli di danno muscolare e di infiammazione più elevati rispetto al campione del secondo studio (con soggetti atleti professionisti). Il protocollo di allenamento del primo gruppo consiste in una singola sessione molto intensa, si è voluta utilizzare la metodologia di allenamento che crea maggior danno muscolare: (allenamento pliometrico) su soggetti non abituati a questo tipo di stimolo. Nel secondo studio invece il volume è elevato (15 sessioni di allenamento), sebbene l'intensità non sia descritta, e svolto da soggetti allenati.

Gli studi analizzati non si trovano in disaccordo, vi sono alcuni effetti delle CWI confermati da entrambi gli studi ed altri che sono stati osservati solo da uno dei 2, mentre l'altro non lo conferma né lo smentisce.

- Diminuzione del volume muscolare in seguito a CWI: rilevato da entrambi gli studi. L'aumento del volume muscolare è un fenomeno conosciuto che segue l'allenamento e la riduzione di questo fenomeno grazie alla tecnica di recupero CWI è quindi un effetto positivo e condiviso dalla letteratura (J. Vaile et al. [2007](#), I. M. Wilcock et al. [2006](#)).
- Diminuzione del danno muscolare: è stato riscontrato nel primo studio ma non nel secondo. Nel primo studio il danno muscolare provocato è maggiore rispetto al secondo, quindi c'è più margine di miglioramento. In entrambi i casi si è utilizzata la concentrazione di CK come marker del danno muscolare, un fenomeno largamente influenzato dalla suscettibilità soggettiva al danno muscolare. Potrebbe essere proprio la bassa suscettibilità degli atleti ad aver compromesso l'effetto delle CWI nello studio di V. H. de Freitas ([2019](#)) in quanto vi sono diversi studi a supporto dell'effetto positivo delle CWI nei confronti della riduzione del danno muscolare (Eston and Peters [1999](#), Vaile et al. [2008](#)).
- Diminuzione dell'infiammazione: non rilevata in nessuno dei due studi. IL-6 è l'unico valore che presenta differenze tra i due gruppi nello studio eseguito sugli atleti professionisti. Nel primo studio invece si è notata una differenza tra i due gruppi a livello di TNF- α ed IL-1 α che suggerisce un ritardo della cascata infiammatoria grazie alle CWI. La diminuzione dei livelli di TNF- α in seguito a CWI è stata riscontrata in altri studi (R.F. Hartmann Nunes et al. [2018](#), J. E. Earp [2019](#)).

L'origine del ritardo e/o dell'attenuazione della risposta infiammatoria sembra essere la vasocostrizione indotta dalle basse temperature. La diminuzione del livello di infiammazione in seguito a CWI è ancora poco sviscerata dalla letteratura, i risultati sembrano essere d'accordo con questa teoria ma servono ulteriori studi per ottenere una conferma.

▪ **Applicazioni**

Non possiamo dire per certo che le CWI abbassino i livelli di infiammazione determinati dal *resistance training* e quindi non sembra essere una tecnica applicabile dopo le sessioni di allenamento per evitare OTS o migliorare/velocizzare il processo di recupero. Soprattutto se si tratta di atleti professionisti, i quali sono sottoposti a dosi di volumi ed intensità di allenamento meticolosamente controllate e sembrano essere meno suscettibili al danno muscolare. Le CWI potrebbero risultare poco utili e quindi non convenienti per via dei costi di utilizzo (in termini di denaro, tempo e talvolta energia mentale). Sulla base degli studi possiamo però ipotizzare essa sia una buona tecnica di recupero dalle competizioni o da altri eventi che comportano elevati livelli di danno muscolare e di infiammazione.

CAPITOLO 3: CWI e performance muscolare

▪ **Introduzione**

La performance muscolare è un obiettivo ricercato attraverso l'allenamento e che dovrebbe raggiungere il suo picco nel momento in cui si affronta una competizione. Ciò non è semplice perché vi sono molte variabili, una di queste è il recupero e tra le varie tecniche può comprendere le CWI. Il recupero è di fondamentale importanza sia nel periodo degli allenamenti (periodo in cui si ricerca il massimo miglioramento della performance senza sfociare nel sovraccarico) e sia nei giorni di competizione dove talvolta possiamo avere più competizioni nella stessa giornata oppure in più giorni ravvicinati e dovremo cercare di mantenere elevati i livelli di performance muscolare tra una competizione e l'altra.

▪ “Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial”

Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Júnior JB, Nóbrega OT, de Souza VC, Marqueti RC, Babault N, Durigan JLQ. *Sci Rep.* 2018 Jul 19;8(1):10961. doi: 10.1038/s41598-018-28942-5. PMID: 30026562; PMCID: PMC6053395.

