國立臺灣師範大學運動與休閒學院體育與運動科學系

碩士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

冷療加壓處理對離心運動引起肌肉及本體感覺損傷之恢復效果的影響

Effects of cryocompression therapy on the recovery of eccentric exercise-induced muscle damage and impaired proprioception

林士迪

Shi-Di Lin

指導教授：陳忠慶 博士

Advisor: Chung-Ching Chen, Ph.D.

共同指導教授：王宏豪 博士

Co-Advisor: Hung-Hao Wang, Ph.D.

中華民國 113 年 7 月

July 2024

冷療加壓處理對離心運動引起肌肉及本體感覺損傷之恢復效果的影響

2024 年 7 月

研究生：林士迪

指導教授：陳忠慶

共同指導教授：王宏豪

摘要

背景：離心運動除了會造成肌肉損傷 (eccentric exercise-induced muscle damage, EIMD)之外，也會進一步影響運動表現及本體感覺。為了能讓訓練效果和比賽成績達到最大化，有效的疲勞恢復策略宜被引入作為提升選手疲勞恢復的方式。常見運動恢復方式計有冷凍療法、加壓療法等，而結合了上述兩種不同恢復方式而成的冷療加壓為一項新技術。它雖然近年來才開始被運用在運動後恢復的領域，但冷療加壓處理對運動後恢復效果的影響爲何，目前研究還不清楚。**目的：**探究三種不同(冷療組、常溫水加壓與冷療加壓)處理對離心運動引起肌肉及本體感覺損傷之恢復效果的比較。**方法：**招募 40 名一般年輕健康男子（18-35 歲）爲對象，並以隨機方式分配成對照組、冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組 (n=10 人/組)，所有研究對象使用非慣用腿膝伸肌群，進行 30 組 x 10 次最大等速($30^{o}/s$)離心收縮運動誘發肌肉損傷(如：肌力、關節活動範圍、腿圍)，並於離心運動前、後第 24、48、72、96、120 小時，各進行肌肉損傷、本體感覺以及體能測驗。對照組、冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組於運動後第 1、25、49、73、97 小時，各分別進行 20 分鐘之被動休息、冷療、常溫水加壓與冷療加壓之處理。以二因子混合設計變異數分析針對組別與時間因子進行考驗。**結果：**所有依變項在離心運動後均明顯比前測產生變化。在離心運動後第 1 ~ 5 天，冷療組與冷療加壓組之大

腿腿圍變化均顯著小於對照組 ($p<.05$)。在離心運動後第 4、5 天，常溫水加壓組之大腿腿圍變化均顯著小於對照組 ($p<.05$)；在離心運動後第 1 天，冷療組、常溫水加壓組之肌肉酸痛程度均顯著小於對照組 ($p<.05$)。在離心運動後第 1 ~ 4 天，冷療加壓組之肌肉酸痛程度均顯著小於對照組 ($p<.05$)；在離心運動後第 5 天，冷療組、冷療加壓組之均方根電訊號均顯著大於對照組 ($p<.05$)；其餘測試結果，各組之間無顯著差異 ($p>.05$)。**結論：**冷療與冷療加壓有利於離心運動引起肌肉損傷後的肢體腫脹和肌肉酸痛消除，常溫水加壓能消除腫脹和肌肉酸痛、改善關節活動範圍。

關鍵詞：力量覺、位置覺、肢體腫脹、運動後恢復、運動表現

Effects of cryocompression therapy on the recovery of eccentric exercise-induced muscle damage and impaired proprioception

July, 2024

Lin, Shi-Di
Advisor: Chen, Chung-Ching
Co-Advisor: Wang, Hung-Hao

Abstract

Background: Eccentric exercise not only causes muscle damage (eccentric exercise-induced muscle damage, EIMD) but also further affects athletic performance and proprioception. To maximize training effects and competition results, effective fatigue recovery strategies should be implemented to enhance athletes' recovery. Common sports recovery methods include cryotherapy and compression therapy. A new technique combining these two different recovery methods, known as cryocompression, has recently been applied in the field of post-exercise recovery. However, the effects of cryocompression on post-exercise recovery are still unclear. **Purpose:**This study aims to compare the recovery effects of three different treatments (cryotherapy, room temperature water compression, and cryocompression) on muscle and proprioception damage induced by eccentric exercise. **Methods:** Forty healthy young men (aged 18-35 years) were recruited and randomly assigned to control, cryotherapy, room temperature water compression therapy and cryocompression group (n=10/group). All subjects performed 30 sets of 10 maximal isokinetic (30˚/s) eccentric contractions of the knee extensors of their non-dominant leg to induce muscle damage (e.g., muscle strength, joint range of motion, leg circumference). Muscle damage, proprioception, and physical fitness tests were taken before, at 24, 48, 72, 96 and 120 hours post exercise. The control group, cryotherapy group, room temperature water compression therapy group, and cryocompression group underwent corresponding experimental treatments for 20 minutes at 1, 25, 49, 73 and 97 hours post-exercise. A two-way mixed-design ANOVA was used to analyze the effects of group and time factors. **Results:** All dependent variables significantly changed after eccentric exercise compared to pre-test measures. On days 1 to 5 after eccentric exercise, the changes in thigh circumference in the cryotherapy and cryocompression groups were significantly smaller than those in the control group ($p < .05$). On days 4 and 5, the changes in thigh circumference in the room temperature water compression group were significantly smaller than those in the control group ($p < .05$). On day 1, muscle soreness in the cryotherapy and room temperature water compression groups was significantly less than that in the control group ($p < 0.05$). On days 1 to 4, muscle soreness in the cryocompression group was significantly less than that in the control group ($p < .05$). On day 5, the root mean square electromyographic signals in the cryotherapy and cryocompression groups were significantly higher than those in the control group ($p < .05$). No significant differences were observed between the groups for the other test

results ($p > .05$). **Conclusion:** Cryotherapy and cryocompression are beneficial for reducing limb swelling and muscle soreness after eccentric exercise-induced muscle damage. Room temperature water compression can reduce swelling and muscle soreness and improve joint range of motion.

Keywords: force sense, position sense, limb swelling, recovery after exercise, exercise performance

目 次

表 次

圖 次

第壹章 緒論

第一節 前言

運動(特別是不熟悉離心運動)除了會引起肌肉損傷 (eccentric exercise induced muscle damage, EIMD) (Clarkson & Hubal, 2002; Clarkson et al., 1992; Hirose et al., 2004; MacIntyre et al., 1995)之外，還會進一步影響運動表現及導致我們的本體感覺受損，進一步提高受傷風險 (Paschalis et al., 2010; Paschalis et al., 2013)。常見運動引起肌肉損傷症狀計有延遲性肌肉酸痛(DOMS)和肌肉腫脹、關節活動範圍(range of motion, ROM)及肌力下降、血液生化評估指標明顯升高，這些指標在離心運動後約會持續 10-14 天，才能完全恢復至離心運動前水準(Clarkson & Hubal, 2002; Clarkson et al., 1992; Hirose et al., 2004; MacIntyre et al., 1995)。為了能讓運動訓練效果和比賽成績達到最大化，有效的疲勞恢復策略宜被引入作為提升選手疲勞恢復的方式(Goodall et al., 2008)。常見運動恢復方式計有冷凍療法、加壓療法等，而結合了上述兩種不同恢復方式而成的冷療加壓為一項新技術。它雖然近年來才開始被運用在運動後恢復的領域，但冷療加壓處理對運動後恢復效果的影響爲何，目前研究還不清楚。近年來，運動後恢復的相關資訊越來越受到運動科學家及運動員的重視，甚至在普通民眾中也受到一定程度的關注，恢復的方式與儀器也越來越多樣化。快速消除運動後累積的疲勞及肌肉酸痛等副作用有利於人體以較佳的狀態進行下一次的訓練 (Clarkson et al., 1997)，除了能提高訓練的效果，提升運動表現之外，還能降低因爲本體感覺受損或是肌肉的過度疲勞導致受傷的風險。

第二節 問題背景

當人體在進行進行運動，尤其是在進行我們不熟悉的離心運動時，會導致肌肉損傷以及延遲性肌肉酸痛的現象，進而造成我們運動表現的下降，例如力量和關節活動範圍的損失、肌肉腫脹和血液肌酸激酶 (creatine kinase, CK) 活性升高 (Clarkson & Hubal, 2002; Clarkson et al., 1992; Hirose et al., 2004; MacIntyre et al., 1995)、反向跳 (countermovement jump, CMJ)以及 30m 計時跳表現的下降 (Wiewelhove et al., 2015; Chou et al., 2021)，還會導致我們的本體感覺受損 (Paschalis et al., 2010; Paschalis et al., 2013)。雖然這些症狀通常會在 10-14 天消退，但減輕肌肉損傷和促進恢復的方法對於運動員以及身體活躍的普通人群而言很重要，因為這些可以幫助他們在訓練或比賽中表現地更好 (Cheung et al., 2003)。

促進運動後恢復的方法包括：冷凍療法 (cryotherapy)、加壓療法（compression therapy，分爲動態加壓與靜態加壓）、以及冷療加壓 (cryocompression therapy) (Dupont et al., 2016)。冷療加壓是一種將特製的袖套穿戴在人體肢段，且袖套中充滿了可循環的冰水以供降溫，透過機器，以氣壓充氣方式進行短暫且循環性的加壓與減壓之恢復方法，機轉上可以視為是冷凍療法與加壓療法兩種恢復方式的結合，透過機器模擬肌肉幫浦作用以促進靜脈血液的回流，增加血流量以促進組織充血，並通過循環的冰水進行降溫，控制與發炎反應相關的組織胺和前列腺素的釋放來減輕 DOMS 的症狀 (Bleakley et al., 2012; Chan et al., 2016; Hohenauer et al., 2015)。

根據過去臨床的使用與相關的研究，冷療加壓被證實可以減少手術後疼痛、失血、腫脹和傷口的形成，並改善局部血液循環 (Knobloch et al., 2006 & 2008; Levy & Marmar, 1993; Mora et al., 2002; Schröder & Pässler, 1994)。也有一些學者提出不同的研究結果，他們在手術後使用冷療加壓儀器對患者進行處理，結果分別顯示在疼痛、腫脹程度、

關節活動範圍以及術後失血量等方面與控制組間均無顯著差異 (Dervin et al., 1998; Webb et al., 1998; Leegwater et al., 2017)。

雖然在醫學/臨床上有大量應用，但是目前很少有研究確定將冷療加壓療法作為運動後恢復方式的益處 (Høiness et al., 1998)。目前僅有 3 篇將冷療加壓應用在運動後恢復的領域的研究 (DuPont et al., 2017; Alexander et al., 2021; Alexander et al., 2022)。例如：Dupont 等 (2017) 研究，在進行阻力運動後對受試者的下肢實施冷療加壓進行處理，其結果顯示，相較於控制組，冷療加壓能顯著提升反向跳功率，緩解疼痛以及降低肌酸激酶的升高，並據此認爲在進行傳統的大重量阻力訓練後，冷療加壓與不進行處理相比，能夠更有效地幫助下肢肌肉組織恢復。

不過，有學者提出了不同的研究結果，例如 Alexander 等(2021)研究，在進行 Yo-Yo intermittent recovery test level 1 (YYIR1)的疲勞測試之後使用冷療加壓對受試者的腘旁肌進行處理，結果顯示除了皮膚溫度有顯著下降之外，受試者腘旁肌的離心平均與最大肌力均無顯著變化。同樣，他們在另一項研究 (Alexander et al., 2022) 中，在足球比賽後第 3 天的日常訓練後使用冷療加壓對受試者的大腿進行處理，結果顯示反向跳以及皮膚溫度有顯著下降，但內收肌群的等長最大肌力與腘旁肌的靈活性均無顯著變化。

雖然這 3 篇研究 (DuPont et al., 2017; Alexander et al., 2021; Alexander et al., 2022) 的結果不一致，但藉由分析及比較這三篇研究之後，發現：運動後進行冷療加壓處理似乎對於緩解疼痛、降低肌酸激酶濃度、組織溫度以及提升反向跳表現均有幫助，且目前尚未有學者對使用冷療加壓處理對於離心運動引起肌肉及本體感覺損傷後的恢復效果進行研究。因此，本篇研究擬採用離心運動引起肌肉及本體感覺損傷模式，作為探討冷療、常溫加壓處理及冷療加壓處理對離心運動引起肌肉及本體感覺損傷之恢復效果進行系統性比較。

造成以上 3 篇研究結果分歧的原因可能有以下幾點：一、受試者族群不同，擁有不同訓練背景、生活習慣之受試者，即使面對採用相同一個條件的運動引起肌肉損傷方式，其所表現出來的反應均不相同。二、各研究中所使用的運動方式的種類及運動強度不同。三、進行冷療加壓處理之部位不同，可能因爲肌肉量之差異，導致冷療加壓給予血管及組織之實際壓力、溫度不同，從而影響實驗結果。四、進行冷療加壓處理時，使用方案（壓力大小、溫度、持續時間）不同，從而影響實驗結果。

誠如之前所言，常見離心運動引起肌肉損傷症狀約會持續 10-14 天之久，才能完全恢復 (Clarkson & Hubal, 2002; Clarkson et al., 1992; Hirose et al., 2004; MacIntyre et al., 1995)。為了能讓運動訓練和參加比賽引起疲勞及肌肉損傷恢復能夠加速，是確保訓練效果及參加比賽獲得佳績的成功策略之一 (Goodall et al., 2008)。常見運動恢復方式計有冷凍療法、加壓療法等，而結合了上述兩種不同恢復方式而成的冷療加壓為一項新技術。它雖然近年來才開始被運用在運動後恢復的領域，但冷療加壓處理對運動後恢復效果的影響爲何，目前研究還不清楚。所以，這是一個值得本研究進行系統性探討的研究問題。

第三節 研究目的

本研究目的在於探討離心運動引起肌肉及本體感覺損傷後，實施冷療、常溫加壓及冷療加壓處理對於一般年輕健康男性肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗表現的影響，以釐清那一種處理對運動引起肌肉及本體感覺損傷恢復效果會最有效果。

第四節 研究假設

本研究假設在進行離心運動引起肌肉及本體感覺損傷後，冷療加壓組的關節活動範圍、本體感覺、體能表現測驗結果顯著優於其它組別(對照、冷療、常溫加壓處理)，而冷療組與常溫水加壓組之間無顯著差異，但均顯著優於對照組。冷療加壓組的大腿腿圍變化與疼痛顯著低於其它組別，冷療組與常溫水加壓組之間無顯著差異，但顯著低於對照組。

第五節 操作性名詞定義解釋

一、冷療加壓

冷療加壓是一種將特製的袖套穿戴在人體肢段，袖套中充滿了可循環的冰水以供降溫，透過機器產生幫浦作用以氣壓充氣方式進行短暫且循環性的加壓與減壓之恢復方法，機轉上可以視為是冷凍療法與加壓療法兩種恢復方式的結合，能夠促進靜脈血液回流、增加血流量以促進組織充血，並且能夠緩解疼痛及發炎。本研究所採用的儀器為 DJO Global 公司的 Aircast Cryo/Cuff IC 冷療加壓儀器，進行溫度設定為 10℃，壓力大小設定為 45-60 mmHg，加壓 45 秒／洩壓 30 秒共 20 分鐘之冷療加壓處理 (*DJO AIRCAST Cryo / Cuff IC User Manual* . https://manuals.plus/djo/aircast-cryo-cuff-ic-manual)。機轉上可以視為是冷凍療法與間歇充氣加壓療法兩種恢復方式的結合。

二、最大等速離心收縮運動

最大等速離心收縮運動指的是肌肉以最大力量進行自主收縮，產生張力並且肌肉長度被拉長的过程中，動作速度维持不變的運動，具體爲使用 Biodex 等速肌力儀對受試者非慣用腿的膝伸肌群進行 30 組 x 10 次最大等速 (30°/s) 離心收縮運動以誘發肌肉損傷。受試者以坐姿在 Biodex 上進行運動，運動範圍設定為 10°-100°（0°等於膝關節完

全伸展），次與次之間休息 10 秒、組與組間休息 2 分鐘 (Chen et al., 2014)。

三、肌肉損傷測驗

本研究所稱之肌肉損傷測驗分爲大腿腿圍、關節活動範圍、肌肉酸痛程度、最大等長肌力 (maximum voluntary contraction, MVC)、最大等長肌力期間蒐集之肌肉電訊號 (electromyographic activity, EMG)、並計算力矩峰值出現時之均方根電訊號 (root mean square-EMG, RMS-EMG) 與運動壓力值，此外還包括發力率測驗 (rate of force development, RFD)。

