

單次半程馬拉松跑對下肢肌肉功能的影響

傅思凱¹ 曾暉晉² 張鈞智³ 賴長琦² 戴遐齡^{1,3*}

¹ 臺北市立大學競技運動訓練研究所

² 臺北市立大學運動健康科學系

³ 臺北市立大學體育學系

*通訊作者：戴遐齡

通訊地址：100 臺北市中正區愛國西路 1 號

E-mail: danatai1008@gmail.com

DOI:10.6167/JSR.202106_30(1).0005

投稿日期：2020 年 6 月 接受日期：2021 年 1 月

摘要

目的：本研究旨在調查單次半程馬拉松 (half-marathon, HM) 運動後肌肉表現之變化情形。方法：本實驗招募八位業餘跑者 (recreational runners) 參與本研究 (年齡 25.5 ± 2.3 歲，身高 169.4 ± 8.5 公分，體重 66.6 ± 13.1 公斤，身體質量指數 23.0 ± 2.6 ，體脂率 $27.1 \pm 6.1\%$)。每位參與者盡力完成單次 HM，在 HM 前 48 小時 (Pre)、HM 介入後之立即 (0h)、3 小時 (3h)、24 小時 (24h)、48 小時 (48h)、72 小時 (72h) 及 96 小時 (96h) 各進行一次最大自主性等長收縮 (maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 肌力測驗與下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 下肢爆發力測驗。以重複量數單因子變異數分析 (repeated measures one-way analysis of variance) 比較每一個指標在 HM 介入前與介入後之變化情形。結果：MVIC 之膝關節伸展肌群的最大力矩在 HM 介入後 96 小時之內皆顯著低於 Pre 時間點 ($p < .05$)。CMJ 之跳躍高度與發力率於 HM 介入後 24 小時之內皆顯著低於 Pre 時間點 ($p < .05$)。結論：單次半程馬拉松會造成下肢肌力與爆發力的下降，建議業餘跑者在規劃下一個訓練週期時，可參考前述的時間點調整訓練強度與頻率。

關鍵詞：長距離跑步、肌肉疲勞、肌肉損傷、運動後恢復

壹、緒論

這十幾年來，馬拉松運動已成為美國主要的休閒運動。2016年約有507,600人參加馬拉松，且在美國舉辦的馬拉松賽事從2000年的300場次提升至2016年的1,100場次。特別是半程馬拉松 (half-marathon, HM)，在2000~2014年之間的參與人數由482,000人急劇增加到2,046,600人 (Running USA, 2017)，且運動強度不亞於馬拉松 (Saunders, Pyne, Telford, & Hawley, 2004)。在歐洲亦有類似的現象，於2015年估計有5,000萬人有規律參與長跑運動 (Breedveld, Scheerder, & Borgers, 2015)。但是馬拉松及HM包含了長時間的離心收縮運動而給身體帶來巨大的負荷 (Hill, Howatson, van Someren, Walshe, & Pedlar, 2014)。因此當完成一場馬拉松賽事或是HM之後，肌肉損傷隨之產生並降低了後續的運動表現與動機 (Wiewelhoeve et al., 2018; Wilson et al., 2018)。

肌肉離心收縮 (eccentric muscle contraction) 可定義為施加在肌肉上的負荷將超過肌肉本身所產生的力量，導致肌肉—肌腱系統在進行收縮時被迫拉長。跑步運動讓膝關節伸展肌群進行離心收縮模式以支撐身體重量來抵抗重力、吸收重力或儲存彈性能，並利於向心收縮的準備 (Gault & Willems, 2013)。而離心收縮引起的機械壓力是造成肌肉損傷的主要因素，例如腓腸肌肌纖維結構受損就是因為執行馬拉松賽事期間不斷的反覆進行離心收縮運動。此外，血液中的肌肉損傷指標如肌酸磷酸激

酶 (creatine phosphokinase, CPK) 及乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 皆在馬拉松運動介入後顯著上升。