Il presente studio analizza gli effetti sulla *performance* effettuando una massima contrazione isometrica volontaria (MIVC) ed un *Counter Movement Jump* (CMJ). MIVC e CMJ sono stati testati in diverse occasioni: prima dell’allenamento (PRE), subito dopo (POST) e 24, 48, 72, 96 e 168 ore dopo l’allenamento. In entrambi i test si nota come i livelli di forza di entrambi i gruppi diminuiscono molto nella misurazione POST e successivamente risalgono gradualmente ritornando ai valori di base dopo 168 ore dal protocollo di allenamento. I ricercatori si aspettavano questo andamento, il risultato inaspettato è la mancanza di differenze statisticamente significative tra i due gruppi. Osservando i grafici (**Figura 7**) si nota però come i valori medi del gruppo CWI siano quasi sempre più elevati rispetto al gruppo di controllo, ciò suggerisce che un effetto delle CWI è presente anche se minimo.

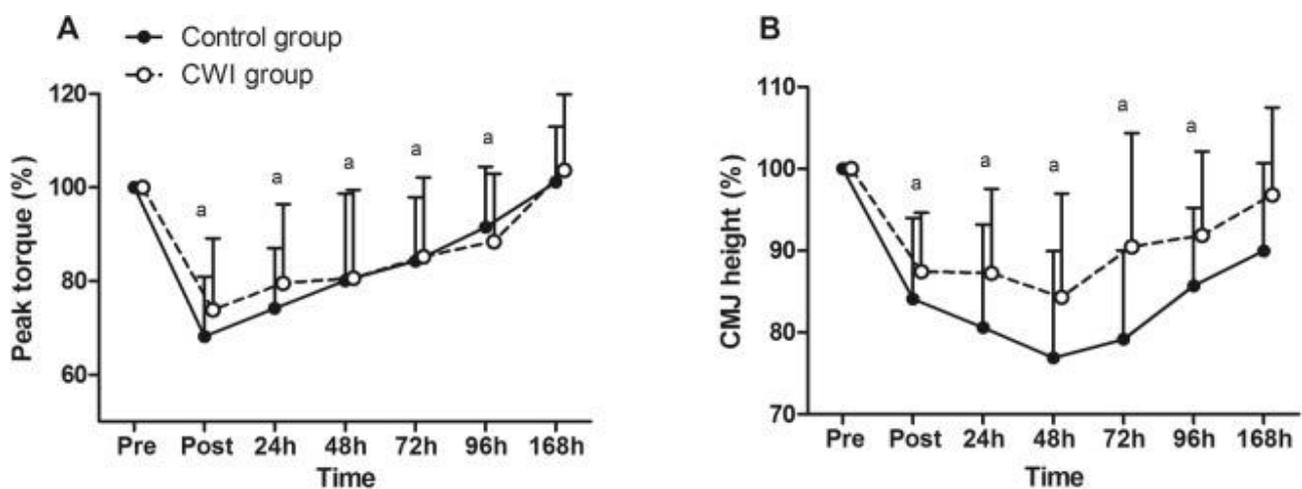


Figura 7: I grafici in figura rappresentano l’andamento della coppia massima (Peak torque) in % e dell’altezza nel Counter Movement Jump (CMJ) in % nei due gruppi CON (controllo) e CWI (Cold Water Immersion) nel tempo in ore, misurato prima dell’esercizio (Pre), subito dopo (Post), 24 ore dopo (24h), 48 ore dopo (48h), 72 ore dopo (72h), 96 ore dopo (96h) e 168 ore dopo (168h).

- [“Effect of Cold Water Immersion Performed on Successive Days on Physical Performance, Muscle Damage, and Inflammatory, Hormonal, and Oxidative Stress Markers in Volleyball Players”](#) de Freitas VH, Ramos SP, Bara-Filho MG, Freitas DGS, Coimbra DR, Cecchini R, Guarnier FA, Nakamura FY. *J Strength Cond Res.* 2019 Feb;33(2):502-513. doi: 10.1519/JSC.0000000000001884. PMID: 28277426.

Il presente studio è stato eseguito su una squadra di pallavolo professionistica dividendo i giocatori in un gruppo soggetto a recupero tramite CWI ed un gruppo placebo.

Durante i 5 giorni di test la prestazione fisica è stata misurata ogni giorno attraverso CMJ e solo in 3 giornate (lunedì, mercoledì e sabato) attraverso lo *squat jump* (SJ). Nei test CMJ e SJ non sono state riscontrate grosse differenze significative tra i due gruppi, l'unico risultato inerente alla performance riguarda la differenza tra CWI e placebo nel CMJ tra il giorno 1 ed il giorno 2, il quale indica una miglior performance del gruppo CWI.