四、本體感覺測驗

本研究所稱之本體感覺（本體感覺，又稱肌肉運動知覺和本體覺，是一種對肌肉各個部份的動作或者一連串動作所產生的感覺，稱呼為「自我知覺」。 這些感覺來自於肌肉或肌腱內的本體覺受器，這些受器會自動監測肌肉的長度改變、壓力變化和張力變化，再將這些資訊整合傳送到大腦。）測驗分為與位置覺力量覺，位置覺在睜眼和閉眼狀態、力量覺在閉眼狀態下進行測試，使用等速肌力儀 (Biodex) 中關節復位測試 (reproduce position test) 進行膝關節之本體感覺測驗，位置覺為膝關節伸展的 45° 的復位測試，進行 5 次測試後計算其平均差值。力量覺為前測最大等長肌力 30%的復位測試，進行 5 次測試之後計算其平均差值 (Paschalis, et al., 2013)。

五、體能表現測驗

本研究所稱之體能表現測驗分為反向跳 (countermovement jump, CMJ) 高度測驗 (Hernández-Preciado et al., 2018) 與 30 m 計時單腳跳測驗（改編自 Myers, 2014），分別進行 3 次及 2 次測試之後，蒐集其最佳數值。

第六節 研究重要性

本研究希望釐清一般年輕健康男性進行離心運動造成肌肉及本體感覺損傷後，使用冷療加壓處理對於恢復效果之影響，並比較其與單獨的冷凍療法和加壓療法對於恢復效果之影響的差異，使大眾清楚在離心運動造成肌肉損傷後使用何種恢復方式為最優，並提供處理方案，作爲大眾使用之參考。

第七節 研究範圍與限制

一、本研究採用離心運動誘發肌肉損傷，訓練肌群為膝伸肌群，故與其他運動所引起的肌肉損傷可能有所差異，研究結果也無法類推至其他肌群。

二、本研究僅以受試者肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗表現作爲評估不同處理方式對於受試者恢復效果的影響，無進行採血及採用侵入性評估指標作爲評估標準，故研究結果在推論上將會受到一些限制。

第貳章 文獻探討

本章旨在探討離心運動引起肌肉損傷對於運動表現和本體感覺之影響以及冷療加壓處理對運動後恢復效果之影響及其相關機制，本章將依序進行相關背景知識的介紹與文獻評述。

第一節 離心運動引起肌肉損傷對運動表現之影響

離心收縮 (eccentric contraction) 是指活動肌肉在負荷狀態下進行伸展時的運動，離心運動為涉及離心收縮之運動模式。當一般民眾從事不熟悉或高強度離心運動時，會導致肌肉損傷 (EIMD) 與延遲性肌肉酸痛 (DOMS)(Clarkson & Hubal, 2002) 的產生，其機轉為進行離心運動後，肌肉纖維及結締組織受損，吸引中性球 (neutrophil) 與巨噬細胞 (macrophage) 至受損組織中進行蛋白質降解以及去除細胞中的廢物，同時，分泌出前列腺素 E2，刺激感覺神經元，進而造成疼痛、腫脹和功能喪失等症狀 (Smith, 1991)。肌肉損傷還會進一步導致力量和運動範圍 (ROM) 的損失、腫脹和肌酸激酶 (CK) 活性升高。Clarkson 等人在 1992 年招募了 9 名大學生，進行肘屈肌的離心運動，發現離心運動造成的肌肉損傷會導致肌肉無力，肘關節靈活性的改變以及肌酸激酶活性的大幅升高。 Clarkson 和 Hubal 等人在 2002 年提出，在對運動後引起的肌肉損傷的間接評估中，在自願和電刺激收縮期間可以觀察到力量產生的長期減少，還觀察到受試者體內發炎標志物的增加以及肌肉酸痛。他們還提出，儘管尚無法解釋這些變化的確切機制，但最初的損傷歸因於纖維的機械破壞，隨後的損傷與發炎過程和肌肉內興奮-收縮耦合的變化有關。此外，Hirose 等人在 2004 年的實驗中也發現離心運動造成肌肉損傷後會導致受試者血液內發炎標志物的增加。

肌肉損傷還會造成某些運動表現的下降，例如反向跳以及 30m 計時跳。Wiewelhove 等人在 2015 年招募了 22 名訓練有素的男性和女性團隊運動運動員進行了爲期 5 天共 11 次的 HIIT 訓練，Clifford 等人在 2016 年招募了 30 名每週進行 2 天及 2 天以上中等强度運動的男性進行共 100 次的 drop jump 運動，以及 Hsieh 等人在 2022 年招募了 24 名精英女子足球運動員，連續 6 天每天進行 90 分鐘的羅浮堡間歇性折返跑測驗 (Loughborough Intermittent Shuttle Test, LIST)，這 3 項實驗的結果都發現，肌肉損傷會導致反向跳表現的下降。而 Chou 等人和 Hsieh 等人也分別在 2021 年和 2022 年對精英女子足球運動員的實驗中發現，肌肉損傷會導致 30m 計時跳表現的下降。

肌肉損傷還會導致發力率 (RFD) 的下降，如 Peñailillo 等人在 2015 年招募了 10 名男性進行膝伸肌群的向心和離心訓練，結果發現離心運動造成肌肉損傷後，$RFD_{100-200}$ 顯著下降，並且，該實驗證實了 $RFD_{100-200}$ 是比最大等長肌力更具體、靈敏的檢測離心運動引起的肌肉損傷的間接標誌。Rodríguez-Rosell 等人在 2018 年的文獻綜述中也提到，RFD 已被認爲是評估肌肉力量參數的重要指標。還有實驗發現肌肉損傷會導致肌肉電訊號 (EMG) 的下降，Linnamo 等人在 2000 年招募了 8 名男性進行右手肘屈肌離心運動後發現，隨著離心運動次數的增加，肌肉電訊號的下降幅度變大，且與離心運動之前的肌肉電訊號相比有顯著下降。 Zhou 等人也在 2011 年招募了 13 名男性大學運動員進行了 3 輪 30 次的垂直跳躍，結果發現離心運動造成的肌肉損傷導致股外側肌肉的肌肉電訊號的面積 (sEMG) 顯著下降，藉此作者也提出 sEMG 可以作爲檢測肌肉損傷的良好預測指標。

第二節 離心運動引起肌肉損傷對本體感覺之影響

本體感覺 (proprioception) 是判斷我們肢體及軀幹在環境中的位置、肌肉對力量的感覺、努力感和平衡感 (Proske & Gandevia, 2016)。目前的理論認為，在本體感覺接收器中的肌梭 (muscle spindle) 扮演接收我們肢體的位置覺 (position sense) 及運動覺 (kinesthesia) 的角色，高基氏肌腱器 (golgi tendon organ) 負責感知力量覺 (force sense) 的變化情況 (Proske & Gandevia, 2012)。因此，本體感覺對於人體非常重要，因爲它會影響人體在日常生活中的動作及運動表現。

研究發現，離心運動後會嚴重影響本體感覺，原因可能是在進行離心運動後，造成的肌肉損傷導致肌梭及高基氏肌腱器功能受損，並且伴隨著肌肉力量下降、DOMS 的產生及疲勞感上升，進而使本體感覺受損 (Proske et al., 2003; Proske & Gandevia, 2012)。如 Paschalis 等人在 2007 年招募了 12 名女性進行下肢等速離心訓練，發現肌肉損傷後下肢位置感和關節釋放反應角受損，作者提出這可能導致受傷風險的上升。Torres 等人也在 2010 年招募了 14 名年輕男性對他們的膝伸肌群進行離心運動誘發肌肉損傷，結果發現，膝關節屈曲 30°和 70°時的位置覺和力量覺顯著下降。同樣，Hosp 等人在 2017 年招募了 12 名健康男性大學生進行了離心下坡走運動，結果發現離心運動導致的肌肉損傷會導致受試者平衡能力的下降。

第三節 冷凍療法、加壓療法與冷療加壓之介紹

冷凍療法 (cryotherapy) 是一種廣義術語，包括使用低溫作為醫學療法,是用於減輕急性軟組織創傷、疼痛和肌肉酸痛的最簡單和最古老的治療方法之一 (Bleakley et al., 2004; Swenson et al., 1996)。冷凍療法包括了冰敷和冷水浸泡 (cold water immersion, CWI) 以及全身冷凍療法 (whole body cryotherapy, WBC)(Banfi et al., 2010; Bleakley et al.,

2012; Bleakley et al., 2014; Pritchard & Saliba, 2014)。幾十年來，它一直被用於加速運動後的恢復 (Banfi et al., 2010; Collins, 2008; Mac Auley, 2001; Meeusen & Lievens, 1986)。其主要機轉是通過降低組織溫度，以最大限度地減少缺氧細胞死亡、水腫形成和肌肉痙攣，以緩解疲勞、疼痛和發炎 (Deal et al., 2002; Machlenkin et al., 2005; Merrick et al., 1999; Verducci, 2000)。

加壓療法 (compression therapy) 分為靜態加壓（例如：壓縮服裝）與動態加壓（例如：間歇充氣加壓）。在早期，壓縮服裝廣泛用於治療深靜脈血栓形成和慢性靜脈功能不全等臨床病症 (Ibegbuna et al., 2003; Scurr et al., 2001)。而在運動領域，壓縮服裝的使用正變得越來越普遍，其主要機轉是通過穿戴具有固定壓力大小的服裝，給特定肢段進行加壓，以防止肌肉過度腫脹與發炎 (Kraemer et al., 1998)，增強血液流動，清除廢物和肌肉代謝物，從而增加受影響關節的運動範圍 (ROM)，減少肌肉力量和爆發力的嚴重下降，並減輕疼痛 (Hill et al., 2014) ，還能夠增加肌肉支持 (Kraemer et al., 2010)，並增強本體感覺 (Doan et al., 2003)。動態加壓裝置相較於壓縮服裝能夠提供短期但更強烈的動態壓縮 (Chen et al., 2001)，其機轉為將特製袖套穿戴於身體肢段，再使用儀器以氣壓充氣方式來模擬肌肉幫浦作用之短暫且循環性的加壓與減壓，動態加壓被認爲可以能促進靜脈血液回流及增加血流量以促進組織充血 (Sheldon et al., 2013)，緩解運動後造成的肌肉酸痛及腫脹(Waller et al., 2006; Chleboun et al., 1995) 。

冷療加壓是結合冷凍療法與加壓療法的一種恢復方式，其機轉可以視為冷凍療法與加壓療法之結合，通過連接在冷療加壓設備上的腿套對目標區域施加充氣壓縮和冷卻，設備中的泵可以將碎冰和水的混合物與空氣一起傳送至腿套的腔室內，並且可以控制腿套的充氣與泄氣，來達到提供動態加壓的目的。並可以通過手動調節冰水比例來控制冷療的溫度。大多數研究已將冷療加壓應用在臨床/醫療領域，並且證實其可以

減少術後疼痛、失血、腫脹和傷口的形成，改善局部血液循環(Johansson et al., 2005; Knobloch et al., 2006 & 2008; Levy & Marmar, 1993; Mora et al., 2002; Schröder & Pässler, 1994)。例如 Schröder 與 Pässler 之研究 (1994)，實施膝關節手術後，使用冷療加壓儀器對患者進行持續 14 天的恢復處理，其結果顯示，相較於使用冰袋進行冰敷的控制組，使用冷療加壓儀器進行處理可顯著降低疼痛感，還可以減少術後膝關節的腫脹，增加活動範圍，作者據此認為在膝關節手術後進行冷療加壓處理與單獨使用冷凍療法相比具有許多優勢，並認為冷療加壓可以加速膝關節手術後的恢復。Levy 與 Marmar (1993) 也在膝關節手術後使用冷療加壓儀器，以 30 mmHg 大小的壓力進行恢復處理，結果也發現，冷療加壓處理能夠輕微緩解術後疼痛之外，還能顯著減少術後失血量。此外，Mora 等人 (2002) 在踝關節手術後，立即以 10℃-15℃的溫度，30 mmHg-35 mmHg 大小的壓力進行冷療加壓處理，發現冷療加壓處理可顯著減輕術後踝關節水腫的狀況，證實冷療加壓處理可以減少術後腫脹的形成。而 Knobloch 等人在 2006 和 2008 年的實驗中，使用冷療加壓儀器對一般受試者的阿基里斯腱進行處理，發現與對照組相比，冷療加壓處理後的組織氧飽和度和組織血流量都有明顯上昇。Hubbard 等人還在 2004 年提出，冷療加壓療法作爲一種更安全的非藥物干預，建議可以與鎮痛藥物一起使用，以更好地控制四肢手術的術後疼痛。但是關於冷療加壓在運動領域的應用的研究證據非常少。

第四節 冷療加壓對運動後恢復之效果

第一篇將冷療加壓應用到運動領域的研究是由美國的 DuPont 及其研究團隊在 2017 年提出。此研究招募了 16 位每週至少參與阻力訓練 2 次，槓鈴深蹲重量須大於等於 1 倍體重，並且至少具有 6 個月阻力訓練經驗的男性參與研究，採用了包含 4 組 x 6

次 80% 1RM 的深蹲 (squats)（組間休息 90 秒）、4 組 x 8 次 1 倍體重的硬舉 (deadlifts)（組間休息 60 秒）以及 4 組 x 10 次的離心腿筋彎舉 (eccentric leg curls)（組間休息 45 秒）3 個動作在內的急性阻力運動方案，在運動結束後立即進行了 20 分鐘的冷療加壓（溫度為 10℃，壓力大小為 17-23 mmHg）處理或休息（控制組），並在運動前，運動後立即，以及運動後 60 分鐘，運動後第 24 小時及第 48 小時進行感知測量和抽血以分析肌酸激酶等反應肌肉損傷的血液指標。除此之外，還會在運動前，運動後 60 分鐘，運動後第 24 小時及第 48 小時進行了反向跳表現和反應時間的運動表現測試。結果顯示使用冷療加壓處理相較於控制組可以顯著提昇反向跳功率 (+57.0±1.1%)，並且減緩疼痛 (-18.1±4.5%) 和肌酸激酶的上昇 (-31.8±1.5%)。而反應時間測試與控制組則無顯著差異。

英國的 Alexander 及其研究團隊也提出了將冷療加壓應用到運動領域的研究，2021 年，招募了 18 名健康男性足球運動員，在進行 Yo-Yo IFT Level 1 的測試後，對受試者進行 15 分鐘的冷療加壓（溫度為 10℃，壓力大小為 75 mmHg）處理或是俯臥休息,並在處理結束後進行皮膚表面溫度以及腘旁肌離心力量的測量。結果顯示，使用冷療加壓處理相較於控制組可以顯著降低皮膚表面溫度 (-13.5±1.3℃)，但腘旁肌 (hamstrings) 離心力量的峰值扭矩與平均扭矩與控制組均無顯著差異。

2022 年，Alexander 招募了 20 名健康男性學院精英足球運動員，在進行比賽及比賽後 3 天的訓練後對受試者進行 20 分鐘的冷療加壓（壓力大小為 5-55 mmHg）處理或是靜坐，並在比賽後 1 天，比賽後 3 天的訓練後進行運動表現指標以及皮膚表面溫度的測量。結果顯示，使用冷療加壓處理相較於控制組可以顯著降低皮膚表面溫度 (-18.0±1.2℃)，但同時也會顯著降低反向跳高度 (-13.3%)，而內收肌群的等距力量以及腘旁肌靈活性與控制組則無顯著差異。

從目前的研究證據來看，冷療加壓處理似乎能有效緩解進行阻力運動後的疼痛，降低肌酸激酶 (CK) 和組織溫度，提昇反向跳 (CMJ) 表現，但是對於運動後恢復效果的影響究竟為何，目前還缺乏研究證據支持，尤其是對離心運動造成肌肉及本體感覺損傷後恢復效果的影響，還尚未有人進行研究。由於研究證據較少，現在看來，冷療加壓處理對於運動後反向跳 (CMJ) 表現之影響，結果還尚不一致，也缺乏比較冷療加壓處理與單獨的冷療和加壓處理方式之間恢復效果的差異，因此，本研究的目的除了探討離心運動造成肌肉及本體感覺損傷之後，進行冷療加壓對恢復效果之影響外，還會比較冷療加壓、單獨冷療與單獨加壓對離心運動造成肌肉及本體感覺損傷後恢復效果之影響的差異。

表1 冷療加壓處理對運動後恢復之實驗結果比較

作者（年份）	受試者	運動方案	冷療加壓方案	對照組之結果（相較於前測，最大變化幅度）	冷療加壓組之結果（相較於對照組，最大變化幅度及有顯著差異之時間點）
DuPont 等人 (2017)	N=16（健康男性，阻力訓練經驗≥6 個月，每週≥2 次，且槓鈴深蹲重量≥1 倍體重）	80% 1 RM 4 x 6 次槓鈴深蹲，組間歇 90 秒；1 倍體重 4 x 8 次硬舉，組間歇 60 秒；4 x 10 次北歐腿後彎舉，組間歇 45 秒	10°C 17-23 mmHg 20 分鐘，共三次 (運動後立即、24 小時、48 小時）	反向跳功率↓6.4% 肌酸激酶↑428% 疼痛↑26.7% 反應時間↔	反向跳功率↑~57% (24、48h) 肌酸激酶↓~32% (24、48h) 疼痛↓~24% (60min、24、48h) 反應時間↔ (60min、24、48h)
Alexander 等人 (2021)	N=18（男性足球運動員）	YoYo IFT Level 1	10°C 75 mmHg 15 分鐘 （運動後立即）	皮膚溫度↔ 腘旁肌離心平均扭矩↔ 腘旁肌離心峰值扭矩↔	皮膚溫度↓~13.5℃ 腘旁肌離心平均扭矩↔ 腘旁肌離心峰值扭矩↔ （運動與處理後立即）
Alexander 等人 (2022)	N=20（男性青少年精英足球運動員）	足球比賽後三天日常訓練	5-55 mmHg 20 分鐘 （運動後立即）	反向跳高度↔ 皮膚溫度↔ 內收肌群等距力量↔ 腘旁肌柔韌性↔	反向跳高度↓~13% 皮膚溫度↓~18℃ 內收肌群等距力量↔ 腘旁肌柔韌性↔ （運動與處理後立即）

