



遠紅外線對運動後肌肉損傷恢復之影響：敘述性綜論

¹鄭立夫*

¹國立臺灣師範大學體育與運動科學學系

投稿日期：2021 年 01 月；通過日期：2021 年 05 月

摘要

當一般民眾進行不熟悉的運動、動作或運動員突然增加訓練量及強度，尤其是其中包含高強度的離心收縮；亦或是長時間的耐力性運動，容易在運動後造成細微的肌纖維損傷 (exercise induced muscle damage, EIMD) 的問題，並且會導致人體誘發延遲性肌肉痠痛、最大收縮力量下降、關節活動角度減少、運動肌群發生腫脹、本體感覺失調等現象。造成人們日常生活動作品質不佳、影響運動員的競技表現，且可能會提升受傷的機率。遠紅外線 (far-infrared ray, FIR) 在臨床醫學上已被使用做為減緩肌肉疼痛、加速術後恢復的一項處理手段。近期，有文獻提出 FIR 可做為 EIMD 的有效恢復手段之一。因此，本文收集以及整理 FIR 相關文獻，針對 FIR 介入對 EIMD 的恢復效果以及可能機轉做探討及剖析。並且提出一些建議及未來研究方向，提供給有興趣之讀者做為參考。

關鍵詞：延遲性肌肉痠痛、肌肉力量、生育光線、光療法、離心收縮

壹、緒論

當一般民眾進行不熟悉的運動或是動作或運動員突然增加訓練量及強度，尤其是其中包含大量的離心收縮，例如：阻力訓練 (如二頭彎舉的放下動作)、登山時的下坡階段或是足球員在高速行進下急停煞車、快速的方向變換等；或是進行長時間的耐力運動 (如：馬拉松)，容易在運動後造成細微的肌肉纖維損傷 (exercise-induced muscle damage, EIMD)。人體在 EIMD 後會進入到急性發炎期，並吸引嗜中性球 (Neutrophil)、巨噬細胞 (Macrophage) 至受損組織中進行細胞碎片的清除，造成發炎指標上升，如介白素-6 (Interleukin-6; IL-6) 含量上升、提升環氧合酶-2 (cyclo-oxygenase-2, COX-2) 活性以及前列腺素 E2 (prostaglandin E2, PGE2) 的合成 (陳忠慶, 2004; Armstrong, Warren, & Warren, 1991)，而 COX-2、PGE2 在人體內濃度上升會誘導人體產生痛覺敏感，被認為是導致運動後延遲性肌肉痠痛 (delay onset muscle soreness, DOMS) 的可能機制之一 (Smith, 1991)。DOMS 與一般的急性疼痛不同，其疼痛高峰期約出現在運動後第 24-72 小時之間，因 DOMS 具備明顯的臨床症狀以及方便測量等特性 (可利用觸壓運動肌群、關節被動伸展及彎曲、負重出力等方式評估)，是相關領域經常用來評估 EIMD 的指標之一 (周台英等, 2020; 陳忠慶, 2004; Clarkson & Hubal, 2002; Chen et al., 2019)。

而 EIMD 的現象可藉由超音波、核磁共振 (MRI)

以及人體肌肉活檢 (biopsy) 等方法觀察到肌原纖維被嚴重破壞、Z 線排列錯亂等現象 (Clarkson & Hubal, 2002; Raastad et al., 2010)，而當人體肌肉細胞遭受到損傷，可以觀察到最大收縮肌肉力量 (maximal voluntary contraction, MVC)、關節活動範圍 (range of motion, ROM) 以及本體感覺會有立即跟長期性的影響 (周台英等, 2020; Chen, Lin, Chen, Lin, & Nosaka, 2011; Chen et al., 2019)，而體液會堆積在損傷區域，造成肌肉及皮下組織腫脹 (swelling) 並導致肌肉圍度 (circumference) 增加等現象 (Chen et al., 2011; Chen et al., 2019; Howell, Chleboun, & Conatser, 1993; Nosaka & Clarkson, 1996)，並且伴隨著血液中蛋白質如：肌酸激酶 (creatinase kinase, CK)、乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 的濃度及活性上升 (陳忠慶、陳信良, 2005; Chen et al., 2019)。而當人體出現 EIMD 之現象時 (如：誘發 DOMS、本體感覺及 MVC 下降等)，容易造成日常生活動作品質不佳、影響運動員的訓練品質或增加比賽的受傷機率，如減少自行車選手的騎行距離、增加足球員的受傷機率等 (Burt & Twist, 2011; Dupont et al., 2010)。因此，如何加速 EIMD 後的恢復，降低運動受傷風險、增進訓練效率以及維持運動表現是目前運科人員關注的焦點之一。

運動按摩、冷水浴、冷凍艙以及電刺激是目前運科領域在 EIMD 後常使用的治療恢復手段。然而，冷凍艙造價相當昂貴，目前使用範圍大多局限於實驗

*通訊作者：鄭立夫 國立臺灣師範大學體育與運動科學學系
地址：11677 臺北市文山區汀州路四段 88 號
E-mail：BB02048888@gmail.com

室或是財力夠雄厚的運動團隊；運動按摩、冷水浴以及電刺激介入模式容易對人體產生高刺激性的不舒適感，且當治療部位具有開放性傷口時，上述的治療方式在實施方面也會相當不便。遠紅外線 (far-infrared ray, FIR) 常見於臨床醫療上被作為一種輔助治療的處理手段。其優點在於進行處理時，不易產生刺激性的不舒適感，在臨床實驗上面並無出現任何副作用，且操作簡便，一般民眾即可自行進行處理。在醫學臨床實驗方面，研究證據顯示 FIR 能有效緩解疾病、手術後引發的疼痛感 (Bagnato, Miceli, Atteritano, Marino & Bagnato, 2012; Liau et al., 2012; Wong et al., 2012)。近年來，FIR 在細胞以及動物實驗上被發現具有降低發炎反應 (如:降低 COX-2、PGE2)、抵抗氧化壓力、促進體液流動及加速細胞組織增殖等效果 (Leung, Lin et al., 2011; Leung, Lee et al., 2011; Leung, Lin, Chien, & Day, 2012; Leung, Yang et al., 2012)，且有加速傷口恢復的特性 (Yu et al., 2006)，即使在運動後出現開放性傷口時 (如：擦傷，需無出血狀態)，還能利用 FIR 進行處理。因此，針對目前 FIR 的研究結果以及其利用特性，在運動領域的近期文獻 (周台英等，2020; 許聖宗等，2016; Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2019; Nunes et al., 2020) 提出 FIR 可能可以做為一項非接觸性、且溫和的 EIMD 之恢復手段。