All'interno dello studio viene detto che i risultati suggeriscono un miglior recupero, e quindi un minor decremento della performance, grazie alle CWI. Ciò però non sembra corretto perché non è stato riscontrato un decremento costante della performance in nessuno dei due gruppi durante i 5 giorni di lavoro, se non c'è un decremento non vi è nemmeno un recupero. Il mancato andamento negativo della performance che ci si aspettava potrebbe essere dovuto ad intensità o volume troppo bassi per creare dei danni sostanziali (ciò viene poi confermato con l'analisi dei marker di danno muscolare e di infiammazione).

- [“Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise”](#) Roberts LA, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2014 Oct 15;307(8):R998-R1008. doi: 10.1152/ajpregu.00180.2014. Epub 2014 Aug 13. PMID: 25121612.

Per il presente studio vengono selezionati 10 uomini fisicamente attivi abituati al *resistance training* (2/3 volte a settimana) ma non abituati alle CWI. Dopo i primi due incontri di familiarizzazione i soggetti hanno partecipato a due sessioni distanziate da 14 giorni: una caratterizzata dal recupero tramite CWI e l'altra caratterizzata dal recupero attivo.

Negli incontri pre-sperimentali di familiarizzazione è stato testato l'1RM su *back squat*, *front squat* e *leg press* inclinata e sono stati misurati i valori di base di forza massimale e sub-massimale.

I prelievi sanguigni con i valori di base sono stati effettuati durante i giorni sperimentali, ovviamente prima del protocollo di allenamento, insieme alle misurazioni di temperatura e volume muscolare. Successivamente c'è stata la sessione di allenamento: 6 serie di *front e back squat* con le seguenti ripetizioni: 8, 8, 10, 12, 10 e 10 RM; 3 serie da 12 ripetizioni di *walking dumbbell lunges* ed infine 3 serie da 12 ripetizioni di *countermovement drop jump* da 50cm. Ogni esercizio era separato da 120 secondi di recupero ed ogni serie da 90 secondi di recupero. Subito dopo l'allenamento è stato prelevato un ulteriore campione di sangue. 15 minuti dopo il termine dell'allenamento c'è stato l'intervento di recupero: in una sessione si è trattato di CWI a 10°C per 10 minuti immersi fino alle clavicole, nell'altra sessione invece c'è stato recupero attivo, ovvero 10 minuti di *bike* a bassa intensità. Una volta terminato l'intervento di recupero i soggetti hanno continuato a recuperare per 6 ore, in questo tempo c'è stato un intervento dal punto di vista alimentare (idratazione, carboidrati e proteine) e la misurazione della forza massimale dopo 2 e 4 ore e della forza sub-massimale dopo 6 ore dal termine dell'allenamento. Le misurazioni sulla forza massimale sono state prese utilizzando CMJ, *squat jump* (SJ), *squat jump* zavorrato e *squat* isometrico. Le misurazioni inerenti alla forza sub-massimale sono state prese attraverso 6 serie di *back squat* all'80% dell'1RM intervallate da 3 minuti di recupero con l'obiettivo di completare 10 ripetizioni ad ogni serie.

In entrambi i gruppi si è visto un decremento dei valori di forza massima nei test successivi al *resistance training* rispetto ai valori di base con un seguente miglioramento tra i risultati delle misurazioni dopo 2 ore e quelli delle misurazioni dopo 4 ore. Non c'è stata nessuna differenza tra i due gruppi. Nelle prime tre serie si registrano valori di forza sub-massimale simili a quelli base in entrambi i gruppi mentre nelle ultime tre serie il gruppo CWI presenta dei valori maggiori di quelli iniziali e statisticamente maggiori rispetto al gruppo che ha eseguito il recupero attivo (**Figura 8**).

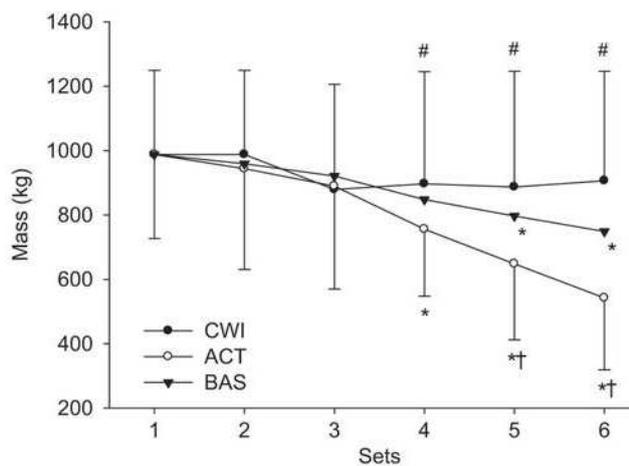


Figura8: Nella figura viene rappresentato il volume di lavoro (Mass) in kg sollevato dai 2 gruppi ACT e CWI nei confronti dei livelli di base registrati (BAS) durante le 6 serie da 10 ripetizioni di back squat all'80% dell'1RM del test submassimale.