：N，人數；mmHg，毫米汞柱（壓力單位）；mm，毫米；MVC，最大等長肌力；↑，顯著上昇；↓，顯著下降；↔，無影響；~：大約。

第五節 本章總結

經由上述文獻可以歸納出以下幾點：

一、離心運動會導致肌肉損傷以及延遲性肌肉酸痛 (DOMS)，會進一步導致力量和運動範圍 (ROM) 的損失、腫脹和肌酸激酶 (CK) 活性升高，還會導致本體感覺受損，造成某些運動表現的下降。

二、從目前的研究證據看來，目前有關將冷療加壓作爲運動後恢復方式的研究都僅以有一定訓練經驗者或是運動員作爲研究對象，尚未有針對一般健康成年男性的研究。

三、從目前的研究證據看來，採用 20 mmHg 左右的壓力大小，10℃的溫度，20 分鐘的處理時間，持續 3 天就可以顯著提昇有一定阻力訓練經驗的族群在進行阻力運動造成肌肉損傷後的恢復效果。但冷療加壓處理之最適合的溫度與壓力大小均尚未有明確範圍。

四、從目前的研究證據來看，冷療加壓處理似乎能有效緩解運動後的疼痛，降低肌酸激酶 (CK) 和組織溫度，提昇反向跳 (CMJ) 表現，但目前還缺乏研究證據的支持，且在反向跳表現的方面，結果尚不一致。目前尚未有研究證實冷療加壓處理對於離心運動造成肌肉及本體感覺損傷後恢復效果的影響，也缺乏比較冷療加壓處理與單獨的冷療與加壓處理方式之間，恢復效果的差異。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究招募 40 位自願參加實驗之一般年輕健康男性（18-35 歲），並無心血管疾病、氣喘、糖尿病或與低溫有關的疾病（如：雷諾氏症）以及其他重大疾病病史，在過去的六個月內沒有遭受肌肉骨骼損傷，並且沒有服用提高運動表現的藥物。本研究已通過國立臺灣師範大學研究倫理審查委員會之審查（案件編號：202306HM019）。受試者在正式參與本研究之前須先閱讀並填寫「研究參與者知情同意書」（見附錄一），以確認身體狀況良好且願意配合參與本研究，才會正式成為本研究受試者。

第二節 研究工具

一、膝關節之力量覺、位置覺；最大等長肌力；發力率 (0-50，0-100 & 0-200 ms)：使用 Biodex system 4 Pro (Biodex System 4 Pro; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA)

二、最大等長肌力期間的肌肉表層均方根電訊號 (RMS-EMG during MVC)：使用 Biopac MP150 (Biopac MP 150; Biopac Systems, Inc, Goleta, CA, USA) 進行測量及蒐集。

三、反向跳高度：使用 My Jump 2.0 app (My Jump 2.0; My Jump Lab, Spain) 進行測量。

四、關節活動範圍：使用 360°測角器進行測量。

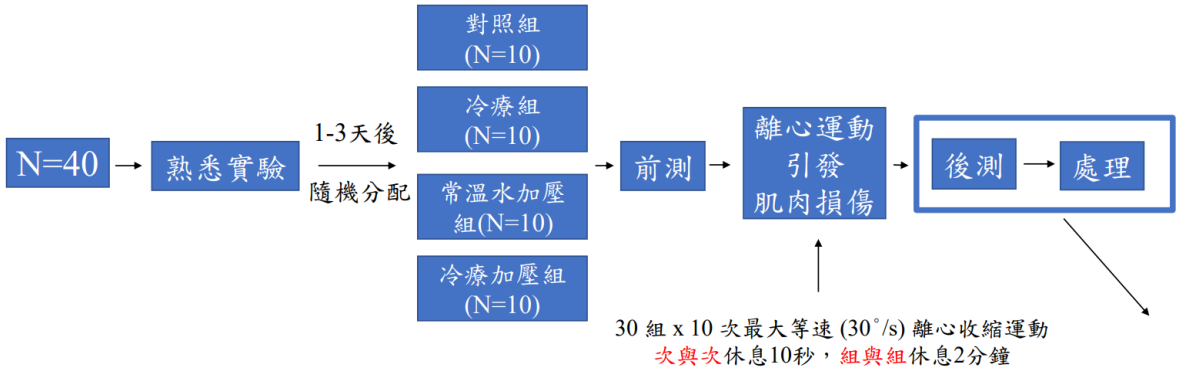
五、肌肉酸痛程度：使用疼痛視覺模擬量表(Visual Analogue Scale, 0-10)進行測量。

六、冷療、常溫水加壓、冷療加壓：使用 Aircast Cryo/Cuff IC (Aircast Cryo/Cuff IC Cooler; DJO Global, Vista, CA, USA)（溫度範圍：10 ℃-35 ℃；壓力範圍：45-60 mmHg）進行處理。

第三節 研究方法與步驟

一、實驗流程

本研究中每位受試者進行 1 次實驗熟悉，6 次肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗測驗（1 次前測，5 次後測）及 5 次實驗處理。第 1 次實驗熟悉的目的在於，讓受試者了解本次實驗流程，熟悉等速肌力測驗儀器 (Biodex)，並進行基礎身體數據的測量及記錄（年齡、身高、體重），然後對受試者進行隨機分配，分爲 4 組（每組 10 人），分別標記爲冷療加壓組（CC 組）、冷療組（CT 組）、常溫水加壓組（CP 組）與控制組（CON 組）。完成實驗熟悉後 1-3 天，受試者再次來到實驗室進行實驗前測（肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗），前測後進行最大等速離心收縮運動，運動後第 24、48、72、96、120 小時進行與前測內容相同之後測，並於運動後第 1、25、49、73、97 小時進行 20 分鐘之相應恢復處理。本實驗設計與流程如圖 1：


N=40
熟悉實驗
1-3天後
隨機分配
對照組
(N=10)
冷療組
(N=10)
常溫水加壓
組(N=10)
冷療加壓組
(N=10)
前測
離心運動
引發
肌肉損傷
後測
處理
30 組 x 10 次最大等速 (30˚/s) 離心收縮運動
次與次休息10秒，組與組休息2分鐘

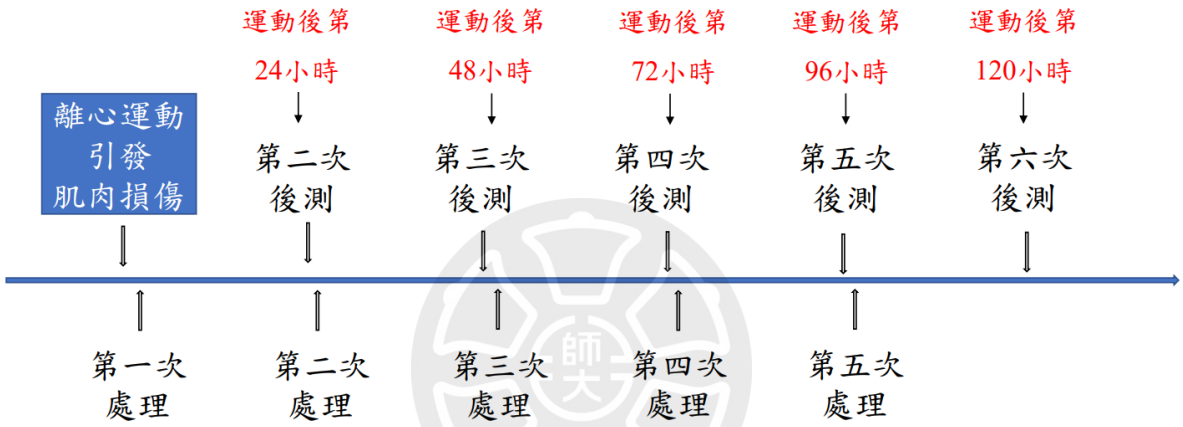

離心運動
引發
肌肉損傷
運動後第
24小時
第二次
後測
運動後第
48小時
第三次
後測
運動後第
72小時
第四次
後測
運動後第
96小時
第五次
後測
運動後第
120小時
第六次
後測
第一次
處理
第二次
處理
第三次
處理
第四次
處理
第五次
處理

圖 1：實驗流程圖

二、實驗熟悉

在進行正式實驗之前，所有受試者進行 1 次實驗流程、依變項測驗的熟悉與練習，包括 1 回合的最大等速離心收縮運動，肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗，但爲了避免受試者進行離心運動練習時產生重複訓練效應 (Chen et al., 2019)，對後續正式實驗中的運動介入產生保護效果，故在離心運動的熟悉過程中，僅由施測者示範給受試者觀看。

三、實驗前測

每位受試者需先進行 1 次肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗。本體感覺，部分體能表現均採用 Biodex system 4 Pro 肌力測試儀 (Biodex System 4 Pro; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA) 進行測驗。

四、離心運動誘發肌肉損傷

使用 Biodex 對受試者非慣用腿的膝伸肌群進行 30 組 x 10 次最大等速 (30°/s) 離心收縮運動 (Paulsen et al., 2007)，之前的研究已證實此方案能夠引起明顯的肌肉損傷 (Paulsen et al., 2010)。受試者以坐姿在 Biodex 上進行運動，運動範圍為 10°-100°（0° 等於膝關節完全伸展），次與次之間休息 10 秒、組與組間休息 2 分鐘（曾暐晉等，2016），以誘發肌肉損傷。

五、實驗處理

本研究根據受試者基礎身體數據，通過隨機分配之實驗設計將受試者分為 4 組，分別為冷療加壓組（CC 組）、冷療組（CT 組）、常溫水加壓組（CP 組）與控制組（CON 組），受試者進行離心運動後，分別接受不同處理，並在運動後第 25、49、

73、97 小時後再次接受處理。處理包括以下：

（一）冷療加壓：本研究所採用冷療加壓處理方式為使用 DJO Global 公司的「Aircast Cryo/Cuff IC」冷療加壓儀器，壓力設定為：45-60 mmHg，溫度設定為：10 ℃，腿套長度涵蓋大腿，受試者的非慣用腿穿着腿套，並平躺休息，進行 20 分鐘冷療加壓處理。

圖 2 冷療加壓示意圖

（二）冷療：本研究所採用冷療處理方式為使用 DJO Global 公司的「Aircast Cryo/Cuff IC」冷療加壓儀器，壓力設定為：0 mmHg，溫度設定為：10℃，腿套長度涵蓋大腿，受試者的非慣用腿穿着腿套，並平躺休息，進行 20 分鐘冷療處理。

（三）加壓：本研究所採用冷療處理方式為使用 DJO Global 公司的「Aircast Cryo/Cuff IC」冷療加壓儀器，壓力設定為：45-60 mmHg，溫度設定為：35℃，腿套長度涵蓋大腿，受試者的非慣用腿穿着腿套，並平躺休息，進行 20 分鐘加壓處理。

（四）控制組：採平躺休息 20 分鐘

六、檢測指標

（一）肌肉損傷測驗

大腿腿圍：從受試者股直肌肌腹中心點處以油性筆進行劃記，通過測量大腿腿圍 (circumference, CIR) 來進行量化。受試者使用單腳站於矮箱上，使非慣用腳懸空並放鬆，使用皮尺測量劃記位置，施測者在測量時必須注意皮尺是否呈現水平且與眼睛同高，每次測量時皮尺鬆緊度也需保持一致，並在每次觀察時測量 3 次，次與次之間誤差不得超過 0.2 公分，若超過則需再次進行測量，並計算此位置 3 次較接近的測量平均值做為本研究的 CIR 值 (Chen et al., 2011)。

關節活動範圍測驗：在實驗開始的第一天，在受試者的大腿中心、膝關節及小腿外側以油性筆做上標記，並要求受試者在實驗期間保留記號，以確保測量之準確性。測量之前請受試者像測量大腿腿圍時一樣站立於矮箱上，當受試者試圖最大限度地彎曲膝關節以通過腳後跟接觸臀部時測量並記錄最大屈曲角度，之後在受試者試圖用膝蓋放在他身邊盡可能地伸展他的膝關節時測量並記錄最大伸展角度。測量使用 360°塑料測角儀，每個角度測量三次，記錄最大伸展角度減去最大屈曲角度的值，使用三次

測量的平均值來計算 ROM (Chen et al., 2011)。

疼痛視覺模擬量表 (VAS)：本研究於運動後第 24、48、72、96、120 小時之時間點詢問受試者疼痛視覺模擬量表，量表為一條長度 10 公分水平直線，最左端（0 公分）為一點也不痛，最右端 10 則表示為非常的酸痛 (Howatson & van Someren, 2008)。測量時受試者俯臥於治療床上，施測員雙手分別撐扶受試者測量腿的膝關節與腳踝，各分別進行一次最大關節活動範圍的伸展與屈曲之後,讓受試者感覺膝伸肌群酸痛程度，並於量表上的水平直線畫記一條垂直短線，測量後的公分數即為本研究的肌肉酸痛程度 (Chen et al., 2011)。

最大等長肌力、均方根電訊號、運動壓力值與發力率測驗：先以刮鬍刀刮去毛髮及皮膚，再以酒精棉花擦拭，去除油脂與角質，直到表皮充血。之後，將電極片黏貼在受試者非慣用腿之股外側肌肌腹中央位置，正、負電極之間間隔 2 公分，接地極統一貼在同側髕骨上方 (Chen, 2003)。施測者鼓勵受試者進行非慣用腿之最大等長收縮，膝關節角度設定為 90°，共進行 3 次測驗，每次持續 5 秒，次與次之間間隔 45 秒，並記錄 3 次的最佳數值為 MVC 值，同時，記錄 MVC 期間 EMG 的圖像，並計算力矩峰值出現時之 RMS（Chen, 2003）。此外，也將各組進行最大等長收縮運動時之力矩峰值除於 RMS，做為離心運動對作用肌群產生壓力程度之比較（運動壓力值）。發力率測驗：使用膝伸肌群 MVC 中計算 RFD，肌肉收縮起始的時間定義為力矩超過力矩基礎值到力矩峰值 (peak torque, PT) 2.5%的瞬間，RFD 定義為力矩—時間曲線的斜率（ΔTorque/ΔTime），計算 0-50, 0-100, 0-200 ms 的發力率，共進行 3 次測驗，並記錄其峰值做爲分析值 (Aagaard et al., 2002)。

（二）本體感覺測驗：測量儀器：Biodex system 4 Pro 肌力測試儀 (Biodex

System 4 Pro; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA)（圖 3）。測量地點:國立臺灣師範大學公館校區體育運動大樓 1 樓力學實驗室。測量方法： (1) 測試前依操作手冊先進行重力校正。 (2) 設定受試者座椅高度及方向、椅背傾斜角度(85°)、頸部支撐角度。(3) 測試時先設定受試者膝關節活動範圍(10°~100°，0°等於膝關節完全伸展)，並再次檢查受試者固定於座椅之繫帶是否穩固。(4) 受試者先進行本體感覺之位置覺的測驗，施測者將受試者的非慣用腿從 90°抬到 45°的位置，維持 10 秒，重複 3 次，次與次之間休息 30 秒，並告知受試者讓其記住各個位置時的感覺。之後，讓受試者努力還原 45°的膝關節位置，當受試者認為已接近目標角度時，按下手中的停止按鈕，固定當前的膝關節位置，共進行 5 次，次與次之間休息 1 分鐘（Paschalis et al., 2013）。之後用眼罩將受試者的雙眼蒙上，在閉眼狀態下再次進行位置覺之測驗。爲了更加直觀的顯示實驗結果， PS45 所得成績將統一轉換成百分比變化來呈現 ((後測/前測 x 100) – 100)，數值為負數表示腿較前測時伸展，數值為正數表示腿較前測時彎曲，取平均值作爲分析值 (Chen et al.,2020)。(5) 之後，受試者進行本體感覺之力量覺的測驗，以前測 MVC 的 30%作為標準線，讓受試者觀看 Biodex 螢幕上的標準線的同時再次進行等長收縮，並給予口語指導及鼓勵，使受試者當前的收縮力量接近 30% 前測 MVC 的標準線，使其努力保持目前的收縮力量，總共 3 次，每次持續 10 秒，次與次之間間隔 1 分鐘，使受試者記住自己的 30% 前測 MVC 是多少。之後，用眼罩將受試者的雙眼蒙上，進行非慣用腿之等長收縮，使其努力還原 30% 前測 MVC 的收縮強度，並給予口語指導及鼓勵，總共進行 5 次收縮，次與次之間間隔 1 分鐘，記錄每次的收縮強度並計算出平均值作爲分析值 (Paschalis, et al., 2013)。