現今，FIR 已經廣為使用於日常生活當中並且做為輔助臨床治療的處理手段，市面上更是已有各種琳瑯滿目的 FIR 相關商品宣稱能促進疲勞恢復、減緩人體疼痛、改善肌肉僵硬等功效，而常見的產品如：將具有 FIR 射線的物質 (如:陶瓷粉末) 混入衣褲、運動護具以及項圈當中，或是中醫診所常見的 FIR 照射燈、桑拿等等，而不論何種型態的 FIR 加工品，其原理是利用自身體溫 (衣褲、項圈等) 或是通電 (照射燈具) 使陶瓷粉末加熱至一定溫度產生波長介於 4-14 μm 之 FIR 射線，進而使人體吸收產生療效。近年來，FIR 應用於運動恢復開始蔚為風潮 (周台英等，2020; Hausswirth et al., 2011; Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2019; Nunes et al., 2020)。而據本文作者所知，目前並無國內外文獻針對相關議題進行統整分析。因此，本文分為以下幾個部分進行介紹：1) FIR 的原理、潛在生理機轉及臨床功效；2) FIR 對運動後肌肉損傷之影響；3) 結論、實際應用與未來研究。

貳、方法

使用 MEDLINE、PubMed、Google Scholar、華義圖書館等數據庫進行線上檢索。關鍵字以布林邏輯，使用連接詞 or、and 等組合搜索相關研究。以下字詞為本文以布林邏輯組合之搜索詞：far-infrared rays、delayed-onset muscle soreness、muscle pain、muscle strength、growth ray、phototherapy、eccentric contractions、inflammation、exercise induced muscle damage、muscle fibers、exercise recovery、exercise performance、遠紅外線、延遲性肌肉痠痛、離心收縮、

運動後肌肉損傷、運動恢復、肌肉力量、發炎反應、運動表現。

二、納入及排除條件

根據以下條件將研究納入本文討論範圍內：1) 英文或是中文全文；2) 經過同儕審查 (peer review) 的期刊論文；3) FIR 波長介於 4-14 μm 之間 (界定此波長範圍之原因請見本文第參章、第一節：FIR 的原理與對人體之生物效應)。而研討會論文、海報、演講以及學位論文則排除在外。

參、FIR 的原理、潛在生理機轉及臨床功效

一、FIR 的原理與對人體之生物效應

在電磁波光譜當中，依能量的高低可區分為兩種輻射。其中，游離輻射 (ionizing radiation) 會導致物質原子產生電子直接或是間接的游離作用，而另一種則是能量不足以造成原子之電子產生離子或自由基的，被稱為非游離輻射 (nonionizing radiation) (Ranger, 1999)。而紅外線因其能量較低，故其屬於非游離輻射的一種，根據國際照明委員會 (International Commission on Illumination, [CIE]) 與相關文獻的定義，FIR 是一種波長介於 3-1000 μm 之不可見光 (<http://www.cie.co.at/eilv/580; Sliney, 2007>)。

人類的身體組成中水分佔了 70%，在血液與軟組織中更可高達 80% 以上，是佔人體細胞組織比例最高的成分，而水分子最有效的 FIR 吸收波長為 6.27 μm ；另外一方面，人體細胞膜上的磷脂質、蛋白質及醣類等，其吸收平均波長範圍介於 4-14 μm 之間，因此人體組織能夠有效吸收此範圍 FIR 的能量，而在波長落在此區段 (4-14 μm) 的 FIR 在相關文獻當中又被稱為生育光線 (growth ray) (許聖宗、劉于銓、黃琮濱，2016; Leung, Lee, Tsai, Chen & Chao, 2011)。也因為 FIR 的波段落於生育光線的波段 (4-14 μm) 容易被人體吸收，因此，這也是為何目前 FIR 為人們所廣泛使用的原因。

人體在吸收 FIR 之後可引發兩個主要的生物效應，即熱效應以及非熱效應。熱效應為組織中分子的振動或轉動能階躍遷之能量差與紅外線光子能量發生共振效應 (resonance)，使得分子振動或轉動，隨後釋出熱能，並達到血管擴張的效果 (Vatansever & Hamblin, 2012)。非熱效應是 FIR 最主要的治療效果來源，其可促使大水分子團產生共振，進而導致水分子與水分子之間的氫鍵斷裂，使大水分子團變成獨立細小水分子，使得小水分子容易進入細胞內，促進生物化學反應之進行 (如:紅血球膜電位、膜流動性與細胞變形能力) (Yu et al., 2006)，並可以造成生物的生化反應分子濃度提高或活性改變，如:提升細胞一氧化氮 (nitric oxide, NO) 濃度 (Leung et al., 2009)、抑制發炎物質產生 (Leung, Lin et al., 2012) 亦可造成皮膚血管擴張促進微循環之效果 (Yu et al., 2006)。