運動所引起的肌肉損傷 (exercise induced muscle damage, EIMD) 常好發於執行過度的身體活動，尤其是當運動項目中有離心收縮的模式或是長時間的持續運動，然而長距離跑步包含了這兩項元素 (Armstrong, 1990; Vickers, 2001)。此現象通常會有疼痛感、發炎症狀及影響肌肉能力而無法產生力量 (Cleak & Eston, 1992; Connolly, Lauzon, Agnew, Dunn, & Reed, 2005)。這些肌肉損傷所造成負面的症狀，影響了個體部分功能，導致運動表現的降低 (Davies, Thompson, & Cooper, 2009)。長時間跑步會對肌纖維及相關結構造成傷害，而造成這些傷害的過程有很多層面 (Appell, Soares, & Duarte, 1992)。初期的傷害為肌肉纖維承受了反覆性的負荷而造成機械性的損傷 (Armstrong, 1986)。在初期的機械性傷害後，第二階段的發炎症害來自於氧化壓力。經歷過氧化壓力後會使初期的機械性壓力加劇而進入了惡性循環 (Aoi et al., 2004; Halliwell & Chirico, 1993)。完成馬拉松運動後，已觀察到肌肉損傷指標CPK及發炎指標白介素-1 (interleukin 1, IL1)、白介素-6 (interleukin 6, IL6) 及白介素-10 (interleukin 10, IL10) 會顯著提升，藉此可證明確實有微創傷的事實發生 (Howatson et al., 2009)。

Newham在1987年對二頭肌進行離心收縮破壞後的二週，二頭肌的最大自主性等長收縮 (maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 仍未恢復至破壞之前的水準 (Newham,

Jones, & Clarkson, 1987)。Buchwald-Werner 等人對健康民眾進行體重 10% 為負重進行連續下蹲跳 (counter-movement jump, CMJ) 20 下 10 組的疲勞運動介入，發現下肢 MVIC 及 CPK 在疲勞運動後的 48 小時仍未恢復至運動介入前的情況，96 小時後仍有因移動而引起的疼痛不適感 (Buchwald-Werner et al., 2018)。而完成馬拉松運動後，大部分的選手體能恢復的時間為 3 ~ 10 天，肌肉的疼痛感與緊繃在第 10 天後仍存在 (Polak, van Linge, Rutten, & Stijnen, 1993)。而目前為止有諸多方法可協助運動疲勞恢復，如運動按摩、冷療及主動恢復 (Wiewelhove et al., 2018)，且常見完賽選手服用非類固醇抗發炎藥物 (nonsteroidal anti-inflammatory drugs, NSAIDs) 減緩發炎與疼痛的症狀 (Gorski et al., 2011)，而有腸胃出血、腎臟及血管問題等副作用 (Howatson & van Someren, 2008)。

長距離耐力競賽會使代謝系統或肌肉骨骼系統上產生巨大的壓力，並產生肌肉損傷的情形，導致肌肉收縮能力降低。例如具有下肢爆發力代表性的跳躍動作 CMJ，也可能會因為肌肉損傷而造成負面的影響 (Kirby et al., 2012)。耐力競賽會降低 CMJ 的運動表現，故常以 CMJ 測驗作為疲勞偵測的指標 (Del Coso et al., 2012)。諸多研究證實，HM 競賽後肌肉損傷而造成跳躍高度及發力率 (rate of development, RFD) 的下降 (Martínez-Sánchez et al., 2017; Wiewelhove et al., 2018)。肌肉力量也會因此受到影響，可使用等速肌力測試儀來觀察股四頭肌及腿後腓肌群於 HM 介入後的力量變化，於 HM 介

入後的 24 小時內呈現顯著的下降，於 48 小時後即恢復至正常指標 (Dawson, Dawson, & Tiidus, 2004)。

綜上得知進行含有離心運動因子的運動易造成 EIMD，且影響運動表現的時間可長達二週，疼痛與緊繃感亦可長達 10 天之久，而影響下一個訓練週期開始的時間。但很少有文獻指出 HM 介入後所造成的運動表現下降需要多久時間可恢復至正常水準。因此本研究目的為探討業餘運動跑者在進行 HM 後，96 小時內運動表現之恢復情形。