（三）體能表現測驗：在進行完本體感覺測驗後，受試者繼續進行體能表現測驗。反向跳高度測驗：測量儀器：My Jump 2.0 軟體，手機。測量地點:臺灣師範大學

公館校區體育館 1 樓。測量方法： (1) 將手機置放在手機支架上，調整手機位置，使鏡頭可以完整錄製到受試者的整個跳躍過程。 (2) 受試者以站姿站定，雙手叉腰，當聽到施測者指令後，抬起慣用腳，使用非慣用腳單腳進行反向跳躍，施測者同時記錄整個跳躍過程。 (3) 共進行 3 次反向跳，次與次之間休息 2 分鐘。 (4) 使用 My Jump 2.0 軟體對受試者的跳躍高度進行計算，並記錄其最佳數值作爲分析值 (Hernández-Preciado et al., 2018)。30m 單腳計時跳測驗： (1) 受試者使用非慣用腿進行單腳跳，盡可能快的通過 30m 的距離，使用手機自帶的秒錶進行計時，共進行 2 次測試，測試之間休息 2 分鐘，記錄最佳成績作爲分析值（改編自 Myers, 2014）。

圖 3 Biodex 肌力測試儀

第四節 資料處理與分析

以 Acknowledge Version 3.8.1 軟體 (Biopac systems, Santa Barbara, CA, USA) 進行原始肌電訊號處理分析，選取每次最大等長收縮 (MVC) 時力矩峰值的前、後 0.25 秒時間範圍，進行帶通濾波 (Band-pass 20~500 Hz) ，經由整流翻正 (full wave rectification) 與平順化 (smooth) 後，取其 0.5 秒肌電訊號，以 Root Mean Square (RMS) 方式進行處理，以 3 次中的最高值作爲分析值。此外，也將各組別進行非慣用腿之最大等長收縮運動時之力矩峰值除於 RMS，做為最大等長收縮運動對作用肌群產生壓力程度之比較。

本研究實驗測量所得之各項數據，採用 SPSS.23.0 for windows 軟體進行統計分析，敘述如下:

（一）本研究以二因子混合設計變異數分析考驗不同實驗處理介入對不同時間點（前測、運動後第 24、48、72、96、120 小時）之肌肉損傷、本體感覺以及體能表現測驗的變化進行比較，若交互作用顯著時，採杜凱氏法 (Tukey’s post hoc test) 進行事後比較。若未達顯著則進行主要效果考驗。

（二）以描述性統計 (平均值±標準誤 (SEM))呈現實驗所蒐集到的數據。統計顯著水準為 $\alpha = .05$。

第肆章 結果

本章旨在說明經離心運動誘發肌肉及本體感覺損傷後，各組在各時間點之肌肉損傷、本體感覺測驗以及體能表現測驗之結果，依研究架構分為：第一節，受試者基本資料；第二節，肌肉損傷測驗結果；第三節，本體感覺測驗結果；第四節，體能表現測驗結果等四節進行說明。

第一節 受試者基本資料

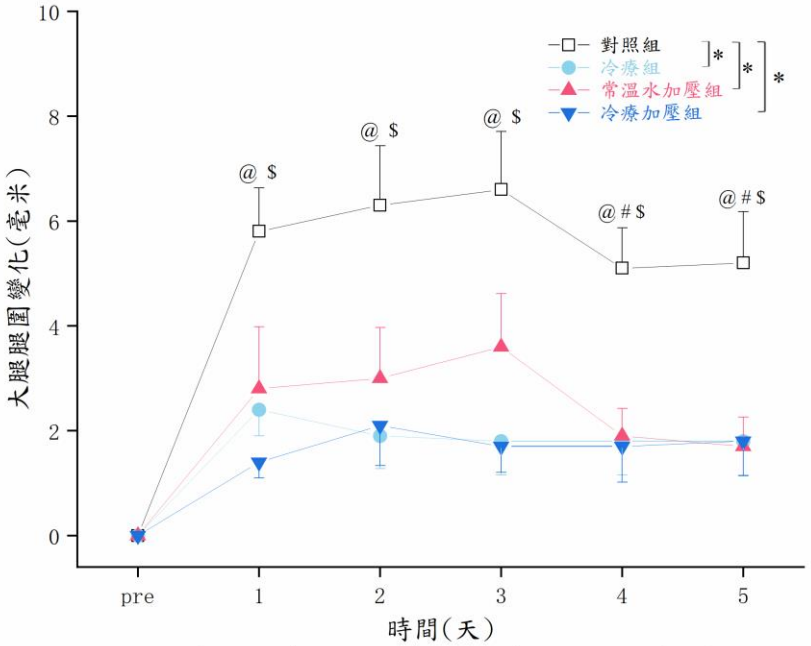
表 2 受試者基本資料

人數	N=40
年齡(yrs)	21.65±2.39
身高(cm)	176.5±5.97
體重(kg)	69.2±9.90
膝伸肌群最大等長肌力(Nm)	196.09±47.34

第二節 肌肉損傷測驗結果

（一）大腿腿圍

圖 4 為各組各時間點大腿腿圍之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在交互作用 (F(15,180)=2.836) 、組別 (F(3,36)=8.432)、時間 (F(5,180)=24.438) 因子上均有統計差異 ($p<.05$)。冷療、常溫水加壓、冷療加壓處理與時間因子之交互作用均達顯著 ($p<.05$)，其餘各組間無顯著交互作用 ($p>.05$)。處理單純主要效果顯示，在離心運動後第 1 ~ 5 天，冷療組與冷療加壓組之大腿腿圍變化均顯著小於對照組 ($p<.05$)；在離心運動後第 4、5 天，常溫水加壓組之大腿腿圍變化均顯著小於對照組 ($p<.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之大腿腿圍在離心運動後第 1～5 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；常溫水加壓組之大腿腿圍在離心運動後第 1 ~ 3 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平。冷療組、冷療加壓組之大腿腿圍在離心運動前後無顯著變化 ($p>.05$)。



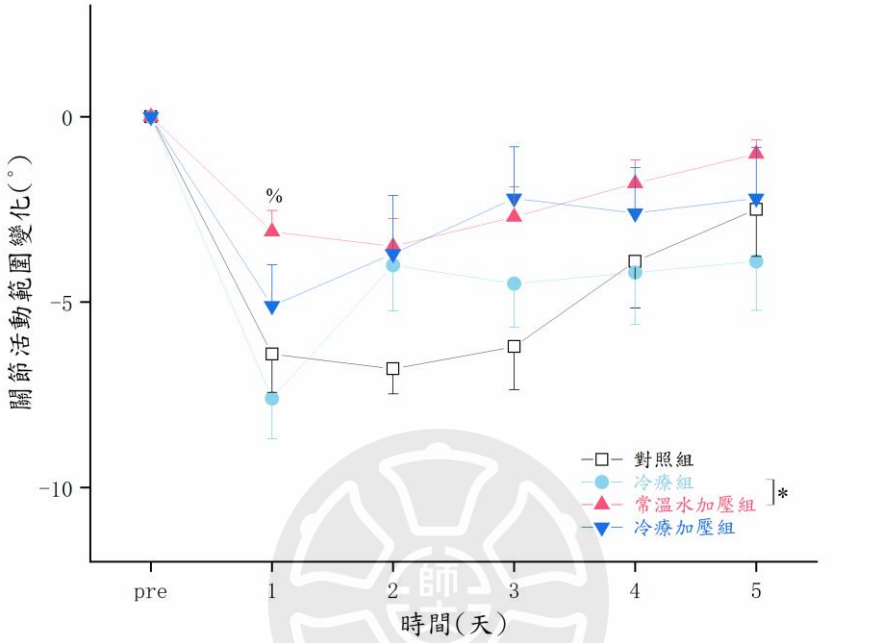
註：@、#、$分別代表冷療組、常溫水加壓組、冷療加壓組與對照組相比在同一時間點有顯著差異($p<.05$)；*代表組間有顯著交互作用($p<.05$)；

圖 4 大腿腿圍變化

（二）關節活動範圍

圖 5 為各組各時間點關節活動範圍之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在交互作用 (F(15,180)=1.859)、時間 (F(5,180)=28.321) 因子上有統計差異 ($p<.05$)，但在組別因子則無統計差異 ($p<.05$)。處理單純主要效果顯示，在離心運動後第 1 天，常溫水加壓組之關節活動範圍變化顯著小於冷療組 ($p<.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之關節活動範圍在離心運動後第 1 ~ 4 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；冷療組之關節活動範圍在離心運動後第 1 ~ 5 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；常溫水加壓組之關節活動範圍在離心運動後第 1 天顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 2 天恢復至

基綫水平；冷療加壓組之關節活動範圍在離心運動後第 1，2 天均顯著小於前測 (p＜.05)，在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平。



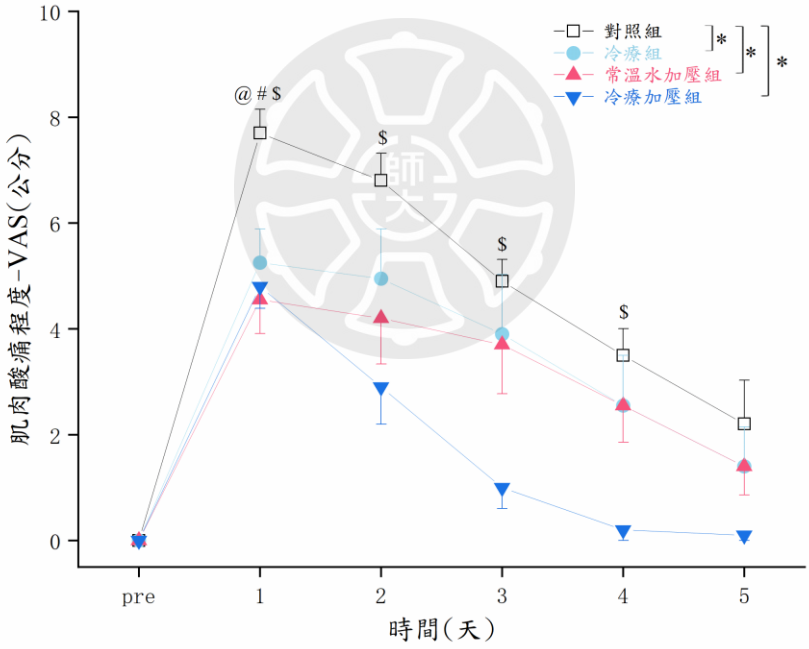
註：%表示冷療組與常溫水加壓組相比在同一時間點有顯著差異(p＜.05)；
*代表組間有顯著交互作用(p＜.05)；

圖 5 關節活動範圍變化

（三）肌肉酸痛程度

圖 6 為各組各時間點肌肉酸痛程度之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在交互作用 (F(15,180)=2.957)、組別 (F(3,36)=5.594)、時間 (F(5,180)=87.979) 因子上均有統計差異 (p＜.05)。冷療加壓處理與時間因子之交互作用達顯著 (p＜.05)，其餘各組間均無顯著交互作用 (p＜.05)。處理單純主要效果顯示，在離心運動後第 1 天，冷療組、常溫水加壓組之肌肉酸痛程度均顯著小於對照組 (p＜.05)；在離心運動後第 1～4

天，冷療加壓組之肌肉酸痛程度均顯著小於對照組 ($p<.05$)；時間單純主要效果顯示，對照組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 1 ~ 5 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；冷療組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 1 ~ 4 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；常溫水加壓組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 1 ~ 4 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；冷療加壓組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 1、2 天均顯著大於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平。

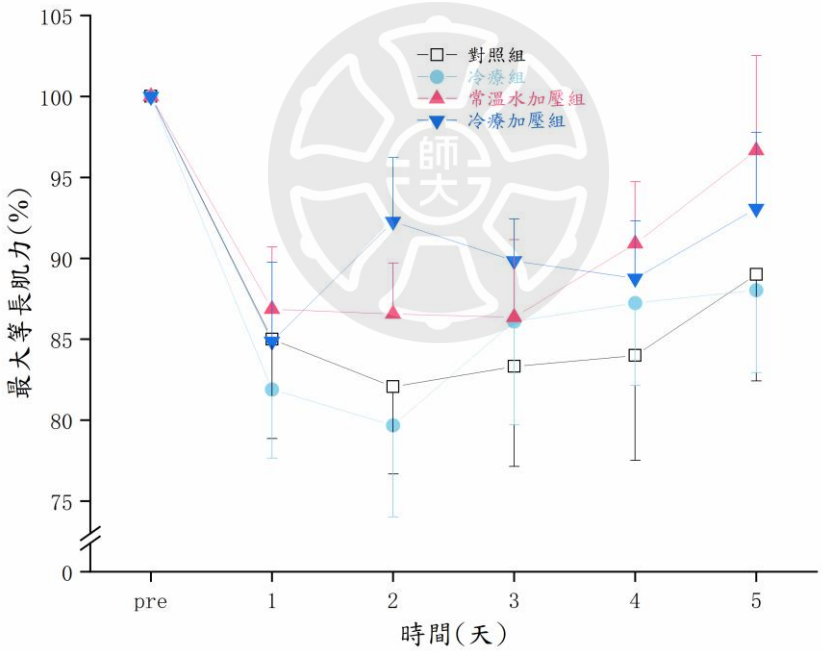


註：@、#、$分別代表冷療組、常溫水加壓組、冷療加壓組與對照組相比在同一時間點有顯著差異($p<.05$)；*代表組間有顯著交互作用($p<.05$)；

圖 6 肌肉酸痛程度

（四）最大等長肌力

圖 7 為各組各時間點最大等長肌力之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 (F(5,180)=13.745) 因子上有統計差異 ($p<.05$)，但在交互作用、組別因子則無統計差異 ($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之最大等長肌力在離心運動後第 2、3、4 天顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；冷療組之最大等長肌力在離心運動後第 1、2 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平；常溫水加壓組與冷療加壓組之最大等長肌力在離心運動前後無顯著變化 ($p>.05$)。

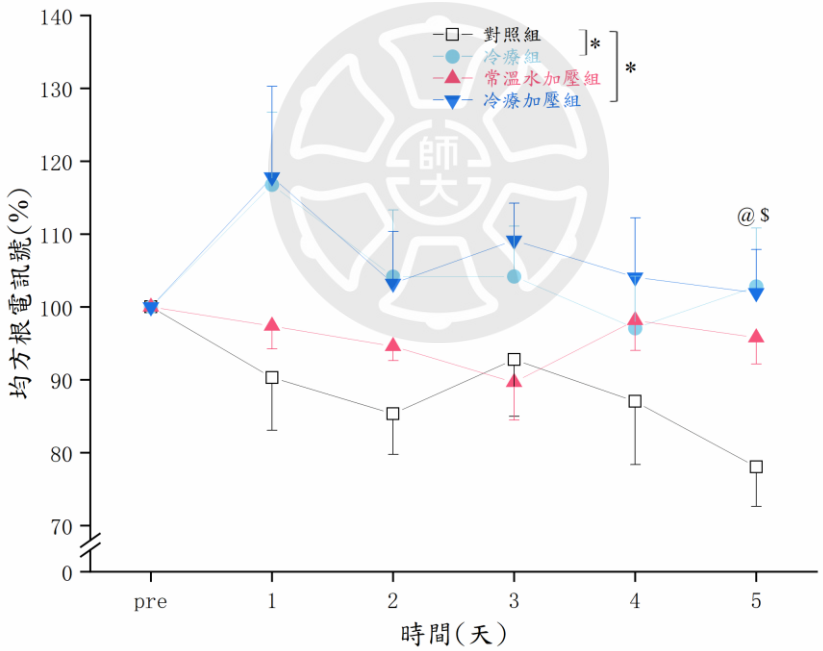


註：各組間無顯著交互作用($p>.05$)。

圖 7 最大等長肌力

（五）均方根電訊號

圖 8 為各組各時間點均方根電訊號之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在交互作用 (F(15,180)=1.815)、時間 (F(5,180)=3.272) 因子上有統計差異 (p＜.05)，但在組別因子則無統計差異 (p＞.05)。處理單純主要效果顯示，在離心運動後第 5 天，冷療組、冷療加壓組之均方根電訊號均顯著大於對照組 (p＜.05)；時間單純主要效果顯示，對照組之均方根電訊號在離心運動後第 5 天顯著小於前測 (p＜.05)；冷療組之均方根電訊號在離心運動後第 4 天顯著小於離心運動後第 1 天 (p＜.05)；常溫水加壓組與冷療加壓組之均方根電訊號在離心運動前後無顯著變化 (p＞.05)。