二、FIR 潛在生理機轉

根據一系列基礎實驗的研究結果顯示，FIR 可能

具備加速細胞增殖、提升抗氧化能力以及減緩發炎反應等潛在功效 (Leung, Lin et al., 2011; Leung, Lee et al., 2011; Leung, Lin et al., 2012; Leung, Yang et al., 2012)。Leung, Lee et al. (2011) 使用老鼠骨骼肌細胞 (C2C12), 並讓細胞處在過氧化氫 (H₂O₂) 的環境下, 以 FIR 陶瓷粉末 (波長: 6-14 μ m) 照射處理 24 小時之後進行觀察, 研究結果顯示經過 FIR 照射後能顯著提升細胞增殖的數量。Leung, Lin et al. (2011) 另外一項研究則顯示小鼠巨噬細胞 (RAW264.7) 在經過 FIR 的照射處理之後, 能有效清除過氧化氫在細胞中的含量 (少於控制組 12.23%)。而在後續的研究當中, 相同的研究團隊也發現 FIR 能夠顯著提升老鼠胚胎纖維細胞 (NIH 3T3) 中 NO 的產生量; 並將小鼠成骨細胞 (MC3T3-E1) 同樣以過氧化氫處理測試細胞在氧化壓力下的反應, 結果顯示在 FIR 照射之下的細胞在 24 小時之後存活率明顯高於控制組 (未經過 FIR 處理), 同時也觀察到 FIR 能顯著降低 LDH 的含量 (Leung, Lin et al., 2012)。另外一方面, Leung, Lin et al. (2012) 的細胞研究中也觀察到 FIR 能有效控制發炎疼痛相關物質產生, 其利用脂多醣 (lipopolysaccharide, LPS) 誘發軟骨細胞 (SW1353) 產生 COX-2, 並在 24 小時之後測量 COX-2 的數量, 發現 FIR 組能有效抑制 COX-2 的產生。有趣的是, 後續 Leung et al. (2013) 的細胞實驗也進一步證實 FIR 潛在的消除發炎、減緩疼痛效果, 同樣使用脂多醣誘導軟骨細胞 (SW1353) 及小鼠巨噬細胞 (RAW264.7) 產生發炎反應, 觀察到 FIR 能同時減少這兩種細胞的 COX-2 的產生數量, 並進一步發現能抑制軟骨細胞 (SW1353) 後續 PGE₂ 的合成。

在動物實驗方面, Yu et al. (2006) 讓大鼠腹部各進行 30、45 及 60 分鐘 FIR 照射過後, 皆能增加腹部皮膚血液量並且促進大鼠腹部皮膚微循環效應, 這些效果在 FIR 照射結束後最多可維持長達 60 分鐘之久。除此之外, Leung, Lee et al. (2011) 將同一隻青蛙的雙腿隨機分派至 FIR 組及控制組 (一側進行 FIR 照射, 另一側則無任何治療介入), 針對青蛙的腓腸肌進行電刺激 (electro-stimulation) 至完全疲勞, 並比較兩組到達完全疲勞時的肌肉收縮次數以及電刺激結束後 20 分鐘的 pH 值, 結果顯示 FIR 組的收縮次數 (26.58 \pm 17.28 次) 顯著高於控制組 (19.07 \pm 13.93 次), 兩組 pH 值的比較則是接近統計學上的顯著水準 (FIR : 6.29 \pm 0.14 vs 控制組 : 6.22 \pm 0.17, $p = 0.067$), 顯示 FIR 可能也具有減少骨骼肌急性疲勞的潛在作用。

綜合本節研究結果, FIR 可以降低 COX-2、抑制 PGE₂, 可能具有減緩 DOMS 的功效。並且可以加速過氧化氫的清除、細胞增殖, 顯示 FIR 對於肌肉修復的潛在功效。另外, 增加血流量則可能可以加速人體組織的恢復。

三、FIR 的臨床應用功效

FIR 目前是一種臨床及實務上經常使用的一種治療介入, 在相關臨床實驗也有證據顯示 FIR 能有效緩

解疾病、手術後引發的疼痛感 (Bagnato et al., 2012; Liao et al., 2012; Wong et al., 2012)。Wong et al. (2012) 讓全膝關節置換手術的患者, 在進行膝關節置換手術後第三天起連續接受連續五天 (每天 15 分鐘) 手術膝關節部位四處穴位 (上巨虛、條口、下巨虛及豐隆) 之 FIR 治療墊處理, 並在手術後第三天 (前測) 及第八天 (後測) 進行 IL-6、內皮素 (endothelin-1, ET-1) 及疼痛感 (numeric rating scale, NRS) 測量, 結果顯示接受 FIR 處理的相關發炎指標 [IL-6 (0.2 pg/ml)、ET-1 (0.03pg/ml) 及手術後的疼痛感 (NRS, 3.7 A.U.)] 明顯比控制組顯著降低 [IL-6 (0.5 pg/ml)、ET-1 (0.11 pg/ml) 和 NRS (4.1 A.U.)]。Liao et al. (2012) 讓患有原發性經痛 (primary dysmenorrhea) 的女性在腹部裹上具有 FIR 射線 (波長: 4-14 μ m) 的腰帶進行 30 分鐘的處理, 結果顯示單次三十分鐘 FIR 介入即能有效改善經痛感 (NRS, 治療前: 4.57 \pm 1.83; 治療後: 1.62 \pm 1.62 A.U.)、並提升腹部溫度 (治療前: 34.6 \pm 1.2 $^{\circ}$ C; 治療後: 37.5 \pm 1.2 $^{\circ}$ C), 並且觀察到腹部血流量平均上升 48.7 \pm 49.7%。而一項隨機單盲的實驗將患有膝關節骨關節炎 (osteoarthritis) 的老年人戴上具有 FIR 射線的石膏 (控制組為一般石膏), 每位受試者都將進行為期四周的治療 (每周 5 天, 每天 12 小時), 採用主觀疼痛量表 (visual analog scales, VAS) 評估疼痛感覺的變化, 實驗結果發現在第一周治療結束時 FIR 組 VAS 評分下降的程度已明顯大於控制組, 在整個治療程序結束後 (第四周), FIR 組的疼痛感覺持續下降而控制組則維持不變 (Bagnato et al., 2012)。另外, 近期有研究以運動療法結合 FIR 處理, 觀察對臨床患者的處理效果 (Salm et al., 2019)。Salm et al. (2019) 招募 28 名患有纖維肌痛症 (fibromyalgia syndrome) 的女性受試者, 所有受試者皆進行連續 6 週 (每週 3 次) 水中運動 (Aquatic exercise, AE), 而受試者須每日穿上 6~8 小時的 FIR 上衣 (波長 9-11 μ m; AE+FIR 組) 或是一般的上衣 (AE+Placebo 組)。其結果指出僅 AE+FIR 組的 VAS 評分在六周後有明顯下降。另外, 在纖維肌痛影響問卷 (fibromyalgia impact questionnaire, FIQ) 的評分項目如: 疼痛、僵硬、整體感覺的評分, 在六周後僅在 AE+FIR 組觀察到明顯改善的現象 (疼痛: 9.2 \pm 0.9 \rightarrow 7.0 \pm 2.7 A.U.; 僵硬: 8.3 \pm 2.1 \rightarrow 5.2 \pm 3.6 A.U.; 整體感覺: 71.2 \pm 15.3 \rightarrow 60.7 \pm 16.7 A.U.)。