Il presente studio di L. A. Roberts et al. ha investigato altri parametri che non riguardano il campo di interesse di questo capitolo: temperatura muscolare, concentrazione di lattato, pH del sangue, danno muscolare, *swelling*, indolenzimento ed infiammazione. Nella discussione dei risultati viene ipotizzato che il miglioramento della performance sub-massimale sia dovuto alla riduzione di *swelling* ed indolenzimento, di conseguenza una riduzione del *discomfort*. Un'altra correlazione con la *performance* sub-massimale riguarda i livelli di saturazione dell'ossigeno, sembra che attraverso una riduzione della disponibilità di ossigeno dovuta alle CWI si stimoli il reclutamento di unità motorie formate da fibre di tipo II.

▪ Conclusioni

I tre studi analizzati non forniscono risultati congruenti, fatto che non sorprende a causa delle condizioni sperimentali non comparabili tra di loro, tra le quali il livello di esperienza motoria dei soggetti, il protocollo di danno ed i test di forza utilizzati. Per quanto riguarda il livello di esperienza dei soggetti nello studio sui pallavolisti di V. H. de Freitas et al. (2019) gli allenamenti non comportano una diminuzione della performance muscolare mentre nelle altre due situazioni in cui i soggetti non sono atleti si verifica un significativo calo della performance, ciò può essere dovuto anche alla scelta del protocollo di danneggiamento muscolare.

Mentre generalmente gli studi utilizzano test di forza massimale, come abbiamo visto nei primi due analizzati (V. H. de Freitas et al. 2019 e A. F. Siqueira et al. 2018) e gran parte degli studi non

riscontra differenze significative come ci indica la review di W. Poppendieck et al. (2013), nello studio di L. A. Roberts et al. (2014) invece si è testata la performance muscolare sub-massimale con un elevato numero di serie ed è stato riscontrato un notevole effetto delle CWI, ciò non sarebbe successo se il numero di serie fosse stato inferiore a 4. Altri studi non hanno riscontrato effetti positivi nei confronti di prestazioni sub-massimali (A.M. Gonzalez et al. 2014, A.R. Jajtner et al. 2014) e questa discrepanza tra i risultati potrebbe essere dovuta a protocolli di allenamento e di misurazione differenti. In particolare, nel presente studio si è osservata una diminuzione della prestazione sub-massimale nelle ultime 3 serie del gruppo di controllo, ciò indica un affaticamento progressivo durante le serie, probabilmente correlato ad aspetti metabolici o di reclutamento delle unità motorie. Per comprendere meglio la differenza degli effetti delle CWI su forza massima e sub-massimale sono necessari ulteriori studi.

▪ Applicazioni

Le CWI sembrano migliorare in misura minima il recupero della *performance* muscolare. A livello di *performance* sub-massimale è stato registrato un effetto maggiore 6 ore dopo il danno muscolare rispetto a 24 ore dopo, ciò può essere un'informazione utile al fine di utilizzare questa tecnica di recupero con le giuste tempistiche.

Nel momento in cui si parla di atleti professionisti la miglior strategia è testare la risposta soggettiva dell'atleta alle CWI per decidere se vale la pena utilizzare questa tecnica o meno.

CONCLUSIONI

Grazie al supporto di alcuni articoli, nei precedenti capitoli si sono fornite informazioni utili per comprendere l'efficacia delle CWI come tecnica di recupero da EIDM (*Exercise Induced Muscle Damage*). Questa tecnica sembra apportare effetti piuttosto negativi su ipertrofia e forza massima quando viene somministrata dopo una sessione di *resistance training*, comporta una riduzione dell'infiammazione solo nel momento in cui essa è molto elevata, agendo in particolare a livello di essudato e non ha effetti positivi nel recupero della prestazione muscolare massima, sembra possa invece ridurre il decremento nei confronti di *performance* sub-massimali di media-lunga durata.