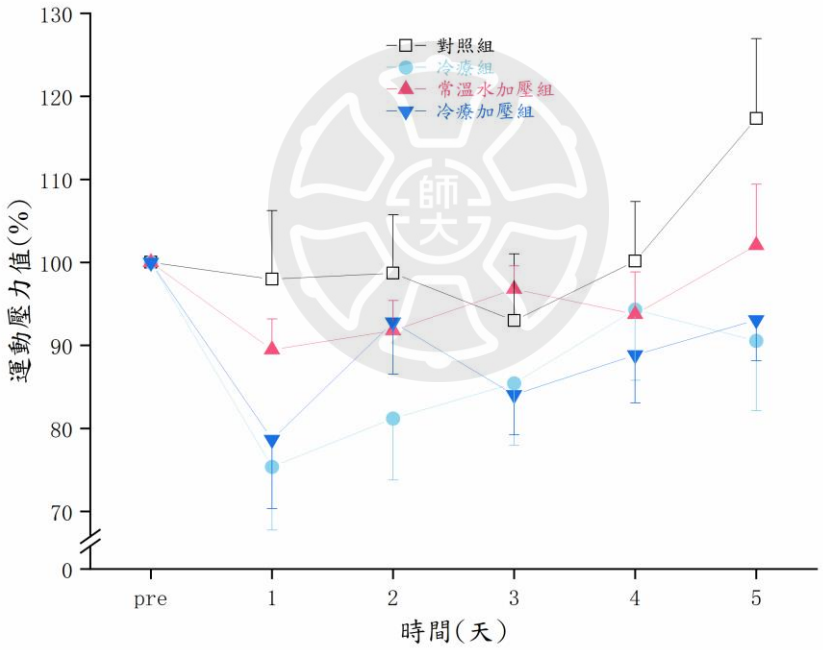


註：@、$分別代表冷療組、冷療加壓組與對照組相比在同一時間點有顯著差異(p<.05)；*代表組間有顯著交互作用(p<.05)；

圖 8 均方根電訊號

（六）運動壓力值

圖 9 為各組各時間點運動壓力值之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間(F(5,180)=8.401))因子上有統計差異($p<.05$)，但在交互作用、組別因子則無統計差異($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之運動壓力值在離心運動後第 5 天顯著大於第 2、3、4 天 ($p<.05$)；冷療組之運動壓力值在離心運動後第 1 天顯著小於前測($p<.05$)，在離心運動後第 2 天恢復至基綫水平；常溫水加壓組與冷療加壓組之運動壓力值在離心運動前後無顯著變化 ($p>.05$)。

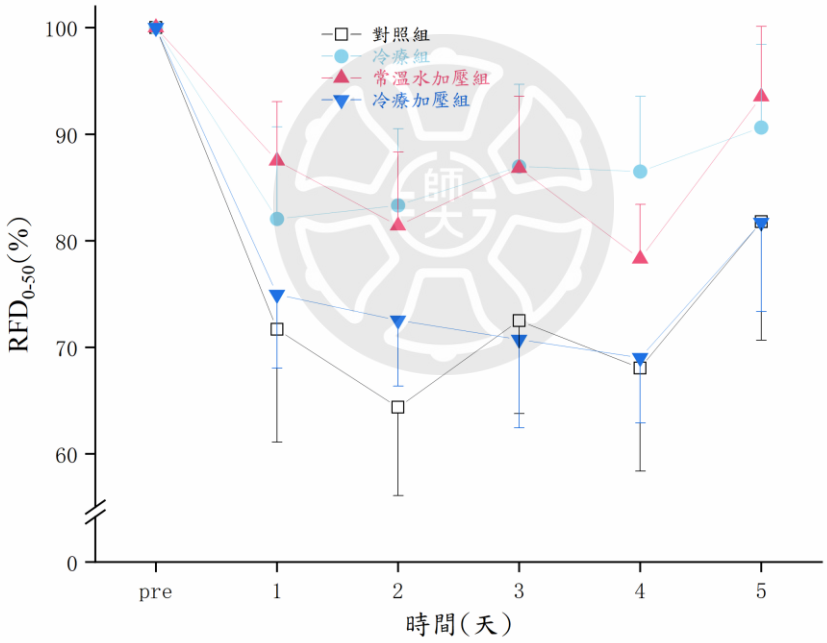


註：各組間無顯著交互作用($p>.05$)。

圖 9 運動壓力值

（七）發力率(RFD)

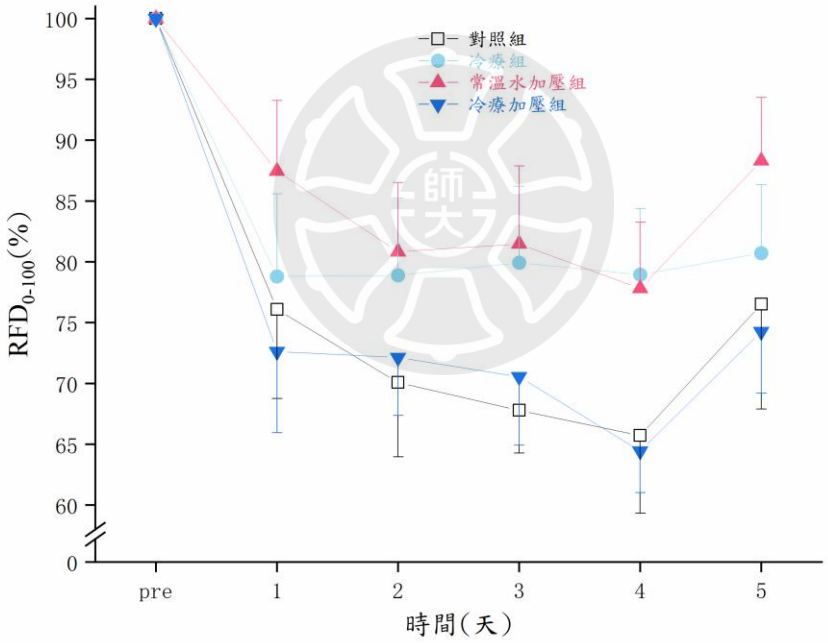
圖 10 為各組各時間點 $RFD_{0\text{-}50}$ 之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 ($F(5,180)=11.797$) 因子上有統計差異 ($p<.05$)，但交互作用、組別則無統計差異 ($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之 $RFD_{0\text{-}50}$ 在離心運動後第 1 ~ 4 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；冷療組與常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}50}$ 在離心運動前後無顯著變化 ($p>.05$)；冷療加壓組之 $RFD_{0\text{-}50}$ 在離心運動後第 2、3、4 天顯著小於前測($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平。



註：各組間無顯著交互作用($p>.05$)。

圖 10 發力率 $_{0\text{-}50}$ ($RFD_{0\text{-}50}$)

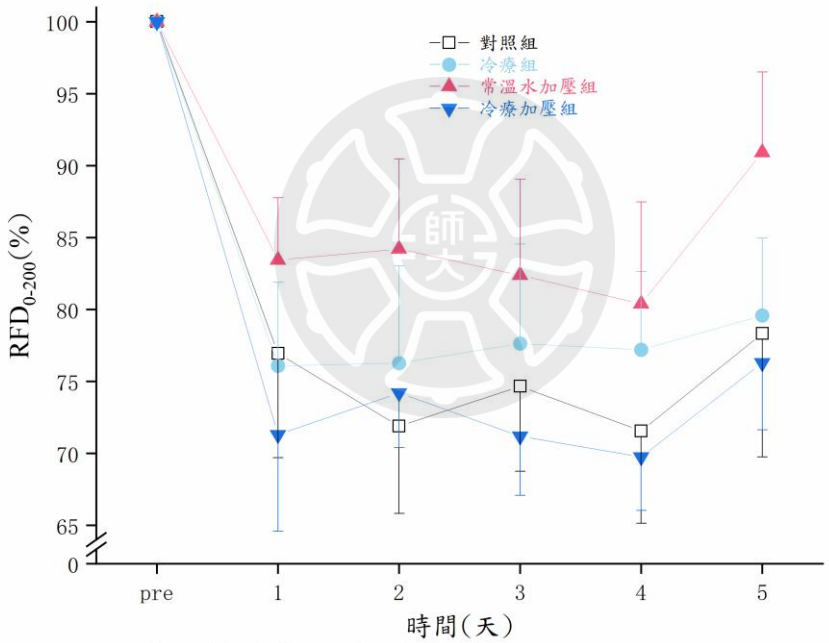
圖 11 為各組各時間點 $RFD_{0\text{-}100}$ 之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 (F(5,180)=25.355) 因子上有統計差異($p<.05$)，但交互作用、組別則無統計差異($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組與冷療加壓組之 $RFD_{0\text{-}100}$ 在離心運動後第 1～5 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；冷療組之 $RFD_{0\text{-}100}$ 在離心運動後第 1～4 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平；常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}100}$ 在離心運動後第 2、3、4 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平。



註：各組間無顯著交互作用($p>.05$)。

圖 11 發力率 $_{0\text{-}100}$ ($RFD_{0\text{-}100}$)

圖 12 為各組各時間點 $RFD_{0\text{-}200}$ 之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 (F(5,180)=23.112) 因子上有統計差異($p<.05$)，但交互作用、組別則無統計差異($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組、冷療組與冷療加壓組之 $RFD_{0\text{-}200}$ 在離心運動後第 1～5 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}200}$ 在離心運動後第 4 天顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平。



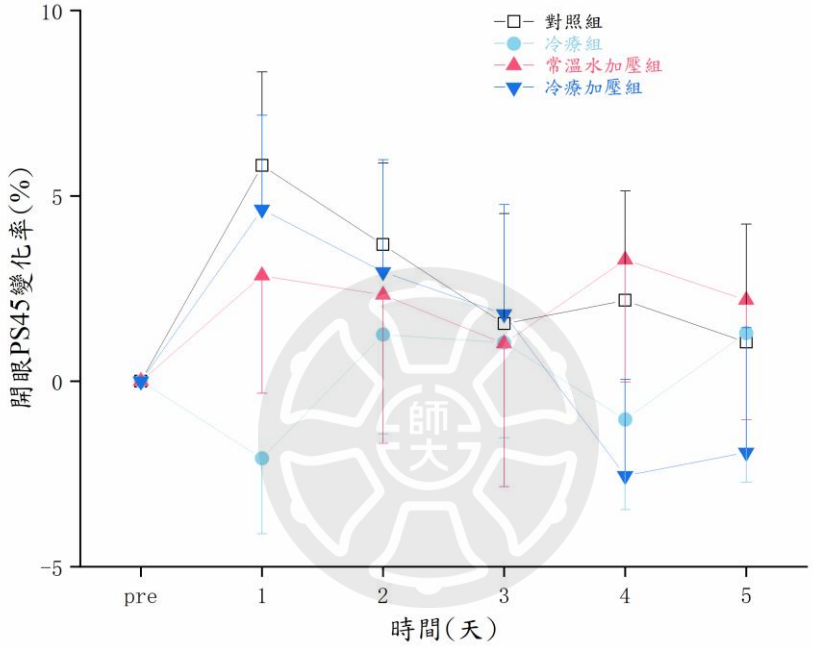
註：各組間無顯著交互作用($p>.05$)。

圖 12 發力率 $_{0\text{-}200}$ ($RFD_{0\text{-}200}$)

第三節 本體感覺測驗結果

（一）位置覺

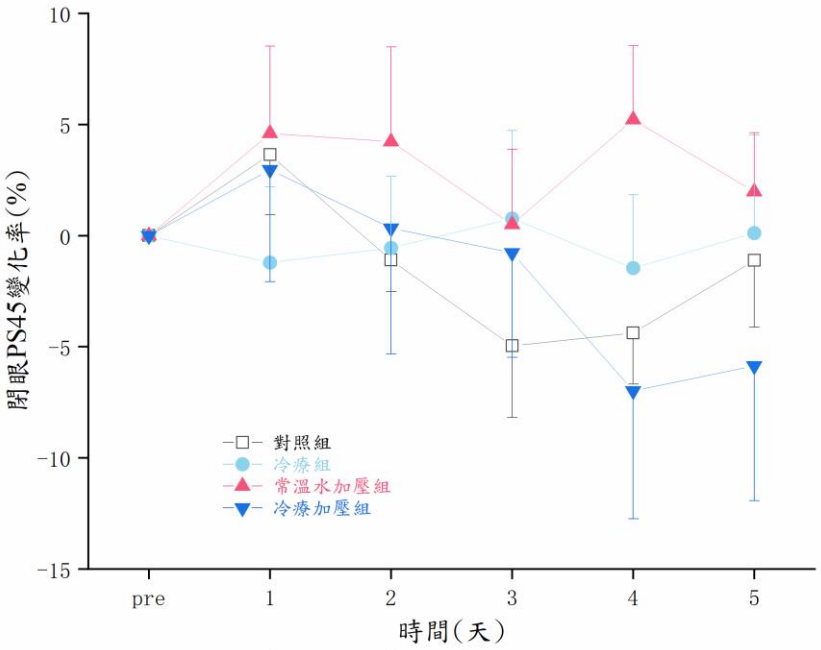
圖 13 為各組各時間點開眼 PS45 之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現交互作用、組別、時間因子上均無統計差異 ($p > .05$)。



註：各組間無顯著交互作用($p > .05$)。

圖 13 開眼位置覺(PS45)變化率

圖 14 為各組各時間點閉眼 PS45 之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現交互作用、組別、時間因子上均無統計差異 ($p > .05$)。

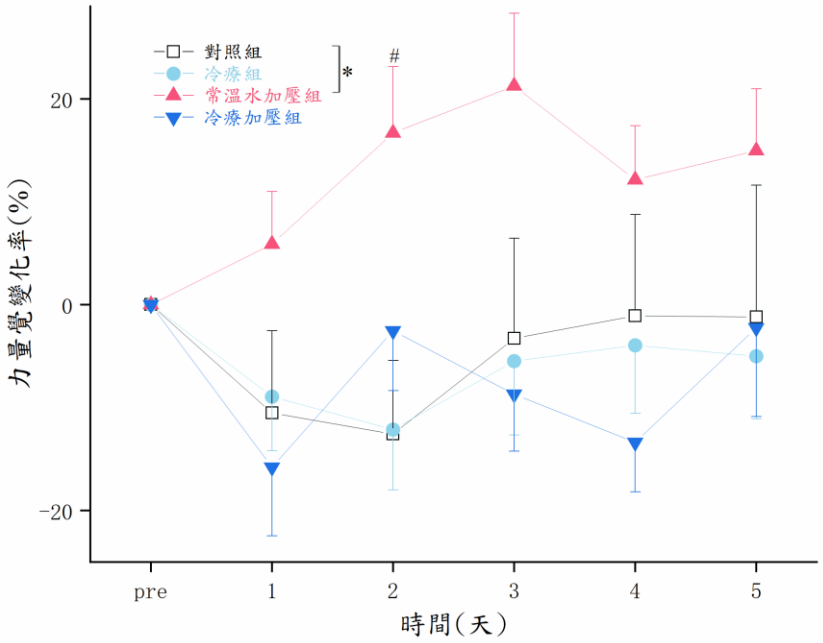


註：各組間無顯著交互作用(p＞.05)。

圖 14 閉眼位置覺(PS45)變化率

（二）力量覺

圖 15 為各組各時間點力量覺之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在交互作用 (F(15,180)=1.745) 、組別(F(3,36)=2.962) 因子上有統計差異 (p＜.05)，但在時間因子上無統計差異 (p＞.05)。處理單純主要效果顯示，在離心運動後第 2 天，對照組之力量覺顯著小於常溫水加壓組 (p＜.05)；時間單純主要效果顯示，常溫水加壓組之力量覺在離心運動後第 3 天顯著大於前測與第 1 天 (p＜.05)，在離心運動後第 4 天恢復至基線水平； 其餘組之力量覺在離心運動前後無顯著變化 (p＞.05)。