在人體的臨床試驗中可發現到 FIR 能緩解各種病狀帶來的疼痛感, 並具有減少發炎物質之功效 (如: IL-6)。另外, 也發現到 FIR 可以降低人體 ET-1 的濃度, 顯示 FIR 可能具有增進人體血管舒張、促進血液循環之功效。因此, FIR 似乎可以作為 EIMD 後, 減緩 DOMS、促進血液循環加速組織修復的有效手段之一。

肆、FIR 對運動後肌肉損傷之影響

FIR 的特點為其原料為陶瓷粉末, 因此可混合進不同的材質進行恢復處理, 常見的如: 燈具、衣物、

項圈、貼布等等，因此在使用上可以根據個人需求做選擇。而本文根據目前 FIR 在 EIMD 恢復效果方面的文獻，經彙整後將本章節分為「FIR 燈具」、「FIR 衣

物」對 EIMD 的恢復效益做討論，各相關文獻整理請見表 1。

表 1 遠紅外線對運動恢復的效益

作者 (年代)	參與者 (年齡)	實驗設計	運動模式	FIR 恢復模式	主要結果
周台英等人 (2020)	18 名有運動習慣成年女性 (21 ± 1 歲)	雙盲設計，隨機分配至 FIR 組(n=9) 以及 sham 組 (n=9)	肘屈肌群進行 72 次最大等速離心收縮 x	運動後立即、24、48、72 小時各進行 30 分鐘 FIR 燈照射 (波長：8–14 μm)	FIR 組的 DOMS、本體感覺恢復速度皆快於 sham 組
Hauswirth et al. (2011)	9 名良好訓練的長跑者 (31.8 ± 6.5 歲)	組內設計，受試者皆須進行冷水浴、FIR 治療以及被動恢復 (CON)。每次實驗間隔 1 個月。	48 分鐘的模擬越野跑。上坡跑、下坡跑各 15 分鐘，水平跑	運動後立即、24、48 小時各進行 30 分鐘全身 FIR 燈照射 (波長：4–14μm)	FIR 組 DOMS 在第 48 小時減緩，MVC 在第 24 小時顯著恢復。CON 則無顯著恢復效果。
Loturco et al. (2016)	21 名男性足球員 (19.5 ± 0.8 歲)	雙盲設計，隨機分配至 FIR 組(n=11) 以及 PLA 組 (n=10)	連續 100 次落地跳	連續三天，每天晚上 10 點至隔天早上 8 點穿上 FIR 褲子 (波長：5-20 μm)	FIR 組第 72 小時已無明顯 DOMS 症狀，PLA 組仍未恢復。
Nunes et al. (2019)	22 名有運動習慣的年輕男性 (25.7 ± 3.8 歲)	雙盲設計，隨機分配至 FIR 組(n=11) 以及 PLA 組 (n=11)	膝伸肌群 90 次最大等速離心運動	運動後第 2、22、46、70 小時穿上 FIR 褲子，各進行 30 分鐘的治療 (波長：9-11 μm)	MVC、DOMS、CK、LDH 兩組間無顯著差異。
Nunes et al. (2020)	20 名五人制足球菁英等級球員 (24.0 ± 4.7 歲)	雙盲設計，隨機分配至 FIR 組(n=10) 以及 PLA 組 (n=10)	2 週季前訓練期	周一至周五，受試者每天晚上 10 點到隔天早上 7 點穿上 FIR 褲子 (波長：9–11 μm)	FIR 組第一週 s-RPE 顯著低於 PLA 組。

註：FIR 組=遠紅外線組 (far infrared ray group)。sham 組=偽處理組 (sham group)。PLA 組=安慰劑組 (placebo group)。CON 組=控制組 (control group)。DOMS=延遲性肌肉痠痛 (delayed-onset muscle soreness)。MVC=最大收縮力量 (maximal voluntary contraction)。CK=肌酸肌酶 (creatinase)。LDH=乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase)。S-RPE=訓練衡量 (session-RPE)。

一、FIR 燈具的恢復效果

FIR 燈具通常是使用通電的方式加熱陶瓷粉末，使其能照射出 FIR 射線至患部進行治療，其優勢為加熱源能保持在設定溫度，使 FIR 射線的波長能穩定介於 4-14 μm 之間，確保人體能持續吸收。然而劣勢也在於燈具需穩定電源，因此能利用的場合較為受限。處理期間，患者須保持固定姿勢讓 FIR 射線能持續照射至患部，對於患者來說也較為不便。目前相關文獻對於上肢以及下肢肌群的照射時間皆控制於每日 30 分鐘 (周台英等, 2020; Hausswirth et al., 2011)，而對於 EIMD 的恢復效果則是呈現正面的效益。以下針對相關文獻進行講解。