貳、方法

一、參與者與實驗設計

本研究招募八位業餘跑者 (recreational runners) 參與本研究 (參與者基本資料如表 1)，過去一年皆無進行規律阻力訓練、有氧運動或柔軟度訓練，在日常生活中不經常攜帶重物且無肌肉骨骼損傷。並要求進行任何實驗前的 48 小時必須保持正常的生活作息，包含禁止劇烈運動、抽菸、飲用酒精飲料以及熬夜。所有參與者經初步確認符合上述條件後，告知參與者研究目的、流程及可能產生之風險並經參與者同意後簽署知情同意書，本研究遵循「赫爾辛基宣言」(Declaration of Helsinki) 政策聲明進行實驗並通過臺北市立大學人體研究倫理委員會 (Institutional Review Board of University of Taipei) 核准，序號為 Taipei, Taiwan; No. 2019-062。

本實驗為單組前後測實驗設計，以瞭解參與者介入 HM 後之運動表現恢復。所有參與者 ($N = 8$) 於 HM 之前 48 小時 (Pre)、HM 介入後之立即 (0h)、3 小時 (3h)、24 小時 (24h)、48 小時 (48h)、72 小時 (72h) 及 96 小時 (96h)，皆進行一次運動表現測驗 (如圖 1)。運動表現測驗包含下肢 MVIC 及 CMJ 測驗。

二、身體組成分析

使用雙能量 X 光吸收儀 (Horizon A dual-energy x-ray absorptiometry scanner [DXA], Hologic Inc., Bedford, MA, USA) (Bazzocchi, Ponti, Albisinni, Battista, & Guglielmi, 2016) 進行體重與脂肪含量分析。參與者在 Pre

時間點之早上 8 ~ 10 時進行檢測，檢測前 24 小時以內不能飲用酒精類飲料且 5 小時內不能有任何運動。參與者可以適量的補充水分，檢測過程中不攜帶任何金屬物品。

三、HM

場地設定於臺北市立大學天母校區的標準 400 公尺田徑場，場地材質為複合式 PU，所有參與者先進行 5 分鐘低強度慢跑以及 15 分鐘之動態熱身，於早上 5 點開始進行 HM。起跑點設定在田徑 200 公尺競賽項目之起跑點處，跑到終點線時開始計算 52 圈並限定於第 1 跑道執行，總距離為 21 公里。於 50 公尺處設有水站及急救站，並且提供每人 100 公克的香蕉及 500

表 1 選手之基本資料與身體組成

基本資料	全體 ($N = 8$)	男性 ($n = 4$)	女性 ($n = 4$)
年齡 (歲)	25.5 ± 2.3	27.0 ± 2.3	24.0 ± 0.8
身高 (公分)	169.4 ± 8.5	176.8 ± 2.4	162.0 ± 4.3
體重 (公斤)	66.6 ± 13.1	77.7 ± 8.5	55.5 ± 1.0
身體質量指數	23.0 ± 2.6	24.8 ± 2.4	21.2 ± 0.8
體脂率 (%)	27.1 ± 6.1	23.3 ± 5.6	31.0 ± 4.0