註：#代表常溫加壓組與對照組相比在同一時間點有顯著差異($p<.05$)；
*代表組間有顯著交互作用($p<.05$)；

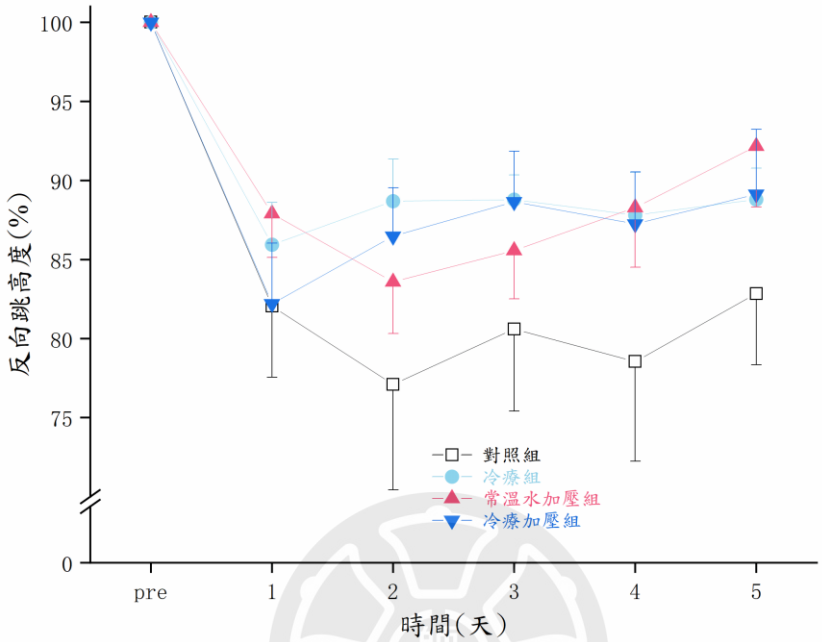
圖 15 力量覺變化率

第四節 體能表現測驗結果

（一）反向跳高度

圖 16 為各組各時間點反向跳高度之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 (F(5,180)=27.78) 因子上有統計差異($p<.05$)，但交互作用、組別則無統計差異($p>.05$)。時間單純主要效果顯示，對照組之反向跳高度在離心運動後第 1～5 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；冷療組之反向跳高度在離心運動後第 1、3 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平；常溫水加壓組之反向跳高度在離心運動後第 1 ～ 3 天均顯著小於前測 ($p<.05$)，在

離心運動後第 4 天恢復至基綫水平；冷療加壓組之反向跳高度在離心運動後第 1 ~ 3 天均顯著小於前測 (p＜.05)，在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平。



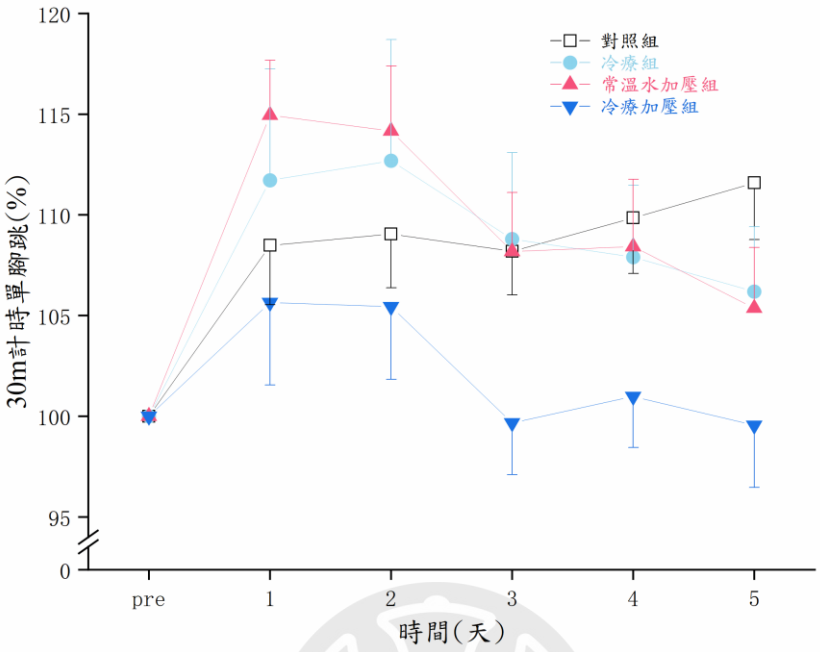
註：各組間無顯著交互作用(p＞.05)。

圖 16 反向跳高度

（二）30m 計時單腳跳

圖 17 為各組各時間點 30m 計時單腳跳之變化情形，經二因子混合設計變異數分析後，發現在時間 (F(5,180)=10.965) 因子上有統計差異 (p＜.05)，但交互作用、組別則無統計差異 (p＞.05)。時間單純主要效果顯示，對照組之 30m 計時單腳跳用時在離心運動後第 4、5 天均顯著大於前測 (p＜.05)，在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平；冷療組與冷療加壓組之 30m 計時單腳跳在離心運動前後無顯著變化 (p＞.05)；常溫水加壓組之 30m 計時單腳跳用時在離心運動後第 1 、2 天均顯著大於前測 (p＜.05)，在離心運

動後第 3 天恢復至基綫水平。



註：各組間無顯著交互作用(p>.05)。

圖 17 30m 計時單腳跳

第伍章 討論

本研究發現主要為，各組在進行離心運動並接受不同處理後，發現冷療組、常溫水加壓組、冷療加壓組之大腿腿圍變化顯著低於對照組；常溫水加壓組之關節活動範圍顯著高於冷療組；冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組之肌肉酸痛程度顯著低於對照組；冷療組與冷療加壓組之均方根電訊號顯著高於對照組；常溫水加壓組之力量覺變化顯著高於對照組。其餘測試結果，各組之間無顯著差異。

上述結果支持本研究之部分假設（如冷療加壓組的大腿腿圍與肌肉酸痛程度顯著低於對照組），但仍有部分結果需要討論。

第一節 冷療加壓處理對肌肉損傷測驗之影響

本研究為第一篇探究冷療加壓處理對大腿腿圍、活動範圍影響之實驗。本研究結果發現，在進行 30 組 x 10 次的最大等速離心收縮運動誘發肌肉損傷後分別使用冷療、常溫水加壓、冷療加壓處理會對受試者大腿腿圍和關節活動範圍造成不同程度的影響。

在大腿腿圍方面，本研究發現使用冷療、常溫水加壓與冷療加壓處理均可以使大腿腿圍顯著降低。冷療組與冷療加壓組之大腿腿圍變化在進行離心運動後第 1 ~ 5 天均顯著低於對照組，常溫水加壓組則是在離心運動後第 4、5 天顯著低於對照組。此外，冷療與冷療加壓組之大腿腿圍在離心運動後第 2 天就恢復至基綫水平，常溫水加壓組為第 4 天，而對照組在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平。這説明在改善離心運動導致大腿肢體腫脹之恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組與冷療加壓組＞常溫水加壓組＞對照組。

先前尚未有研究探究離心運動後造成肌肉損傷後使用冷療加壓對於受試者大腿腿圍、活動範圍之影響爲何，故僅能以本研究結果與冷療加壓相關之基礎實驗結果以及單獨

使用冷凍療法或是加壓療法對於大腿腿圍、活動範圍之影響的實驗結果進行比較。Webb 等 (1998)、Mora 等 (2002) 以及 Meyer-Marcotty 等 (2011) 都在手術後使用冷療加壓進行處理，結果顯示僅 Mora 等 (2002) 的實驗發現能夠緩解肢體腫脹，其餘實驗則發現沒有顯著影響。Maruyama 等 (2019) 在進行離心運動造成肌肉損傷後，使用冷水浸泡後再穿戴壓縮褲之恢復方式做干預，結果發現在進行離心運動後第 3、24 小時，實驗組之大腿腿圍均顯著低於對照組。此實驗同時採取了冷凍療法加上加壓療法之恢復方式來觀察疊加的恢復效應，在幫助恢復的機轉上與本實驗所采取之恢復方式有相似之處，實驗結果也與本實驗類似。

關於肌肉損傷之後單獨使用冷凍療法對於大腿腿圍之影響，目前還存在爭議，如 Hohenauer 等 (2020) 與 de Freitas 等 (2019) 的實驗結果表明無論是部分身體冷凍療法 (PBC) 或是冷水浸泡 (CWI) 都無法緩解肌肉損傷後大腿肌肉腫脹，而 Siqueira 等 (2018) 則是提出了相反的結果。同樣，也有實驗探究了肌肉損傷後單獨使用間歇充氣加壓療法對於肢體腫脹的影響，發現也存在爭議，如 Chleboun 等 (1995) 發現間歇充氣加壓能夠緩解上臂離心運動後的腫脹，但 Waller 等 (2006) 則發現在折返跑之後使用間歇充氣加壓對於大、小腿腿圍均無顯著影響。從上述列舉的實驗結果來看，無論是單獨使用冷凍療法還是間歇充氣加壓療法，對於緩解肢體腫脹的效果都尚無定論，這可能與各實驗中運動方案、處理方案等有關。未來還需要進一步針對冷療加壓處理對於運動後肢體腫脹的影響做研究，也可以使用不同測量方式（如超音波等）進行測量。

在關節活動範圍方面，本研究僅發現使用常溫水加壓相較於使用冷療處理，可以改善關節活動範圍，但持續時間及效果有限（常溫水加壓組僅在離心運動後第 1 天顯著高於冷療組）此外，常溫水加壓組之關節活動範圍在離心運動後第 2 天恢復至基綫水平，冷療加壓組之關節活動範圍在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平，對照組之關節活動範

圍在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平，冷療組之關節活動範圍在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平。這説明在改善離心運動後的關節運動範圍方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組＞冷療加壓組＞對照組＞冷療組。

Schröder 等 (1994)、Kullenberg 等 (2006) 與 Murgier 等 (2014) 在術後使用冷療加壓實驗結果表明冷療加壓對於改善術後關節活動範圍具有積極效益。Goodall 和 Howaston (2008) 的實驗發現運動造成肌肉損傷後使用冷水浸泡無法對膝關節活動範圍產生顯著影響。同樣，Howatson 等 (2005、2009) 研究中，發現運動造成肌肉損傷後使用冷水浸泡或冰按摩都無法對關節活動範圍產生顯著影響。Wiecha 等 (2021) 讓受試者進行離心運動後使用間歇充氣加壓，來比較與對照組的膝關節活動範圍差異，結果發現無顯著效果，但 Yanaoka 等 (2022) 發現間歇充氣加壓可以改善健康受試者的腳踝活動範圍。由上述實驗結果可知，單獨使用冷凍療法對於關節活動範圍似乎無法造成顯著的影響，甚至會減緩恢復進程。而對於單獨使用間歇充氣加壓，對於關節活動範圍的影響，目前看來雖然存在異議，但這些結果可以用於解釋爲何本實驗中常溫水加壓組在離心運動後的恢復效果優於冷療組。

冷凍療法與間歇充氣加壓療法均已被證實可以減緩水腫形成，防止肌肉過度腫脹 (Deal et al., 2002; Waller et al., 2006)，而肢體腫脹/水腫程度與關節活動範圍有關，理論上在改善肢體腫脹與關節活動範圍方面，冷療加壓都應該是最有效的恢復方式，本研究之假設也如此。但本研究的發現為常溫水加壓之恢復效果優於冷療加壓，這不符合本研究的假設，推測可能的原因爲：1. 常溫水加壓與冷療加壓兩種恢復方式在溫度上的不同導致恢復效果產生差異，在運動後連續 5 天多次使用冷療加壓可能影響肌肉、肌腱、韌帶等組織的柔韌性，影響關節活動範圍的恢復進程。2. 冷療、冷療加壓組中不同個體對於皮膚、肌肉溫度下降反應不同，造成個體恢復效果之間差異較大。

本研究結果發現，在進行 30 組 x 10 次的最大等速離心收縮運動誘發肌肉損傷後分別使用冷療、常溫水加壓與冷療加壓處理均會使受試者的肌肉酸痛程度顯著下降。冷療組與常溫水加壓組的肌肉酸痛程度在離心運動後第 1 天顯著低於對照組（對照組：7.7 ± 1.42；冷療組：5.25 ± 2.02；常溫水加壓組：4.55 ± 2.03）。這與先前的研究結果相似 (Verducci, 2000; Waller et al., 2006)。證實冷凍療法與常溫水加壓確實可以緩解運動造成肌肉損傷後的疼痛，但效果可能有限。冷療加壓組的肌肉酸痛程度在離心運動後第 1、2、3、4 天顯著低於對照組。這與 Dupont 等 (2017) 的研究結果相同。本實驗中，肌肉酸痛程度最大下降了 39% (post4：4.9 ± 0.78 vs. 1.0 ± 0.78) ，下降幅度大於 Dupont 等 (2017) 的 24%。雖然使用了相同的 VAS 量表，但可能造成偏差的原因：1. 肌肉酸痛程度是主觀指標，不同個體之間對肌肉酸痛的感知差異較大。2. 實驗肌肉損傷方案所造成的肌肉損傷程度不同。但本研究中沒有加入衡量肌肉損傷之指標，無法觀察到運動方案造成肌肉損傷之程度，這也是本研究的限制之一。此外，對照組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，冷療組與常溫水加壓組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平，冷療加壓組之肌肉酸痛程度在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平。這説明在改善離心運動後肌肉酸痛程度方面，四組的恢復速度排序為冷療加壓組＞冷療組與常溫水加壓組＞對照組。

目前僅有兩項實驗研究冷療加壓處理對於運動後肌肉酸痛程度之影響，雖然兩項實驗均發現冷療加壓可以緩解肌肉酸痛，但還缺少大量研究證據支持，建議在未來加入肌肉酸痛程度的測量以確定冷療加壓處理對於緩解肌肉酸痛的效果。

各組間的 MVC 之間無顯著差異，這與 Alexander (2022) 研究中得出的結論相似（儘管測試肌群不同）。先前有文獻指出，單獨使用冷凍療法或是間歇充氣加壓療法對於運動後的 MVC 恢復沒有幫助 (Hohenauer et al., 2020; Goodall & Howaston, 2008; Wiecha et

al., 2021; Cranston & Driller, 2022)，故可以推測常溫水加壓與冷療加壓無法對運動造成肌肉損傷後的 MVC 造成顯著影響。此外，對照組與冷療組之最大等長肌力在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平，常溫水加壓組與冷療加壓組之最大等長肌力在離心運動後第 2 天恢復至基綫水平。這説明在促進離心運動後 MVC 恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組與冷療組。目前看來冷療加壓處理對於運動後 MVC 之影響尚不明確，也缺乏相關實驗證據，建議在未來的研究中加入對於各類受試者（健康受試者、運動後的受試者）的實驗。

本研究為第一篇探究冷療加壓處理對均方根電訊號、運動壓力值和 RFD 影響之實驗。結果發現，運動壓力值與 RFD，各組之間均無顯著差異。在均方根電訊號方面發現，冷療組與冷療加壓組之均方根電訊號在離心運動後第 5 天顯著高於對照組，這説明冷療組與冷療加壓組與對照組相比可以釋放出較多可刺激召募神經單位的活性，進而招募較多運動單位參與完成 MVC 測試。此外，對照組之均方根電訊號在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平（但離心運動後第 1～4 天與前測均無顯著差異），冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組之均方根電訊號在離心運動前後無顯著變化。這説明在促進離心運動後均方根電訊號恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組。

先前尚未有研究探究運動造成肌肉損傷後使用冷療加壓對於受試者肌肉表層電訊號影響爲何，也缺乏相關基礎實驗結果。但可以通過單獨使用冷凍療法或是加壓療法對於肌肉表層電訊號影響之結果做推論。Kowal 等 (2022) 發現使用全身冷凍療法對於健康受試者之股直肌表層電訊號無顯著影響，Kalli 等 (2020) 系統回顧中發現共有 4 篇研究研究了冷凍療法對於運動員 EMG 之影響（僅 1 篇涉及肌肉損傷，但結果發現無顯著），其中僅有 1 篇報導了 EMG 在冷凍療法後立即顯著下降。由此可見冷凍療法之急

性介入對於健康受試者肌肉表層電訊號之影響尚不明朗，也還缺乏對於運動造成肌肉損傷後介入冷凍療法對於受試者肌肉表層電訊號之影響的相關證據。也有實驗驗證了加壓療法對於受試者肌肉表層電訊號之影響。Fu 等 (2012) 發現局部彈性壓縮的應用可能會顯著減少最大向心收縮期間股直肌募集的運動單位數量。但 Shimokochi 等 (2017) 的實驗則發現運動造成肌肉疲勞後穿著壓縮衣對於最大等長收縮期間股內側肌與股直肌的肌肉表層電訊號無顯著影響。由此可知對一般健康受試者以及運動後造成肌肉疲勞之受試者使用加壓療法，對於 EMG 的影響可能不同，且還缺乏運動造成肌肉損傷後使用間歇充氣加壓療法對於受試者肌肉表層電訊號之影響的相關證據。推測本研究中造成冷療以及冷療加壓處理之肌肉表層電訊號顯著高於對照組的原因在於：對照組在離心運動後產生繼發性損傷，導致可供募集的運動單位下降。而有冷療、冷療加壓介入的組別產生繼發性損傷的細胞較少，進而能夠募集更多運動單位來完成 MVC。

先前僅有一篇文獻探討了運動壓力值（曾暐晉等，2016），該實驗探究了預先進行低强度離心運動後對於下一次的最大離心運動時的運動壓力值的影響，結果發現先進行了低强度離心運動的組別（實驗組）的運動壓力值要顯著小於對照組，由此得出結論：低強度離心運動可有效降低隨後進行最大離心運動引起肌肉損傷的保護效果，可能是與神經系統產生適應有關。但在本研究中，發現各組間無顯著交互作用。未來還需要進一步對運動後使用各種恢復方式對運動壓力值之影響做探討。此外，對照組之運動壓力值在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，冷療組之運動壓力值在離心運動後第 2 天恢復至基綫水平，常溫水加壓組與冷療加壓組之運動壓力值在離心運動前後無顯著變化。這説明在促進離心運動後運動壓力值恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組與冷療加壓組＞冷療組＞對照組。