Quando si parla di recupero muscolare si possono distinguere tre possibili scenari:

- Più competizioni nella stessa giornata: in questo caso il focus è incentrato sulla *performance* e gli adattamenti muscolari non sono un obiettivo, perciò, è essenziale recuperare il più possibile tra una competizione e l'altra. Lo svolgimento di una competizione ha diversi effetti: riduzione delle disponibilità energetiche (ne vengono consumate molte durante la competizione e successivamente sono necessarie energie per il recupero), affaticamento dovuto al calo energetico ed all'accumulo di materiali di scarto (i quali richiedono energia per essere smaltiti), affaticamento del sistema nervoso ed uno stato infiammatorio con diverse conseguenze. Questo stato post-competizione va trattato al meglio durante la fase di recupero che può durare anche poche ore in modo da trovarsi in una situazione ottimale alla successiva competizione, le CWI sono un'opzione potenzialmente efficace.
- Più allenamenti nella stessa giornata: in questo caso è essenziale tenere in considerazione gli adattamenti muscolari o l'allenamento perderebbe di significato, a costo di accettare un decremento della *performance*. Nella realtà dei fatti è difficile che un atleta effettui due allenamenti di forza nella stessa giornata, perciò bisognerà comprendere le metodologie di recupero ed applicarle nel modo più corretto in base alla tipologia di adattamento che si vuole ottenere (es. cardio oppure tecnica). Talvolta si può decidere di rinunciare al miglioramento dei livelli di forza per migliorare le componenti tecniche: in questo caso il danno muscolare non è più utile all'obiettivo ma può diventare una conseguenza, talvolta negativa, dell'elevato volume di lavoro a cui viene sottoposto l'atleta. Potrebbe essere utile utilizzare le CWI per un caso simile all'ultimo citato ma abbiamo visto che nello studio eseguito su atleti l'intensità utilizzata non era sufficiente al creare danno muscolare e quindi le CWI erano inutili dal punto di vista del danno muscolare e dell'infiammazione.
- Segnali di *overtraining*: si tratta di una condizione distribuita in un arco di tempo più ampio e per contrastarlo può essere opportuno applicare tecniche di recupero più impattanti.

Sulla base dei possibili scenari è possibile utilizzare gli *outcomes* degli studi analizzati per decidere quando è opportuno utilizzare le CWI e quando no.

I risultati di questa review suggeriscono che sia poco utile utilizzare le CWI durante un periodo di allenamento della forza perché andrebbero a ridurre gli adattamenti muscolari. ma per comprendere ed utilizzare al meglio gli *outcomes* inerenti agli adattamenti muscolari è necessario comprendere cosa sono la *performance* muscolare e le diverse espressioni di forza: la *performance* muscolare è ciò che il muscolo riesce a produrre in termini di carico esterno, è ramificata in diverse tipologie di espressione di forza: massima, esplosiva, resistente e veloce. Esse sono caratterizzate da più fattori che incidono su tutte ma ogni espressione di forza da più peso ad alcuni fattori rispetto ad altri: ad esempio nella forza massima dominano la CSA (*Cross Sectional Area*) e la capacità di reclutamento mentre nella forza veloce è importante la velocità di reclutamento delle unità motorie. Ogni tipo di forza prevede delle differenze nella metodologia di allenamento comportando diversi tipi di danno, risposte fisiologiche e adattamenti. Per questo motivo gli studi differiscono molto nei protocolli di allenamento e di conseguenza presentano risultati spesso in conflitto.

Spesso nella preparazione atletica si vanno a migliorare i livelli di forza attraverso adattamenti neuromuscolari piuttosto che adattamenti ipertrofici, una scelta che può derivare dalla necessità di mantenere basso il peso corporeo. Detto ciò, un decremento della risposta ipertrofica non significa obbligatoriamente un decremento del miglioramento della forza, bisognerebbe osservare l'impatto della crioterapia sulle componenti neuromuscolari della forza come la capacità, la coordinazione e la sincronizzazione di reclutamento della unità motorie. Perciò non è detto che le CWI siano controproducenti in tutte le situazioni di allenamento della forza.

Rispetto agli altri studi descritti in questa review ed alla maggior parte degli studi in letteratura, lo studio di V. H. de Freitas (2019) si distingue per aver utilizzato un campione formato da atleti, i quali presentano differenze rispetto alla popolazione di non atleti. Utilizzare come soggetti degli atleti professionisti consente un livello di esperienza e quindi di qualità del movimento elevato, una buona capacità di esprimere intensità ed una maggior standardizzazione a livello dei comportamenti durante la giornata, in questo caso è stato specificato il lavoro da parte della nutrizionista che ha standardizzato le diete. Un altro aspetto che caratterizza questa condizione è stato discusso precedentemente ed è l'abitudine all'allenamento che porta con sé una diversa reazione all'allenamento, si è visto come questi sviluppano un grado di infiammazione inferiore, subiscono meno danni a livello muscolare e recuperano la *performance* più velocemente. Inoltre, questo studio non ha utilizzato un particolare protocollo di danno muscolare ma ha utilizzato i classici allenamenti della squadra professionista, contrariamente, negli altri studi è stato utilizzato un protocollo strutturato per creare un elevato danno muscolare. Ne deriva che utilizzando un protocollo di danno

muscolare si ha un danno maggiore e perciò potrebbe essere più difficile osservare le differenze dell'efficacia delle varie tecniche di recupero. Al tempo stesso però utilizzando la classica programmazione di allenamento si ha una situazione più realistica e quindi i risultati diventano più attendibili.