Hausswirth et al. (2011) 為目前已知最早將 FIR 應用於運動恢復領域的文獻，其利用跑步機模擬越野賽跑的運動模式，讓具有長期訓練經驗 (每周 4 次訓練，並定期參與馬拉松、越野賽跑， $\text{VO}_{2\text{max}}$: 62 ± 3.9 [ml.min⁻¹.kg⁻¹]) 的長跑選手先進行水平坡度跑 6 分鐘，其後，再進行上坡跑 (+10o)、下坡跑 (-15o) 各 15 分鐘以及水平跑 12 分鐘 (3 分鐘上坡跑完換 3 分鐘下坡跑，之後再 3 分鐘水平跑，交替 4 次)，總計 48 分鐘的模擬越野賽跑後立即以及第 24、48 小時，分別各進行一次 30 分鐘的全身 FIR 照射 (4 - 14 μm)、全身冷凍療法 (whole-body cryotherapy) 或被動恢復 (passive recovery)，並在運動後第 1、24、48 小時進行後測，結果發現 FIR 組在運動後第 48 小時，有減緩 DOMS、降低 CK 的效果；MVC 則是在運動後第 24 小時有顯著恢復的現象。然而，Hausswirth et al. (2011) 實驗設計為組內設計，每次實驗介入中間間隔 1 個月 (等於實驗開始至結束需耗時至少 2 個月)，受試者在整個實驗期間僅保持低強度的訓練，因此，能否維持在相同的體能狀態參與每次實驗介入，作者並沒有提出數據以及討論；另外，離心收縮 (下坡跑) 可能會導致受試者誘發重複訓練效應 (repeated bout effect, RBE)(Chen et al., 2019)，讓人體對於 EIMD 產生適應現象，可能影響後續實驗介入的肌肉損傷程度。

另外，周台英等人 (2020) 招募 18 名有運動習慣的成年女子，並以隨機分派方式將受試者分為 FIR 組以及偽處理組 (sham group)，兩組皆進行 72 次肘屈肌群最大離心收縮，並使用雙盲設計的方式，讓受試者在運動後立即、第 24、48、72 小時連續四天進行各 30 分鐘的 FIR 燈具 (波長:8 - 14 μm) 照射或是偽處理介入。其實驗結果發現在離心收縮後第 24 小時 FIR 組 DOMS 的誘發程度即顯著低於偽處理組 (VAS: 44.2 ± 17.3 vs 75 ± 15.9 mm)，且 FIR 組 DOMS 在運動後第 96 小時即完全恢復，偽處理組則到第 120 小時才恢復。而在本體感覺測驗的恢復狀態，FIR 組的位置覺、關節釋放角度在運動後第 24 小時、120 小時完全恢復，偽處理組位置覺在第 96 小時恢復，關節釋放角度則直到第 120 小時仍未恢復，且 FIR 組在運動後 24-120 小時的本體感覺精準度皆明顯優於偽處理組

(周台英等人, 2020)，顯示 FIR 介入有助於肘關節本體感覺判斷的恢復。然而，必須注意的是，其依變項並未納入 EIMD 的代表性指標 (如: MVC、肌肉穿刺等)，因此並無法區別其 FIR 組與偽處理組之間是否誘發相同程度的 EIMD。而總結來說，在運動後立即以及後續幾天進行每天 30 分鐘 FIR 燈具的介入處理，對於 EIMD 的恢復有著正面的效益。

二、FIR 衣物的恢復效果

不同於燈具的受限場地、患者需維持固定姿勢等限制。將 FIR 陶瓷粉末混合進衣物，再利用人體自身體溫使衣物升溫進而產生 FIR 射線。優勢在於日常生活當中即可穿著進行介入處理，而根據目前的文獻證據顯示可以長時間穿著 (每日十小時)，而不會造成任何副作用以及不適感 (Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2020)。然而，目前的研究設計可能受到 FIR 介入的時間點、時間長度等因素影響，導致實驗結果的差異。本節蒐集、統整相關文獻資料供讀者了解現今 FIR 衣物的效果。

Loturco 等 (2016) 以 21 名巴西男性足球選手做為研究對象，在連續進行 100 次增強式運動 [落地跳 (drop jump)] 之後，讓受試者連續 3 天、每天 10 小時穿上混合 FIR 陶瓷粉末 (波長: 5-20 μm) 的褲子 (每天晚上 10 點至隔日早上 8 點)，其結果顯示兩組的大腿圍度、CK、最大腿推舉力量、深蹲跳 (squat jump, SJ)、下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 在運動後立即、24、48 以及 72 小時皆無顯著差異。然而，在 DOMS 方面的統計結果同樣沒有組間差異，但在運動後第 72 小時 FIR 組已沒有明顯 DOMS 現象，而控制組仍然存在酸痛感覺，另外在 FIR 組 DOSM 在第 48、72 小時的恢復效果量 (effect size, ES) 分別有 0.74 與 0.85，Loturco 等 (2016) 指出這樣的實驗結果顯示 FIR 仍具有減緩 DOMS 的效果存在。然而，有一點需要注意，在 Loturco 等 (2016) 的實驗設計當中，增強式運動介入與第一次進行 FIR 處理之間的時間間隔為 6 小時，因而 Loturco 等 (2016) 提出在間隔 6 小時當中某些促發炎的調節物質 (如: interleukin-1, IL-1) 在肌肉組織中的濃度可能已經提高，可能是造成 FIR 處理的恢復效果不明顯的原因之一。另外，在此篇研究的神經肌肉觀察指標方面: 最大腿推舉力量、SJ、CMJ 的表現，在增強式運動後皆沒有出現表現下降的現象，顯示出 Loturco 等 (2016) 介入手段 (100 次增強式運動) 所設定運動強度對其實驗參與者 (男性足球選手) 的刺激明顯不足，進而無法誘發足夠的 EIMD，可能無法觀察到 FIR 介入的真實恢復效果。另外，Nunes 等 (2019) 將 22 名有運動習慣的年輕男性，隨機分派至 FIR 組及安慰劑組 (Placebo)，兩組皆進行下肢膝伸肌群 (knee extensors) 90 次最大等速離心運動，並在離心收縮後第 2 小時以及每個後測觀察時間點 (運動後第 24、48、72 小時) 的前 2 個小時，穿著具有 FIR 輻射 (波長:9 - 11 μm) 或是無 FIR 輻射 (安慰劑組) 的