資料來源：本研究整理。

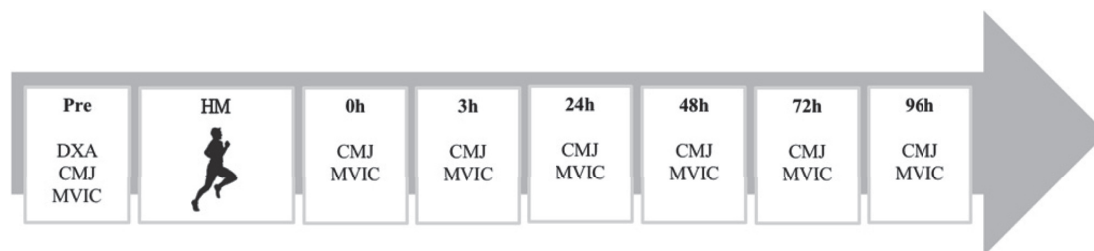


圖 1 實驗設計流程圖

資料來源：本研究整理。

註：Pre、0h、3h、24h、48h、72h 及 96h 表示半程馬拉松介入前、半程馬拉松介入後之立即、3 小時、24 小時、48 小時、72 小時及 96 小時之時間點；HM 為半程馬拉松；DXA 為雙能量 X 光吸收儀；CMJ 為下蹲跳；MVIC 為最大自主性等長收縮。

毫升的運動飲料，並於緊急醫療救護技術員 (emergency medical technician, EMT) 全程監控下完成 HM。

四、下肢肌力測驗

下肢肌力測驗以等速肌力檢測儀 (Biodex System Pro 4, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA) 進行膝關節伸展肌群與屈曲肌群之 MVIC。研究參與者已在前測兩週前熟悉 MVIC 檢測流程。採坐姿 (髖關節屈曲 85°)，慣用側之膝關節屈曲 30°，並以固定帶固定肩部、胸部、腕部與非慣用側之大腿。檢測期間要求參與者盡個人最大力量進行慣用側膝關節伸展肌群之 MVIC 持續 3 秒鐘 (慣用側定義為踢球腳)。每次間隔 1 分鐘，共計三次。膝關節屈曲肌群檢測與膝關節伸展肌群檢測間隔 5 分鐘，且坐姿設定為髖關節屈曲 85° 及慣用側之膝關節屈曲 60°。施測過程中皆有施測人員給予口頭上的激勵與提醒，以利每次收縮產生 MVIC (Chen, Chen, Lin, Wu, & Nosaka, 2009)。檢測結果皆以 Biodex System Pro 4 Curve Analysis 軟體分析，下肢肌力表現以每公斤體重之最大力矩 (Nm/kg) 來表示，擷取三次檢測中之最大值。

五、下肢爆發力測驗

參與者以 CMJ 測驗之跳躍高度及 RFD 來代表下肢爆發力。檢測器材為 BTS 測力板 (BTS P6000, BTS Bioengineering, Milano, Italy) 固定於地板，取兩次跳躍中之最佳成績來計算其反作用力 (作用力偵測範圍：0 ~ 10 kN; 取樣頻率：600 Hz)，兩次跳躍

中間隔 4 分鐘休息。RFD 以 Microsoft Excel 2016 將力板蒐集之數據進行計算，將 CMJ 的起跳時間 (take-off) 點定義為垂直力量由失重達到低於身體重量的 20 牛頓，其次將垂直力量最大峰值與起跳力量之相差除以起跳時間點至垂直力量最大峰值所執行的時間，作為 RFD (Heishman et al., 2019)，單位為每秒牛頓。

六、統計分析

所有結果將以 GraphPad Prism 8.3.1 (GraphPad Software, LLC.) 統計軟體進行重複量數單因子變異數分析 (repeated measures one-way analysis of variance [ANOVA])，若交互作用達顯著差異時，以 Dunnett's 多重比較檢定進行事後比較，觀察不同時間點與 Pre 之間是否達到顯著差異。為避免個體差異性，運動表現數值將與 Pre 數據進行百分比計算 [計算公式為 (後測 ÷ 前測) × 100%]，以進行正規化 (normalization) 後的比較，呈現方式以百分比 (%) ± 標準差 (%) 表示，並進行四捨五入，顯著水準設定為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

一、運動介入前之運動表現與半程馬拉松完賽成績

進行 HM 時 (時間為 AM 05:00 ~ AM 09:00) 的操場環境氣溫為 17.5 ~ 18.5°C、相對濕度為 75 ~ 84% 以及風速為 1.2 ~ 1.3 m/s。八位參與者完成 HM 總秒數的範圍為 2 小時 14 分至 3 小時 55 分 1 秒，平均