In conclusione possiamo dire che le CWI sono una buona tecnica di recupero in situazioni in cui si è sviluppato un elevato livello di danno muscolare o di infiammazione, perciò situazioni occasionali, non sembra quindi opportuno utilizzarle al termine degli allenamenti, queste non andranno a peggiorare le condizioni dell'atleta a livello di infiammazione o danno muscolare ma non apportano nemmeno benefici perciò risulterebbe una tecnica di recupero dispendiosa e poco utile se non addirittura inutile.

Per quanto riguarda l'effetto delle CWI sul recupero della *performance* non vi sono grossi *outcomes* dagli studi, sembra che non permettano un miglior recupero di essa nei confronti degli sforzi massimali, inoltre si è riscontrato un comportamento simile a quello osservato nei confronti di danno muscolare ed infiammazione nel gruppo di atleti professionisti, ovvero questi ultimi non hanno subito un decremento della *performance* a differenza degli studi sui non atleti e le motivazioni potrebbero essere le stesse. Nello studio di L. A. Roberts et al. (2014) è molto interessante ciò che si riscontra nel test sub-massimale, ovvero un miglioramento della *performance* nel gruppo CWI, nonostante non sia una conseguenza condivisa da molti studi potrebbe essere un campo d'azione delle CWI molto utile. Si osserva una conseguenza simile nello studio di M. Fröhlich et al. (2014) in cui il gruppo CWI ha un miglioramento maggiore nella prestazione sub-massimale (12RM) rispetto al gruppo di controllo. Si è osservata un'azione più impattante nei confronti delle prestazioni sub-massimali e per comprenderne le motivazioni è possibile ragionare su ciò che differenzia queste due espressioni della forza (massimale e sub-massimale). Vi sono tre aspetti principali: quello metabolico/energetico, quello neuromuscolare e quello psico-nervoso. Dal punto di vista metabolico una prestazione massimale è molto breve ed intensa, di conseguenza, sfrutta per una buona percentuale il sistema anaerobico lattacido, una prestazione sub-massimale invece è più lunga: le serie sono tendenzialmente sopra i 25-30 secondi comportando un elevato utilizzo del sistema anaerobico lattacido e l'insieme delle serie potrebbe richiedere un buon utilizzo del sistema aerobico, soprattutto durante le fasi di recupero. Dal punto di vista neuromuscolare, quindi di reclutamento delle unità motorie, la forza massima richiede il reclutamento del massimo numero di unità motorie in una singola contrazione muscolare mentre la forza sub-massimale prevede un'alternanza delle unità motorie reclutate, inoltre la prestazione sub-massimale può essere

influenzata da fenomeni di affaticamento nervoso, sia periferico che centrale. Anche l'aspetto psico-nervoso è rilevante in quanto l'infiammazione, in questo caso soprattutto l'essudato accompagnato dalle interleuchine, comporta una attivazione dei nocicettori che influenza la percezione del dolore e della fatica; in questo modo una prestazione di lunga durata può essere largamente compromessa. Gli studi analizzati ci suggeriscono che vi è una riduzione della microcircolazione e quindi una minor capacità di smaltimento dei prodotti di scarto, per questo motivo è difficile che le CWI agiscano sull'aspetto metabolico o su quello neuromuscolare, è piuttosto possibile ipotizzare che riducendo lo *swelling* vadano a ridurre la percezione di dolore e fatica, agendo quindi sull'aspetto psicologico.