褲子進行 30 分鐘的處理 (如:後測在第 24 小時, 即在第 22 小時進行 FIR 治療)。結果顯示兩組 DOMS、MVC、CK 以及 LDH 的變化情形在運動後立即、第 24、48 以及 72 小時皆無發現顯著差異。需注意的是, Nunes 等 (2019) 第一次進行 FIR 時與運動結束時間隔 2 小時, 其實驗設計可能發生與 Loturco 等 (2016) 相同的問題: 錯過運動急性發炎期的黃金治療時間。

另外一方面, Nunes 等 (2020) 以 20 名五人制足球 (Futsal) 菁英等級球員 (至少五年訓練、比賽經驗) 為實驗對象, 探討在季前期 (pre-season) 使用 FIR 褲子 (波長: 9 - 11 μm) 介入, 對於運動員神經肌肉功能、生化指標的影響。其實驗設計將足球員分為 FIR 組以及安慰劑組, 在季前期第 1 (week 1)、2 週 (week 2) (訓練前一週為熟悉期以及基準值測量) 的周一至周五, 兩組的受試者在每天晚上 10 點到隔天早上 7 點之間穿上型號、材質、彈性皆相同的褲子 8 小時 (安慰劑組的褲子無 FIR 射線)。所有實驗參與者每週訓練課表皆相同 (周一至周五每天早上以及下午各會有 1 次訓練, 每週總計 10 次訓練, 平均訓練時間 90~120 分鐘), 訓練內容包括: 阻力訓練、核心訓練、循環訓練、高強度間歇、衝刺訓練、柔軟度訓練、專項技戰術訓練、小組對戰、友誼賽 (本文僅列出主要項目, 訓練細節請參閱 Nunes et al., 2020 的文獻內容)。每週的周六早上進行神經肌肉指標、發炎反應測量, DOMS 在每次訓練之前進行測量 (指早上以及下午訓練前皆會測量) 並以 RPE 訓練衝量法 (session-RPE, s-RPE) 紀錄球員每週的訓練壓力。結果顯示 SJ、CMJ 以及 5、10、15 公尺衝刺皆沒有發現到顯著交互作用, 但 SJ、CMJ 以及 10 公尺分別在第 2 週 (ES=0.38)、第 1 週 (ES=0.26)、第 1 週 (ES=-0.35) 有低效果量。而在 DOMS 則發現到時間因子有達統計上的差異, 其效果量顯示 FIR 組可能有更快的恢復作用 (如: 第六次訓練 = -0.56、第 8 次訓練 = -1.02)。而介白素-10 (interleukin 10, IL-10) 在第 1 週 (ES=0.48) 及的第 2 週 (ES=0.45) 皆顯示兩組間有低效果量存在。值得注意的是, 在第 1 週的 s-RPE 結果顯示 FIR 組明顯比控制組低 (3565.3 ± 582.3 vs 4226.2 ± 491.9 A.U; $p = 0.021$), 但在第二周時兩組之間即沒發現到明顯差異。以上述實驗結果來看, 菁英足球員穿著 FIR 褲子可能有潛在恢復運動表現的功能, 且有助於降低自我感知的訓練壓力並加速痠痛緩解, 尤其是在訓練量大幅提升的前期階段 (季前期第一週)。

三、本章總結

目前 FIR 處理應用在 EIMD 後恢復的文獻來看, 主要可以區分為兩種介入型態: 1) FIR 照射燈具; 2) 具有 FIR 射線的衣物 (如: 褲子)。從周台英等 (2020)、Hausswirth 等 (2011) 的實驗結果方面來看, FIR 燈具在運動後每天照射 30 分鐘, 能有效減緩人體誘發 DOMS 的狀況。而 FIR 衣物目前的文獻結果 (Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2019), 需每天穿上 9 小時才

可能有減緩 DOMS 的效果。因此, 以使用時間來看, 燈具比起衣物是較為有效率的使用型態 (每日 30 分鐘 vs 8-9 小時)。但衣物可在平日或是就寢時使用, 較不受限制, 其便利性較高。不過每個研究的運動介入模式、受試者性質的差異、依變項的選取或測量方式不同, 使得不同研究之間難以直接比較其恢復效果。

需要注意的是, 目前使用 FIR 衣物做為介入手段的文獻, 其運動介入到 FIR 處理至少都間隔 2 小時以上 (Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2019), 是否因此錯過急性發炎期的治療而造成 FIR 的效果不佳, 仍需要未來的研究證據去佐證。而 FIR 的相關研究大多以運動員以及具有運動習慣的人群作為介入對象, 因此, 目前的實驗結果無法直接推論至無運動習慣者或是老年人身上。另外, 相關研究的受試者招募人數普遍偏少 ($n < 30$), 也是未來研究需要特別注意的一點。

肆、結論、實際應用與未來研究

一、結論

以基礎研究 (細胞、動物) 的實驗數據來看, FIR 具有抗發炎、降低氧化壓力以及加速組織增生的潛在功效。而在臨床介入的應用層面來看, FIR 在人體上也發現可以抑制術後、疾病所引發的疼痛感, 並且能降低發炎物質 (如: IL-6)、促進血管擴張 (抑制 ET-1) 等功效。

目前針對 EIMD 恢復的研究成果, 可以整合、歸納出下列結論: 1. 在運動後立即、運動後 2-3 天, 每天以 FIR 燈具照射 30 分鐘, 可以減緩 DOMS 產生、加速本體感覺 (肱二頭肌)、MVC (股四頭肌) 恢復; 2. 若以 FIR 衣物做為介入手段, 目前在單次運動後的文獻證據方面, 仍未證實具有加速 EIMD 後恢復的效果 (雖然可能有減緩 DOMS 的功效; Loturco et al., 2016); 3. 長期使用 FIR 衣物 (2 週), 精英足球員在季前期, 每天穿上 8 小時的 FIR 褲子, 在訓練初期可以減少球員自我感知的訓練壓力、加速緩解肌肉痠痛感, 並可能有助於維持運動表現。