在 RFD 測驗結果方面本研究發現各組間無顯著差異。此外，對照組與冷療加壓組

之 $RFD_{0\text{-}50}$ 在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平，冷療組與常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}50}$ 在離心運動前後無顯著變化。對照組與冷療加壓組之 $RFD_{0\text{-}100}$ 在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，冷療組與常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}100}$ 在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平。對照組、冷療組與冷療加壓組之 $RFD_{0\text{-}200}$ 在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，常溫水加壓組之 $RFD_{0\text{-}200}$ 則在離心運動後第 5 天恢復至基綫水平。以上實驗結果説明在促進離心運動後 RFD 恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組＞冷療組＞對照組與冷療加壓組。

Wilson 等 (2021) 招募了 13 名熟悉阻力訓練的男性共進行了 16 次的訓練，並在訓練結束後對實驗組的受試者進行 10℃持續 10 分鐘的冷水浸泡介入，結果發現 RFD 沒有顯著變化。Roberts 等 (2014) 的在高强度阻力訓練後使用冷水浸泡進行介入的實驗也報告了同樣的結果。但 Nunes 等 (2019) 在橄欖球賽後對選手使用冷水浸泡進行介入，結果發現能夠加速 RFD 的恢復。Blumkaitis 等在 2022 年發現使用間歇充氣加壓對於 100 次 drop jump 後的 RFD 無顯著影響。從上述的實驗結果可以發現，使用冷凍療法（冷水浸泡）或是間歇充氣加壓療法對於運動後 RFD 的影響結果尚不一致。需要更多文獻去驗證冷療加壓等不同恢復方式對於運動後 RFD 的影響。

第二節 冷療加壓處理對本體感覺之影響

本研究為第一篇探究冷療加壓處理對本體感覺影響之實驗。結果發現，無論是開眼還是閉眼的 PS45，各組間均無顯著差異。此外，先前尚未有研究探究離心運動後使用冷療加壓對於受試者位置覺影響爲何，也沒有相關的基礎實驗結果可供參考，但可以通過冷凍療法/加壓療法對於本體感覺影響之研究結果做比較與推論。關於使用冷凍療法對於位置覺的影響，Furmanek 等 (2014) 文獻回顧中總結共有 11 篇關於使用冷凍療法

對於健康受試者本體感覺的影響，其中涉及膝關節的共有 7 篇，其中有 3 篇發現冷凍療法的急性介入對於膝關節位置覺有顯著影響，其餘 4 篇則發現沒有顯著效果。Aljohani 等人 (2024) 也發現冷凍療法對於受試者的膝關節位置覺無顯著影響。目前還沒有關於間歇充氣加壓療法對於運動後位置覺之影響的研究，故儘可以通過其他有關加壓療法對於運動後位置覺影響之研究結果做推論。Ghai 等 (2024) 關於壓縮服裝對於位置覺影響的文獻回顧中提到，他們的發現表明，在穿戴壓縮服裝時，對於減少關節位置感知測試的絕對誤差有顯著效果。但這篇文章中也報告了沒有顯著影響的案例，如 Négyesi 等 (2021) 以及 Hong 等 (2022) 的實驗。由上述研究結果可以得知，運動造成肌肉損傷後使用冷凍療法或是加壓療法對於受試者位置覺的影響結果尚不明朗。由此可以推論，造成本實驗中 PS45 各組間無顯著差異的可能原因有：1. 單獨使用冷凍療法或加壓療法可能無法對運動造成肌肉損傷後的位置覺產生顯著影響，故使用常溫水加壓與冷療加壓的效果也會不明顯；2. 本研究中采用非急性介入的恢復方式來觀察對於受試者位置覺的影響，而上述研究均爲急性介入，存在短時效應（如皮膚，溫度的急性下降），影響實驗結果。

在力量覺方面發現使用常溫水加壓，在離心運動後第 2 天，對照組之力量覺顯著低於常溫水加壓組。此外，常溫水加壓組之力量覺在離心運動後第 3 天顯著大於前測，在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平，其餘組之力量覺在離心運動前後無顯著變化。由圖 16 可以發現常溫水加壓組相較於其它組別，力量覺的恢復較快且在離心運動後第 1 ~ 5 天均超越前測，這與其餘組別均未發生力量覺超越前測之狀況不同。

先前尚未有研究探究運動造成肌肉損傷後使用冷療加壓對於受試者力量覺影響爲何，也沒有基礎實驗結果可供參考，但可以與單獨使用冷凍療法或加壓療法對於力量覺之影響之實驗結果做比較與推測。關於冷凍療法介入對於受試者力量覺之影響的文獻，

Rubley 等 (2003) 和 Tremblay 等 (2001) 分別使用冷凍療法介入以探究其對於受試者腳踝及股四頭肌力量覺的影響，結果發現並無顯著差異。Furmanek 等 (2018) 招募了 55 名健康受試者以冷療凝膠包來實施冷凍療法，並使用 biodex 評估受試者的膝關節位置覺及力量覺，結果發現冷凍療法並不會影響受試者的膝關節位置覺及力量覺。目前尚缺少加壓療法對於運動造成肌肉損傷後力量覺之影響，建議在未來研究時加入這些方向。由上述研究結果可以得知，無論是使用冷凍療法還是冷療加壓對於運動後力量覺之影響可能都無顯著效果，未來還需要進一步對加壓療法以及冷療加壓對於運動後力量覺之影響做研究。

Fyfe 等 (2019) 實驗結果中發現，冷水浸泡會導致在單次阻力運動後及訓練前和訓練後均削弱了運動後的合成代謝反應，並增加了訓練後蛋白質降解標誌物的基礎水平。因此推測本研究中常溫水加壓組恢復速度較快且超越前測的原因為：冷療與冷療加壓與冷水浸泡的機轉類似，因此可能也存在削弱運動後合成代謝反應，並會導致訓練後蛋白質降解標志物的水平升高的現象，最終導致力量恢復速度變慢。而常溫水加壓組中沒有低溫（冷凍療法）的介入，不會對受試者帶來上述的負面影響，同時加壓療法可能會幫助離心運動後力量覺的恢復，進而導致力量覺恢復速度較快。

第三節 冷療加壓處理對體能表現之影響

本研究為第一篇探究冷療加壓處理對 30m 計時單腳跳影響之實驗。結果發現，各組之間均無顯著差異。

在反向跳高度的部分，本研究發現各組間的反向跳高度均無顯著差異。與 Alexander 等 (2022) 研究結果（反向跳高度-13%）不同，造成差異的原因可能是：1. 本研究中沒有加入皮膚溫度及肌肉溫度的測量指標，因此很難監測到冷療加壓對於受試

者肌肉內部溫度變化，而 Alexander 等 (2022) 的研究中發現使用冷療加壓處理會使皮膚表面溫度下降 18℃，並解釋相較於其他常規研究，該研究的皮膚表面溫度下降幅度較大，可能造成了肌肉深層結構產生了一些生理變化，影響了神經肌肉生物力學的輸出功率，最終導致跳躍高度的降低。2. 本研究採用的冷療加壓介入方式為非急性介入，觀察的是不同處理對於第二天的恢復速度之影響，而 Alexander 等 (2022)在介入後立即進行測試，導致溫度急性下降，存在短時效應，導致兩個實驗之間的結果有差異。此外，對照組之反向跳高度在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組之反向跳高度在離心運動後第 4 天恢復至基綫水平。這説明在促進離心運動後反向跳高度恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組。

30m 計時單腳跳表現各組間無顯著差異。此外，對照組之 30m 計時單腳跳在離心運動後第 5 天尚未恢復至基綫水平，冷療組與冷療加壓組之 30m 計時單腳跳在離心運動前後無顯著變化，常溫水加壓組之 30m 計時單腳跳在離心運動後第 3 天恢復至基綫水平。這説明在促進離心運動後 30m 計時單腳跳表現恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組與冷療加壓組＞常溫水加壓組＞對照組。

Hsieh 等 (2022) 對 24 名精英女子足球運動員連續 6 天進行每日 90 分鐘的 LIST 測試，結果發現遠紅外線輻射治療能夠顯著減少肌肉損傷後 30m 計時單腳跳的耗時，提升運動表現。雖然同爲連續 6 天進行測試，且均在測試後進行恢復介入，進行測試與恢復的時間點也相同，但還是發現了不一樣的結果，除了使用的恢復方式不同之外，推測可能的原因為本研究中沒有加入皮膚及肌肉溫度的測量指標，因此很難監測到冷療加壓對於受試者肌肉內部溫度變化之影響，帶來的恢復效益可能無法影響到 30m 計時單腳跳的表現。

第四節 常溫水加壓與冷療加壓幫助運動後恢復之可能機轉

本實驗中所使用的常溫水加壓在機轉上可以視爲常溫水浸泡與間歇充氣加壓療法的結合，所使用的常溫水的溫度為 35℃，Craig 與 Dvorak 等 (1966) 實驗中證實使用 35℃-35.5℃的水即使長時間浸泡也不會改變男性的核心溫度，本實驗使用 35℃的溫水是爲了在不影響受試者皮膚與肌肉溫度的情況下，與冷療組和冷療加壓組所使用之溫度做比較，可以推測常溫水加壓幫助運動後恢復主要受益於間歇充氣加壓療法。

冷療加壓在機轉上可以視爲冷凍療法與間歇充氣加壓療法的結合，冷凍療法會使目標肌肉（膝伸肌群）之皮膚表面溫度與肌內溫度降低，儘管本研究中並沒有加入測量肌內溫度的方式，但先前有其他研究發現冷凍療法其主要機轉是通過降低組織溫度，通過血管收縮機制，減少了免疫細胞對血管的滲透性 (Bailey et al., 2007)，以最大限度地減少缺氧細胞死亡、水腫形成和肌肉痙攣，以緩解疲勞、疼痛和發炎 (Deal et al., 2002; Machlenkin et al., 2005; Merrick et al., 1999; Verducci, 2000)，此外，降低溫度會導致相關的神經活動減少，與內啡肽濃度增加相結合，可能具有鎮痛效應 (Howatson et al., 2008)。間歇充氣加壓療法的主要機轉是將特製袖套穿戴於身體肢段，再使用儀器以氣壓充氣方式來模擬肌肉幫浦作用之短暫且循環性的加壓與減壓，被認爲可以通過改變動脈、靜脈及組織壓力，促進靜脈血液回流及增加血流量以促進組織充血 (Sheldon et al., 2013)，緩解運動後造成的肌肉酸痛及腫脹 (Waller et al., 2006; Chleboun et al., 1995) 。

本研究可能存在的限制問題為：沒有加入測量皮膚、肌肉溫度的方式或指標；沒有加入測量血液生化評估指標（如 CK，IL-6 等）；沒有在進行離心運動後立即進行測試且沒有對離心運動做具體的記錄（如每次進行離心運動的力量大小）；沒有追蹤受試者每日的身體活動，這可能導致恢復效果不同；實驗設計並無考慮到探討冷療加壓對於影響恢復效果之機轉。

第五節 結論與建議

本研究發現，在進行離心運動造成肌肉損傷後使用冷療以及冷療加壓處理能夠緩解肢體腫脹和肌肉酸痛，並可以在離心運動後招募更多的運動單位，但對於本體感覺以及體能表現無顯著影響。此外，還發現使用冷凍療法不利於離心運動後關節活動範圍的恢復，使用常溫水加壓可以緩解肢體腫脹和肌肉酸痛，改善關節活動範圍，但不利於力量覺的準確度，從而增加受傷風險，對於本體感覺以及體能表現無顯著影響。

在改善離心運動導致大腿肢體腫脹方面，四組的恢復速度排序為：冷療組與冷療加壓組＞常溫水加壓組＞對照組；在改善離心運動後的關節運動範圍方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組＞冷療加壓組＞對照組＞冷療組；在改善離心運動後肌肉酸痛程度方面，四組的恢復速度排序為冷療加壓組＞冷療組與常溫水加壓組＞對照組；在促進離心運動後 MVC 恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組與冷療組；在促進離心運動後均方根電訊號恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組；在促進離心運動後運動壓力值恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組與冷療加壓組＞冷療組＞對照組；在促進離心運動後 RFD 恢復方面，四組的恢復速度排序為：常溫水加壓組＞冷療組＞對照組與冷療加壓組；在促進離心運動後反向跳高度恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組、常溫水加壓組與冷療加壓組＞對照組；在促進離心運動後 30m 計時單腳跳表現恢復方面，四組的恢復速度排序為：冷療組與冷療加壓組＞常溫水加壓組＞對照組。

在未來研究中，建議進一步監控皮膚溫度、肌肉溫度，並加入測量肌酸激酶等血液生化指標以更加深入的探究冷療加壓對於離心運動造成肌肉損傷後的恢復效果。此外，可以進一步比較不同頻率、處理持續時間、溫度的冷療加壓對於恢復效果之影響，也

可進一步探討冷療加壓與常溫水加壓在恢復效果方面的差異。

參考文獻

曾暐晉、曾國維、陳信良、陳忠慶。 (2016)。 低強度離心運動對重複訓練效應及表層肌電訊號活性之影響。 *物理治療*, *41*(3), 189-198.

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, *93*(4), 1318-1326.

Alexander, J., Jeffery, J., & Rhodes, D. (2021). Recovery profiles of eccentric hamstring strength in response to cooling and compression. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *27*, 9-15.

Alexander, J., Keegan, J., Reedy, A., & Rhodes, D. (2022). Effects of contemporary cryo-compression on post-training performance in elite academy footballers. *Biology of Sport*, *39*(1), 11-17.

Aljohani, M., Abdel-azeim, A. A., Alshehri, Y. S., Aboonq, M. S., Aljohani, R. K., & Khaled, O. A. (2024). Cryotherapy effects on knee proprioception and quadriceps performance in healthy college students. *Isokinetics and Exercise Science*, (Preprint), 1-8.

Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, *25*(11), 1163-1170.

Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Melegati, G. (2010). Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Medicine*, *40*(6), 509-517.

Bleakley, C. M., Bieuzen, F., Davison, G. W., & Costello, J. T. (2014). Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 25-36.

Bleakley, C., McDonough, S., & MacAuley, D. (2004). The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *American Journal of Sports Medicine*, *32*(1), 251-261.

Bleakley, C., McDonough, S., Gardner, E., Baxter, G. D., Hopkins, J. T., & Davison, G. W. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).

Blumkaitis, J. C., Moon, J. M., Ratliff, K. M., Stecker, R. A., Richmond, S. R., Sunderland, K.

L., ... & Mumford, P. W. (2022). Effects of an external pneumatic compression device vs static compression garment on peripheral circulation and markers of sports performance and recovery. *European Journal of Applied Physiology*, *122*(7), 1709-1722.

Chan, Y.Y., Yim, Y.M., Bercades, D., Cheng, T. T., Ngo, K.L., & Lo, K.K. (2016). Comparison of different cryotherapy recovery methods in elite junior cyclists. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, *5*, 17-23.

Chen, A., Frangos, S., Kilaru, S., & Sumpio, B. (2001). Intermittent pneumatic compression devices–physiological mechanisms of action. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, *21*(5), 383-392.

Chen, T. C. (2003). Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. *European Journal of Applied Physiology*, *89*, 115-121.

Chen, T. C., Chen, H. L., Liu, Y. C., & Nosaka, K. (2014). Eccentric exercise-induced muscle damage of pre-adolescent and adolescent boys in comparison to young men. *European journal of applied physiology*, *114*, 1183-1195.

Chen, T. C., Huang, G.-L., Hsieh, C.C., Tseng, K.W., Tseng, W.C., Chou, T.Y., & Nosaka, K. (2020). Comparison among three different intensities of eccentric contractions of the elbow flexors resulting in the same strength loss at one day post-exercise for changes in indirect muscle damage markers. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(1), 267-279.

Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 211-223.

Chen, T. C., Tseng, W. C., Huang, G. L., Chen, H. L., Tseng, K. W., & Nosaka, K. (2013). Low-intensity eccentric contractions attenuate muscle damage induced by subsequent maximal eccentric exercise of the knee extensors in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, *113*, 1005-1015.

Chen, T. C., Yang, T. J., Huang, M. J., Wang, H. S., Tseng, K. W., Chen, H. L., & Nosaka, K. (2019). Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *29*(5), 725-735.

Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine*, *33*(2), 145-164.

Chleboun, G. S., Howell, J. N., Baker, H. L., Ballard, T. N., Graham, J. L., Hallman, H. L., ...

& Conatser, R. R. (1995). Intermittent pneumatic compression effect on eccentric exercise-induced swelling, stiffness, and strength loss. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *76*(8), 744-749.

Chou, T.-Y., Nosaka, K., & Chen, T. C. (2021). Muscle damage and performance after single and multiple simulated matches in university elite female soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(8), 4134.