Il momento di somministrazione di CWI più interessante sembra essere tra una competizione e l'altra nel momento in cui la prestazione di forza richiesta è di tipo sub-massimale, ulteriori studi sarebbero utili per confermare o meno varie ipotesi descritte all'interno della review.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Kwiecień SY, McHugh MP. The cold truth: the role of cryotherapy in the treatment of injury and recovery from exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2021 Aug;121(8):2125-2142. doi: 10.1007/s00421-021-04683-8. Epub 2021 Apr 20. PMID: 33877402.
- 2) Enwemeka, chukuka s.; Allen, chris; avila, patrick; bina, jason; konrade, jason; munns, stephen. Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34(1):p 45-50, January 2002.
- 3) Celeste A. Hayden, Cryokinetics in an Early Treatment Program, *Physical Therapy*, Volume 44, Issue 11, November 1964, Pages 990–993, <https://doi.org/10.1093/ptj/44.11.990>
- 4) Ryo Takagi, Naoto Fujita, Takamitsu Arakawa, Shigeo Kawada, Naokata Ishii, and Akinori Miki. Influence of icing on muscle regeneration after crush injury to skeletal muscles in rats *Journal of Applied Physiology* 2011 110:2, 382-388
- 5) White, G.E., Wells, G.D. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extrem Physiol Med* 2, 26 (2013). <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-26>
- 6) Bleakley CM, Glasgow P, MacAuley DCPRICE needs updating, should we call the POLICE? *British Journal of Sports Medicine* 2012;46:220-221.
- 7) Dubois B, Esculier JSoft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE *British Journal of Sports Medicine* 2020;54:72-73.
- 8) Yamane, M.; Ohnishi, N.; Matsumoto, T. Does Regular Post-exercise Cold Application Attenuate Trained Muscle Adaptation? *International Journal of Sports Medicine* 2015; 36(08): 647 – 653
- 9) Versey NG, Halson SL, Dawson BT. Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Med.* 2013 Nov;43(11):1101-30. doi: 10.1007/s40279-013-0063-8. PMID: 23743793.
- 10) Ihsan M, Watson G, Abbiss CR. What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise? *Sports Med.* 2016 Aug;46(8):1095-109. doi: 10.1007/s40279-016-0483-3. PMID: 26888646.
- 11) Machado AF, Ferreira PH, Micheletti JK, de Almeida AC, Lemes ÍR, Vanderlei FM, Netto Junior J, Pastre CM. Can Water Temperature and Immersion Time Influence the Effect of Cold Water Immersion on Muscle Soreness? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2016 Apr;46(4):503-14. doi: 10.1007/s40279-015-0431-7. PMID: 26581833; PMCID: PMC4802003.
- 12) Malta ES, Dutra YM, Broatch JR, Bishop DJ, Zagatto AM. The Effects of Regular Cold-Water Immersion Use on Training-Induced Changes in Strength and Endurance Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.* 2021 Jan;51(1):161-174. doi: 10.1007/s40279-020-01362-0. PMID: 33146851.

- 13) Ihsan M, Abbiss CR, Allan R. Adaptations to Post-exercise Cold Water Immersion: Friend, Foe, or Futile? *Front Sports Act Living*. 2021 Jul 16;3:714148. doi: 10.3389/fspor.2021.714148. PMID: 34337408; PMCID: PMC8322530.
- 14) Earp, J.E., Hatfield, D.L., Sherman, A. *et al.* Cold-water immersion blunts and delays increases in circulating testosterone and cytokines post-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* **119**, 1901–1907 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04178-7>
- 15) Fröhlich M, Faude O, Klein M, Pieter A, Emrich E, Meyer T. Strength training adaptations after cold-water immersion. *J Strength Cond Res*. 2014 Sep;28(9):2628-33. doi: 10.1519/JSC.0000000000000434. PMID: 24552795.
- 16) Kraemer WJ, Ratamess NA, Nindl BC. Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2017 Mar 1;122(3):549-558. doi: 10.1152/jappphysiol.00599.2016. Epub 2016 Nov 17. PMID: 27856715.
- 17) Ringleb M, Javelle F, Haunhorst S, Bloch W, Fennen L, Baumgart S, Drube S, Reuken PA, Pletz MW, Wagner H, Gabriel HHW, Puta C. Beyond muscles: Investigating immunoregulatory myokines in acute resistance exercise - A systematic review and meta-analysis. *FASEB J*. 2024 Apr 15;38(7):e23596. doi: 10.1096/fj.202301619R. PMID: 38597350.
- 18) Petersen AC, Fyfe JJ. Post-exercise Cold Water Immersion Effects on Physiological Adaptations to Resistance Training and the Underlying Mechanisms in Skeletal Muscle: A Narrative Review. *Front Sports Act Living*. 2021 Apr 8;3:660291. doi: 10.3389/fspor.2021.660291. PMID: 33898988; PMCID: PMC8060572.
- 19) Roberts LA, Raastad T, Markworth JF, Figueiredo VC, Egner IM, Shield A, Cameron-Smith D, Coombes JS, Peake JM. Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *J Physiol*. 2015 Sep 15;593(18):4285-301. doi: 10.1113/JP270570. Epub 2015 Aug 13. PMID: 26174323; PMCID: PMC4594298.
- 20) Poppendieck W, Wegmann M, Hecksteden A, Darup A, Schimpchen J, Skorski S, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Meyer T. Does Cold-Water Immersion After Strength Training Attenuate Training Adaptation? *Int J Sports Physiol Perform*. 2021 Feb 1;16(2):304-310. doi: 10.1123/ijsp.2019-0965. Epub 2020 Nov 20. PMID: 33217726.
- 21) Ohnishi N., Yamane M., Uchiyama N., Shirasawa S., Kosaka M., Shiono H., et al.. (2004). Adaptive changes in muscular performance and circulation by resistance training with regular cold application. *J. Thermal Biol.* 29:839–843. 10.1016/j.jtherbio.2004.08.069
- 22) Yamane M., Teruya H., Nakano M., Ogai R., Ohnishi N., Kosaka M. (2006). Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96, 572–580. 10.1007/s00421-005-0095-3