二、實際應用

FIR 其具備不刺激、無侵入且可不直接碰觸人體進行介入等特性, 另外也可以將 FIR 物質混入日常衣物、運動項圈等, 相比較起傳統上的 EIMD 恢復方式 (運動按摩、冷水浴等) 更加便利且也能夠進行長時間的處理 (如: FIR 衣物)。FIR 燈具方面較為適合在運動後立即進行處理, 應用時注意事項為不可過於遠離或是靠近燈源照射處, 會影響 FIR 射線照射至患部的效率或是造成低溫灼傷, 建議距離為 15-20 公分。而照射時間持續至少 30 分鐘以上才具有恢復功效。而 FIR 衣物適合於無訓練或是就寢時使用, 過程應保持衣物乾燥以免影響恢復效果。而 FIR 穿透力極差, 使用時應避免有任何物品遮蔽住身體。波長方面也需特別注意, 介於 4-14 μm 之間 FIR 射線人體才能有效並利用。最後, 傷口有出血狀況或是被細菌感染者則

不建議使用，除此之外並無其他副作用，只要遵循以上注意事項，即可由一般民眾進行操作。

三、未來研究

目前 FIR 應用於運動恢復的研究，招募的受試者為足球員或是有運動習慣的年輕人。基於 Raastad 等 (2010) 的實驗結果指出訓練狀態、運動習慣會影響人體 EIMD 的嚴重程度，因而目前 FIR 的研究結果 (周台英等人, 2020; Hausswirth et al., 2011; Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2019) 難以推論至一般人，建議未來研究可針對一般人、或是老年人觀察 FIR 的處理效果進行探討。值得注意的是，目前 FIR 相關研究當中，以 FIR 衣物做為介入手段的研究，基本上都是在運動結束後 2 小時以上才進行處理，而不同時間間隔是否會影響 FIR 的效果，仍有待探究 (如：急性發炎反應)。另外，目前 FIR 對於 EIMD 的潛在恢復機制，仍依靠先前的細胞、動物實驗做推論，然而，對於人體的可能潛在因素為何？仍然有待未來的研究做剖析 (如：肌肉穿刺)。FIR 具有提升人體溫度 (Liau et al., 2012)、促進血液循環 (Wong et al., 2012; Yu et al., 2006) 等功效，未來可能可以發展為賽前暖身、中場休息再熱身的輔助策略之一。最後，目前的研究設計，招募受試者人數皆偏少 (各文獻平均每組 9-11 人)，未來相關研究需注意人數的問題。

陸、參考文獻

- 周台英、謝忠展、曾國維、曾暉晉、許聖宗、陳忠慶、鄭立夫 (2020)。遠紅外線照射對消除延遲性肌肉酸痛與本體感覺恢復之效果評估。《體育學報》，2(53)，235-250。doi: 10.6222/pej.202006_53(2).0007
- 陳忠慶 (2004)。運動引起肌肉損傷的原因之探討。《運動生理暨體能學報》，1，19-23。doi: 10.6127/JEPF.2004.01.03
- 陳忠慶、陳信良 (2005)。離心運動對血液肌肉蛋白質評估指標的反應。《運動生理暨體能學報》，2，1-17。doi: 10.6127/JEPF.2005.02.01
- 許聖宗、劉于銓、黃琮濱 (2016)。遠紅外線照射對骨骼肌之影響。《中華體育季刊》，3(30)，185-192。doi: 10.3966/102473002016093003004
- Armstrong, R. B., Warren, G. L., & Warren, J. A. (1991). *Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. Sports Medicine*, 12(3), 184-207. doi: 10.2165/00007256-199112030-00004
- Burt, D. G., & Twist, C. (2011). The effects of exercise-induced muscle damage on cycling time-trial performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2185-2192. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e86148
- Bagnato, G. L., Miceli, G., Atteritano, M., Marino, N., & Bagnato, G. F. (2012). Far infrared emitting plaster in knee osteoarthritis: a single blinded, randomised clinical trial. *Reumatismo*, 64(6), 388-394. doi: 10.4081/reumatismo.2012.388
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(11), 52-69. doi: 10.1097/01.PHM.0000029772.45258.43
- 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(2), 211-223. doi: 10.1007/s00421-010-1648-7
- 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. doi: 10.1111/sms.13388
- Dupont, G., Nedelec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S., & Wisløff, U. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *The American journal of sports medicine*, 38(9), 1752-1758. doi: 10.1177/0363546510361236
- Howell, J. N., Chleboun, G., & Conatser, R. (1993). Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans. *The Journal of Physiology*, 464(1), 183-196. doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019629
- Hausswirth, C., Louis, J., Bieuzen, F., Pournot, H., Fournier, J., Filliard, J. R., & Brisswalter, J. (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PloS One*, 6(12), e27749. doi: 10.1371/journal.pone.0027749
- Leung, T. K., Lin, J. M., Chien, H. S., & Day, T. C. (2012). Biological effects of melt spinning fabrics composed of 1% bioceramic material. *Textile Research Journal*, 82(11), 1121-1130. doi: 10.1177/0040517512439917
- Leung, T. K., Liu, Y. C., Chen, C. H., Fang, H. N., Chen, K. C., & Lee, C. M. (2013). In vitro cell study of the possible anti-inflammatory and pain relief mechanism of far-infrared ray emitting ceramic material. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 33(2), 179-184. doi: 10.5405/jmbe.1029
- Leung, T. K., Lin, Y. S., Chen, Y. C., Shang, H. F., Lee, Y. H., Su, C. H., ... & Chang, T. M. (2009). Immunomodulatory effects of far-infrared ray irradiation via increasing calmodulin and nitric oxide production in raw 264.7 macrophages. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 21(05), 317-323. doi: 10.4015/S1016237209001404