Clarkson, P. M. (1997). Eccentric exercise and muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, *18*(S 4), S314-S317.

Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, *81*(11), S52-S69.

Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *24*(5), 512-520.

Clifford, T., Bell, O., West, D. J., Howatson, G., & Stevenson, E. J. (2016). The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(2), 353-362.

Collins, N. (2008). Is ice right? Does cryotherapy improve outcome for acute soft tissue injury? *Emergency Medicine Journal*, *25*(2), 65-68.

Craig Jr, A. B., & Dvorak, M. (1966). Thermal regulation during water immersion. *Journal of Applied Physiology*, *21*(5), 1577-1585.

Cranston, A. W., & Driller, M. W. (2022). Investigating the use of an intermittent sequential pneumatic compression arm sleeve for recovery after upper-body exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *36*(6), 1548-1553.

de Freitas, V. H., Ramos, S. P., Bara-Filho, M. G., Freitas, D. G., Coimbra, D. R., Cecchini, R., ... & Nakamura, F. Y. (2019). Effect of cold water immersion performed on successive days on physical performance, muscle damage, and inflammatory, hormonal, and oxidative stress markers in volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(2), 502-513.

Deal, D. N., Tipton, J., Rosencrance, E., Curl, W. W., & Smith, T. L. (2002). Ice reduces edema: a study of microvascular permeability in rats. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *84*(9), 1573-1578.

Dervin, G. F., Taylor, D. E., & Keene, G. C. (1998). Effects of cold and compression dressings on early postoperative outcomes for the arthroscopic anterior cruciate ligament

reconstruction patient. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *27*(6), 403-406.

DJO AIRCAST Cryo / Cuff IC User Manual . manuals.plus. https://manuals.plus/djo/aircast-cryo-cuff-ic-manual

Doan B., Kwon, Y.-H., Newton, R., Shim, J., Popper, E., Rogers, R., Bolt, L., Robertson, M., & Kraemer, W. (2003). Evaluation of a lower-body compression garment. *Journal of Sports Sciences*, *21*(8), 601-610.

DuPont, W. H., Meuris, B. J., Hardesty, V. H., Barnhart, E. C., Tompkins, L. H., Golden, M. J., Usher, C. J., Spence, P. A., Caldwell, L. K., & Post, E. M. (2017). The effects combining cryocompression therapy following an acute bout of resistance exercise on performance and recovery. *Journal of Sports Science & Medicine*, *16*(3), 333-342.

Fu, W., Liu, Y., Zhang, S., Xiong, X., & Wei, S. (2012). Effects of local elastic compression on muscle strength, electromyographic, and mechanomyographic responses in the lower extremity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *22*(1), 44-50.

Furmanek, M. P., Słomka, K., & Juras, G. (2014). The effects of cryotherapy on proprioception system. *BioMed Research International*, *2014*(1), 696397.

Furmanek, M. P., Słomka, K. J., Sobiesiak, A., Rzepko, M., & Juras, G. (2018). The effects of cryotherapy on knee joint position sense and force production sense in healthy individuals. *Journal of Human Kinetics*, *61*(1), 39-51.

Fyfe, J. J., Broatch, J. R., Trewin, A. J., Hanson, E. D., Argus, C. K., Garnham, A. P., ... & Petersen, A. C. (2019). Cold water immersion attenuates anabolic signaling and skeletal muscle fiber hypertrophy, but not strength gain, following whole-body resistance training. *Journal of Applied Physiology*, *127*(5), 1403-1418.

Ghai, S., Nilson, F., Gustavsson, J., & Ghai, I. (2024). Influence of compression garments on proprioception: A systematic review and meta-analysis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1-22.

Goodall, S., & Howatson, G. (2008). The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *Journal of Sports Science & Medicine*, *7*(2), 235.

Hernández-Preciado, J. A., Baz, E., Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., & Santos-Concejero, J. (2018). Potentiation effects of the French contrast method on vertical jumping ability. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(7), 1909-1914.

Hill, J., Howatson, G., Van Someren, K., Leeder, J., & Pedlar, C. (2014). Compression garments

and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(18), 1340-1346.

Hirose, L., Nosaka, K., Newton, M., Laveder, A., Kano, M., Peake, J., & Suzuki, K. (2004). Changes in inflammatory mediators following eccentric exercise of the elbow flexors. *Exercise Immunology Review*, *10*(20), 75-90.

Hohenauer, E., Costello, J. T., Deliens, T., Clarys, P., Stoop, R., & Clijsen, R. (2020). Partial-body cryotherapy (− 135 C) and cold-water immersion (10 C) after muscle damage in females. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *30*(3), 485-495.

Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: a systematic review and meta-analysis. *PloS one, 10*(9), e0139028.

Høiness, P., Hvaal, K., & Engebretsen, L. (1998). Severe hypothermic injury to the foot and ankle caused by continuous cryocompression therapy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *6*(4), 253-255.

Hong, W. H., Lo, S. F., Wu, H. C., & Chiu, M. C. (2022). Effects of compression garment on muscular efficacy, proprioception, and recovery after exercise-induced muscle fatigue onset for people who exercise regularly. *Plos one*, *17*(2), e0264569.

Hosp, S., Folie, R., Csapo, R., Hasler, M., & Nachbauer, W. (2017). Eccentric exercise, kinesiology tape, and balance in healthy men. *Journal of Athletic Training*, *52*(7), 636-642.

Howatson, G., & Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, *38*(6), 483-503.

Howatson, G., Gaze, D., & Van Someren, K. (2005). The efficacy of ice massage in the treatment of exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *15*(6), 416-422.

Howatson, G., Goodall, S., & Van Someren, K. (2009). The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *105*, 615-621.

Hsieh, C.C., Nosaka, K., Chou, T.Y., Hsu, S.T., & Chen, T. C. (2022). Effects of far-infrared radiation-lamp therapy on recovery from simulated soccer match running activities in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *17*(9), 1432-1438.

Ibegbuna, V., Delis, K. T., Nicolaides, A. N., & Aina, O. (2003). Effect of elastic compression

stockings on venous hemodynamics during walking. *Journal of Vascular Surgery*, *37*(2), 420-425.

Johansson, T., Engquist, M., Pettersson, L.-G., & Lisander, B. (2005). Blood loss after total hip replacement: a prospective randomized study between wound compression and drainage. *Journal of Arthroplasty*, *20*(8), 967-971.

Kalli, K., & Fousekis, K. (2020). The effects of cryotherapy on athletes' muscle strength, flexibility, and neuromuscular control: A systematic review of the literature. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *24*(2), 175-188.

Knobloch, K., Grasemann, R., Jagodzinski, M., Richter, M., Zeichen, J., & Krettek, C. (2006). Changes of Achilles midportion tendon microcirculation after repetitive simultaneous cryotherapy and compression using a Cryo/Cuff. *American Journal of Sports Medicine*, *34*(12), 1953-1959.

Knobloch, K., Grasemann, R., Spies, M., & Vogt, P. M. (2008). Midportion achilles tendon microcirculation after intermittent combined cryotherapy and compression compared with cryotherapy alone: a randomized trial. *American Journal of Sports Medicine*, *36*(11), 2128-2138.

Kowal, M., Gieysztor, E., Kołcz, A., Pecuch, A., Borowicz, W., Dymarek, R., & Paprocka-Borowicz, M. (2022). The Acute Influence of Whole-Body Cryotherapy on Electromyographic Signals and Jumping Tasks. *Applied Sciences*, *12*(10), 5020.

Kraemer, W. J., Bush, J. A., Triplett-McBride, N. T., Koziris, L. P., Mangino, L. C., Fry, A. C., McBride, J. M., Johnston, J., Volek, J. S., & Young, C. A. (1998). Compression garments: Influence on muscle fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *12*(4), 211-215.

Kraemer, W. J., Flanagan, S. D., Comstock, B. A., Fragala, M. S., Earp, J. E., Dunn-Lewis, C., Ho, J.-Y., Thomas, G. A., Solomon-Hill, G., & Penwell, Z. R. (2010). Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(3), 804-814.

Kullenberg, B., Ylipää, S., Söderlund, K., & Resch, S. (2006). Postoperative cryotherapy after total knee arthroplasty: a prospective study of 86 patients. *The Journal of Arthroplasty*, *21*(8), 1175-1179.

Leegwater, N. C., Bloemers, F. W., de Korte, N., Heetveld, M. J., Kalisvaart, K. J., Schönhuth, C. P., Pijnenburg, B. A., Burger, B. J., Ponsen, K. J., & Maier, A. B. (2017). Postoperative continuous-flow cryocompression therapy in the acute recovery phase of hip fracture surgery: A randomized controlled clinical trial. *Injury*, *48*(12), 2754-2761.

Levy, A. S., & Marmar, E. (1993). The role of cold compression dressings in the postoperative

treatment of total knee arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*(297), 174-178.

Linnamo, V., Bottas, R., Komi. (2000). Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *10*(5), 293-300.

Mac Auley, D. C. (2001). Ice therapy: how good is the evidence? *International Journal of Sports Medicine*, *22*(05), 379-384.

Machlenkin, A., Goldberger, O., Tirosh, B., Paz, A., Volovitz, I., Bar-Haim, E., Lee, S.-H., Vadai, E., Tzehoval, E., & Eisenbach, L. (2005). Combined dendritic cell cryotherapy of tumor induces systemic antimetastatic immunity. *Clinical Cancer Research*, *11*(13), 4955-4961.

MacIntyre, D. L., Reid, W. D., & McKenzie, D. C. (1995). Delayed muscle soreness. *Sports Medicine*, *20*(1), 24-40.

Maruyama, T., Mizuno, S., & Goto, K. (2019). Effects of cold water immersion and compression garment use after eccentric exercise on recovery. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, *23*(1), 48.

Meeusen, R., & Lievens, P. (1986). The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Medicine*, *3*(6), 398-414.

Merrick, M. A., Rankin, J. M., Andres, F. A., & Hinman, C. L. (1999). A preliminary examination of cryotherapy and secondary injury in skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *31*(11), 1516-1521.

Meyer-Marcotty, M., Jungling, O., Vaske, B., Vogt, P. M., & Knobloch, K. (2011). Standardized combined cryotherapy and compression using Cryo/Cuff after wrist arthroscopy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *19*, 314-319.

Mora, S., Zalavras, C. G., Wang, L., & Thordarson, D. B. (2002). The role of pulsatile cold compression in edema resolution following ankle fractures: a randomized clinical trial. *Foot and Ankle International*, *23*(11), 999-1002.

Murgier, J., & Cassard, X. (2014). Cryotherapy with dynamic intermittent compression for analgesia after anterior cruciate ligament reconstruction. Preliminary study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *100*(3), 309-312.

Myers, B. A., Jenkins, W. L., Killian, C., & Rundquist, P. (2014). Normative data for hop tests in high school and collegiate basketball and soccer players. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *9*(5), 596-603.

Négyesi, J., Zhang, L. Y., Jin, R. N., Hortobágyi, T., & Nagatomi, R. (2021). A below-knee compression garment reduces fatigue-induced strength loss but not knee joint position sense errors. *European Journal of Applied Physiology*, *121*, 219-229.

Nunes, R. F. H., Duffield, R., Nakamura, F. Y., Bezerra, E. D. S., Sakugawa, R. L., Loturco, I., ... & Guglielmo, L. G. A. (2019). Recovery following Rugby Union matches: effects of cold water immersion on markers of fatigue and damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *44*(5), 546-556.

Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Deli, C. K., Raso, V., Jamurtas, A. Z., Giakas, G., & Koutedakis, Y. (2013). The effects of eccentric exercise on muscle function and proprioception of individuals being overweight and underweight. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(9), 2542-2551.

Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., & Koutedakis, Y. (2010). Eccentric exercise affects the upper limbs more than the lower limbs in position sense and reaction angle. *Journal of Sports Sciences*, *28*(1), 33-43.

Paulsen, G., Crameri, R., Benestad, H. B., Fjeld, J. G., Mørkrid, L., Hallén, J., & Raastad, T. (2010). Time course of leukocyte accumulation in human muscle after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(1), 75-85.

Paulsen, G., Vissing, K., Kalhovde, J. M., Ugelstad, I., Bayer, M. L., Kadi, F., ... & Raastad, T. (2007). Maximal eccentric exercise induces a rapid accumulation of small heat shock proteins on myofibrils and a delayed HSP70 response in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *293*(2), R844-R853.

Peñailillo, L., Blazevich, A., Numazawa, H., Nosaka, K. (2015). Rate of force development as a measure of muscle damage. *Journal of Medicine and Science in Sports*, *25*(3), 417-427.

Pritchard, K. A., & Saliba, S. A. (2014). Should athletes return to activity after cryotherapy? *Journal of Athletic Training*, *49*(1), 95-96.

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*. 92(4), 1651-1697.

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2016). Proprioception: The sense within. *Scientist*, *30*(9), 37-42.

Proske, U., Weerakkody, N. S., Percival, P., Morgan, D. L., Gregory, J. E., & Canny, B. J. (2003). Force-matching errors after eccentric exercise attributed to muscle soreness. *Clinical*

and Experimental Pharmacology and Physiology, *30*(8), 576-579.

Roberts, L. A., Nosaka, K., Coombes, J. S., & Peake, J. M. (2014). Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *307*(8), R998-R1008.

Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., González-Badillo, J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 38*(5), 743-762.

Rubley, M. D., Holcomb, W. R., & Guadagnoli, M. A. (2003). Time course of habituation after repeated ice-bath immersion of the ankle. *Journal of Sport Rehabilitation*, *12*(4), 323-332.

Schröder, D., & Pässler, H. (1994). Combination of cold and compression after knee surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *2*(3), 158-165.

Scurr, J. H., Smith, P. C., & Machin, S. (2001). Deep vein thrombosis in airline passengers—the incidence of deep vein thrombosis and the efficacy of elastic compression stockings. *Cardiovascular Surgery*, *9*(2), 159-161.

Sheldon, R. D., Roseguini, B. T., Laughlin, M. H., & Newcomer, S. C. (2013). New insights into the physiologic basis for intermittent pneumatic limb compression as a therapeutic strategy for peripheral artery disease. *Journal of Vascular Surgery*, 58(6), 1688-1696.

Shimokochi, Y., Kuwano, S., Yamaguchi, T., Abutani, H., & Shima, N. (2017). Effects of wearing a compression garment during night sleep on recovery from high-intensity eccentric-concentric quadriceps muscle fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31*(10), 2816-2824.

Siqueira, A. F., Vieira, A., Bottaro, M., Ferreira-Júnior, J. B., Nobrega, O. D. T., de Souza, V. C., ... & Durigan, J. L. Q. (2018). Multiple cold-water immersions attenuate muscle damage but not alter systemic inflammation and muscle function recovery: a parallel randomized controlled trial. *Scientific Reports*, *8*(1), 10961.

Smith, L. L. (1991). Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *23*(5), 542-551.

Swenson, C., Swärd, L., & Karlsson, J. (1996). Cryotherapy in sports medicine. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *6*(4), 193-200.

Torres, R., Vasques, J., Duarte, J., & Cabri, J. (2010). Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(6), 410-415.

Tremblay, F., Estephan, L., Legendre, M., & Sulpher, S. (2001). Influence of local cooling on proprioceptive acuity in the quadriceps muscle. *Journal of Athletic Training*, *36*(2), 119.

Verducci, F. M. (2000). Interval cryotherapy decreases fatigue during repeated weight lifting. *Journal of Athletic Training*, *35*(4), 422.

Waller, T., Caine, M., & Morris, R. (2006). Intermittent pneumatic compression technology for sports recovery. *The Engineering of Sport 6: Volume 3: Developments for Innovation* , 391-396.

Webb, J. M., Williams, D., Ivory, J. P., Day, S., & Williamson, D. M. (1998). The use of cold compression dressings after total knee replacement: a randomized controlled trial. *Orthopedics*, *21*(1), 59-61.

Wiecha, S., Jarocka, M., Wiśniowski, P., Cieśliński, M., Price, S., Makaruk, B., ... & Sacewicz, T. (2021). The efficacy of intermittent pneumatic compression and negative pressure therapy on muscle function, soreness and serum indices of muscle damage: a randomized controlled trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *13*, 1-10.

Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PloS one*, *10*(10), e0139801.

Wilson, L. J., Dimitriou, L., Hills, F. A., Gondek, M. B., van Wyk, A., Turek, V., ... & Cockburn, E. (2021). Cold water immersion offers no functional or perceptual benefit compared to a sham intervention during a resistance training program. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *35*(10), 2720-2727.

Yanaoka, T., Numata, U., Nagano, K., Kurosaka, S., & Kawashima, H. (2022). Effects of different intermittent pneumatic compression stimuli on ankle dorsiflexion range of motion. *Frontiers in Physiology*, *13*, 1054806.

Zhou, Y., Li, Y., Wang, R. (2011). Evaluation of exercise-induced muscle damage by surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *21*(2), 356-362.