- 23) Malta ES, Dutra YM, Broatch JR, Bishop DJ, Zagatto AM. The Effects of Regular Cold-Water Immersion Use on Training-Induced Changes in Strength and Endurance Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.* 2021 Jan;51(1):161-174. doi: 10.1007/s40279-020-01362-0. PMID: 33146851.
- 24) Carrard J, Rigort AC, Appenzeller-Herzog C, Colledge F, Königstein K, Hinrichs T, Schmidt-Trucksäss A. Diagnosing Overtraining Syndrome: A Scoping Review. *Sports Health.* 2022 Sep-Oct;14(5):665-673. doi: 10.1177/19417381211044739. Epub 2021 Sep 9. PMID: 34496702; PMCID: PMC9460078.
- 25) Armstrong LE, Bergeron MF, Lee EC, Mershon JE, Armstrong EM. Overtraining Syndrome as a Complex Systems Phenomenon. *Front Netw Physiol.* 2022 Jan 18;1:794392. doi: 10.3389/fnetp.2021.794392. PMID: 36925581; PMCID: PMC10013019.
- 26) Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Júnior JB, Nóbrega OT, de Souza VC, Marqueti RC, Babault N, Durigan JLQ. Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial. *Sci Rep.* 2018 Jul 19;8(1):10961. doi: 10.1038/s41598-018-28942-5. PMID: 30026562; PMCID: PMC6053395.
- 27) de Freitas VH, Ramos SP, Bara-Filho MG, Freitas DGS, Coimbra DR, Cecchini R, Guarnier FA, Nakamura FY. Effect of Cold Water Immersion Performed on Successive Days on Physical Performance, Muscle Damage, and Inflammatory, Hormonal, and Oxidative Stress Markers in Volleyball Players. *J Strength Cond Res.* 2019 Feb;33(2):502-513. doi: 10.1519/JSC.0000000000001884. PMID: 28277426.
- 28) Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Mar;102(4):447-55. doi: 10.1007/s00421-007-0605-6. Epub 2007 Nov 3. Erratum in: *Eur J Appl Physiol.* 2008 May;103(1):121-2. PMID: 17978833.
- 29) Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med.* 2006;36(9):747-65. doi: 10.2165/00007256-200636090-00003. PMID: 16937951.
- 30) Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci.* 1999 Mar;17(3):231-8. doi: 10.1080/026404199366136. PMID: 10362390.
- 31) Nunes RFH, Duffield R, Nakamura FY, Bezerra ES, Sakugawa RL, Loturco I, Bobinski F, Martins DF, Guglielmo LGA. Recovery following Rugby Union matches: effects of cold water immersion on markers of fatigue and damage. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019 May;44(5):546-556. doi: 10.1139/apnm-2018-0542. Epub 2018 Oct 15. PMID: 30321486.

- 32) Roberts LA, Muthalib M, Stanley J, Lichtwark G, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2015 Aug 15;309(4):R389-98. doi: 10.1152/ajpregu.00151.2015. Epub 2015 Jun 10. PMID: 26062633.
- 33) Jdidi H, Dugué B, de Bisschop C, Dupuy O, Douzi W. The effects of cold exposure (cold water immersion, whole- and partial- body cryostimulation) on cardiovascular and cardiac autonomic control responses in healthy individuals: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *J Therm Biol*. 2024 Apr;121:103857. doi: 10.1016/j.jtherbio.2024.103857. Epub 2024 Apr 18. PMID: 38663342.
- 34) Roberts LA, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2014 Oct 15;307(8):R998-R1008. doi: 10.1152/ajpregu.00180.2014. Epub 2014 Aug 13. PMID: 25121612.
- 35) Poppendieck W, Faude O, Wegmann M, Meyer T. Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 227–242, 2013.
- 36) Gonzalez AM, Stout JR, Jajtner AR, Townsend JR, Wells AJ, Beyer KS, Boone CH, Pruna GJ, Mangine GT, Scanlon TM, Bohner JD, Oliveira LP, Fragala MS, Hoffman JR. Effects of β -hydroxy- β -methylbutyrate free acid and cold water immersion on post-exercise markers of muscle damage. *Amino Acids*. 2014 Jun;46(6):1501-11. doi: 10.1007/s00726-014-1722-2. Epub 2014 Mar 18. PMID: 24639242.
- 37) Jajtner AR, Hoffman JR, Gonzalez AM, Worts P, Fragala MS, Stout JR. Comparison of electrical stimulation versus cold water immersion treatment on muscle soreness following resistance exercise. *J Sport Rehabil*. In press.