- Leung, T. K., Lin, Y. S., Lee, C. M., Chen, Y. C., Shang, H. F., Hsiao, S. Y., ... Chao, J. S. (2011). Direct and indirect effects of ceramic far infrared radiation on the hydrogen peroxide-scavenging capacity and on murine macrophages under oxidative stress. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 31(5), 345-351. doi: 10.5405/jmbe.777
- Leung, T. K., Lee, C. M., Tsai, S. Y., Chen, Y. C., & Chao, J. S. (2011). A pilot study of ceramic powder far-infrared ray irradiation (cFIR) on physiology: Observation of cell cultures and amphibian skeletal muscle. *Chinese Journal of Physiology*, 54(4), 247-254. doi: 10.4077/CJP.2011.AMM044
- Leung, T. K., Yang, J. C., & Lin, Y. S. (2012). The physical, chemical and biological effects by room temperature ceramic far-infrared ray emitting material irradiated water: A pilot study. *Journal of Chinese Chemical Society*, 59(5), 589-597. doi: 10.1002/jccs.201100491
- Loturco, I., Abad, C. C. C., Nakamura, F. Y., Ramos, S. D. P., Kobal, R., Gil, S., ... & Tricoli, V. (2016). Effects of far infrared rays emitting clothing on recovery after an intense plyometric exercise bout applied to elite soccer players: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Biology of Sport*, 33(3), 277-283. doi: 10.5604/20831862.1208479
- Liau, B. Y., Leung, T. K., Ou, M. C., Ho, C. K., Yang, A., & Lin, Y. S. (2012). Inhibitory effects of far-infrared ray-emitting belts on primary dysmenorrhea. *International Journal of Photoenergy*, vol. 2012, Article ID 238468, 6 pages, 2012. doi: 10.1155/2012/238468
- Nosaka, K., & Clarkson, P. M. (1996). Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(8), 953-961. doi: 10.1097/00005768-199608000-00003
- Nunes, R. F., Cidral-Filho, F. J., Flores, L. J., Nakamura, F. Y., Rodriguez, H. F., Bobinski, F., ... & Martins, D. F. (2020). Effects of far-infrared emitting ceramic materials on recovery during 2-week preseason of elite futsal players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(1), 235-248. doi: 10.1519/JSC.0000000000002733
- Nunes, R. F. H., Dittrich, N., Duffield, R., Serpa, M. C., Coelho, T. M., Martins, D. F., & Guglielmo, L. G. A. (2019). Effects of Far-Infrared Emitting Ceramic Material Clothing on Recovery After Maximal Eccentric Exercise. *Journal of Human Kinetics*, 70(1), 135-144. doi: 10.2478/hukin-2019-0028
- Ranger, N. T. (1999). Radiation detectors in nuclear medicine. *Radio Graphics*, 19 (2), 481-502. doi: 10.1148/radiographics.19.2.g99mr30481
- Raastad, T., Owe, S. G., Paulsen, G., Enns, D., Overgaard, K., Cramer, R., ... & Hallén, J. (2010). Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 86-95. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181ac7afa
- 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. doi: 10.1249/00005768-199205001-00849
- Sliney, D. H. (2007). Radiometric quantities and units used in photobiology and photochemistry: Recommendations of the Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination). *Photochemistry and Photobiology*, 83(2), 425-432. doi: 10.1562/2006-11-14-RA-1081
- Salm, D. C., Belmonte, L. A. O., Emer, A. A., dos Santos Leonel, L., de Brito, R. N., da Rocha, C. C., ... & Kwiecinski, M. R. (2019). Aquatic exercise and Far Infrared (FIR) modulates pain and blood cytokines in fibromyalgia patients: A double-blind, randomized, placebo-controlled pilot study. *Journal of Neuroimmunology*, 337, 577077. doi: 10.1016/j.jneuroim.2019.577077
- Vatansever, F., & Hamblin, M. R. (2012). Far infrared radiation (FIR): It's biological effects and medical applications. *Photonics and Lasers in Medicine*, 1(4), 255-266. doi: 10.1515/plm-2012-0034
- Wong, C. H., Lin, L. C., Lee, H. H., & Liu, C. F. (2012). The analgesic effect of thermal therapy after total knee arthroplasty. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 18(2), 175-179. doi: 10.1089/acm.2010.0815
- Yu, S. Y., Chiu, J. H., Yang, S. D., Hsu, Y. C., Lui, W. Y., & Wu, C. W. (2006). Biological effect of far-infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 22(2), 78-86. doi: 10.1111/j.1600-0781.2006.00208.x

Effects of far-infrared rays on recovery of muscle damage after exercise: a narrative review

¹Li-Fu Cheng*

¹Department of Physical Education and Sport Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

Received : 2021/01 ; Accepted : 2021/05

ABSTRACT

When general people are doing unaccustomed eccentric exercise, or athletes increase their training intensity or volume too much, or especially when doing high-intensity eccentric exercise or endurance training such as long distance running, it can easily induce muscle damage (EIMD). EIMD can result in development of delayed onset muscle soreness, loss of muscle strength and range of motion, swelling and proprioceptive perturbation. This, in turn, can affect an individual's ability to conduct daily activities and sports performance, and can also increase the risks for athletes participating in competition because of reduced motor control. Far-infrared rays (FIR) have been commonly used as treatment method to alleviate muscle pain and for recovery after surgery. Recently, some studies suggested that FIR may be an effective intervention to attenuate EIMD. This review summarized the theory and application of FIR through collecting and analyzing previous studies, and discuss the potential mechanisms underlying FIR. Finally, this review provides (some) future directions and suggestions for researchers who are interested in (the topic of) FIR.

Keywords: delayed-onset muscle soreness, muscle strength, growth ray, phototherapy, eccentric contractions