完成時間為 3 小時 0 分 52 秒 ± 34 分 1 秒，男性平均完成時間為 2 小時 45 分 44 秒 ± 29 分 56 秒，女性平均完成時間為 3 小時 15 分 59 秒 ± 34 分 42 秒。運動介入前之運動表現如表 2。

二、下肢肌力檢測

下肢肌力檢測以等速肌力檢測儀進行膝關節伸展肌群與膝關節屈曲肌群之 MVIC，正規化變化的比較結果如圖 2A、圖 2B、圖 2C 及圖 2D。膝關節伸展肌群的最大力矩在 0h、3h、24h、48h、72h 及 96h 時皆顯著低於 Pre ($p < .05$) (圖 2A)，膝關節伸展肌群的平均力矩在 3h、24h、48h 及 72h 皆顯著低於 Pre ($p < .05$) (圖 2B)，膝關節屈曲肌群的最大力矩在 0h 時顯著低於 Pre ($p < .05$) (圖 2C)，膝關節屈曲肌群的平均力矩在各時間點皆無顯著低於 Pre ($p > .05$) (圖 2D)，綜上可見業餘跑者經過 HM 介入後，膝關節伸展肌群的肌力會明顯下降，直到 96 小時後都尚未恢復至 HM 介入前的水平，但是膝關節屈曲肌群在休息 3 小時後即恢復至 HM 介入前的水平，顯示

HM 介入後對於膝關節屈曲肌群的肌力表現影響較小。

三、下肢爆發力檢測

下肢爆發力檢測以 CMJ 進行測驗，CMJ 跳躍高度及 RFD 經標準化比較後發現在 0h、3h 及 24h 顯著低於 Pre ($p < .05$) (圖 2E、圖 2F)，可見 HM 介入後造成下肢爆發力顯著的下降，一直到 48 小時後才恢復至介入前的運動表現水準。

肆、討論

業餘跑者經過 HM 介入後，膝關節伸展肌群、膝關節屈曲肌群及下肢爆發力等運動表現皆有顯著的下降。其中又以膝關節伸展肌群之最大力矩之下降為主，在 HM 介入後的 96 小時仍無法恢復至介入前的水準，膝關節伸展肌群之平均力矩在 HM 介入 96 小時後恢復，膝關節屈曲肌群之最大力矩在 HM 介入後 3 小時即恢復，而下肢爆發力的運動表現直到 HM 介入後第 48 小時才恢復。

表 2 運動介入前之運動表現與半程馬拉松完賽成績

運動表現	全體 (N = 8)	男性 (n = 4)	女性 (n = 4)
膝關節伸展肌群之最大力矩 (牛頓米 / 公斤)	3.31 ± 0.63	3.74 ± 0.38	2.88 ± 0.54
膝關節伸展肌群之平均力矩 (牛頓米 / 公斤)	3.01 ± 0.75	3.51 ± 0.38	2.51 ± 0.71
膝關節屈曲肌群之最大力矩 (牛頓米 / 公斤)	1.19 ± 0.34	1.45 ± 0.08	0.93 ± 0.28
膝關節屈曲肌群之平均力矩 (牛頓米 / 公斤)	1.08 ± 0.34	1.33 ± 0.16	0.84 ± 0.28
下蹲跳之跳躍高度 (公分)	33.22 ± 8.08	38.92 ± 3.06	27.52 ± 7.51
下蹲跳之發力率 (牛頓 / 秒)	5,212.90 ± 1,809.30	6,727.20 ± 1,105.90	3,698.60 ± 547.60
半程馬拉松完賽成績 (小時：分：秒)	03:00:52 ± 00:34:01	02:45:44 ± 00:29:56	03:15:59 ± 00:34:42

資料來源：本研究整理。

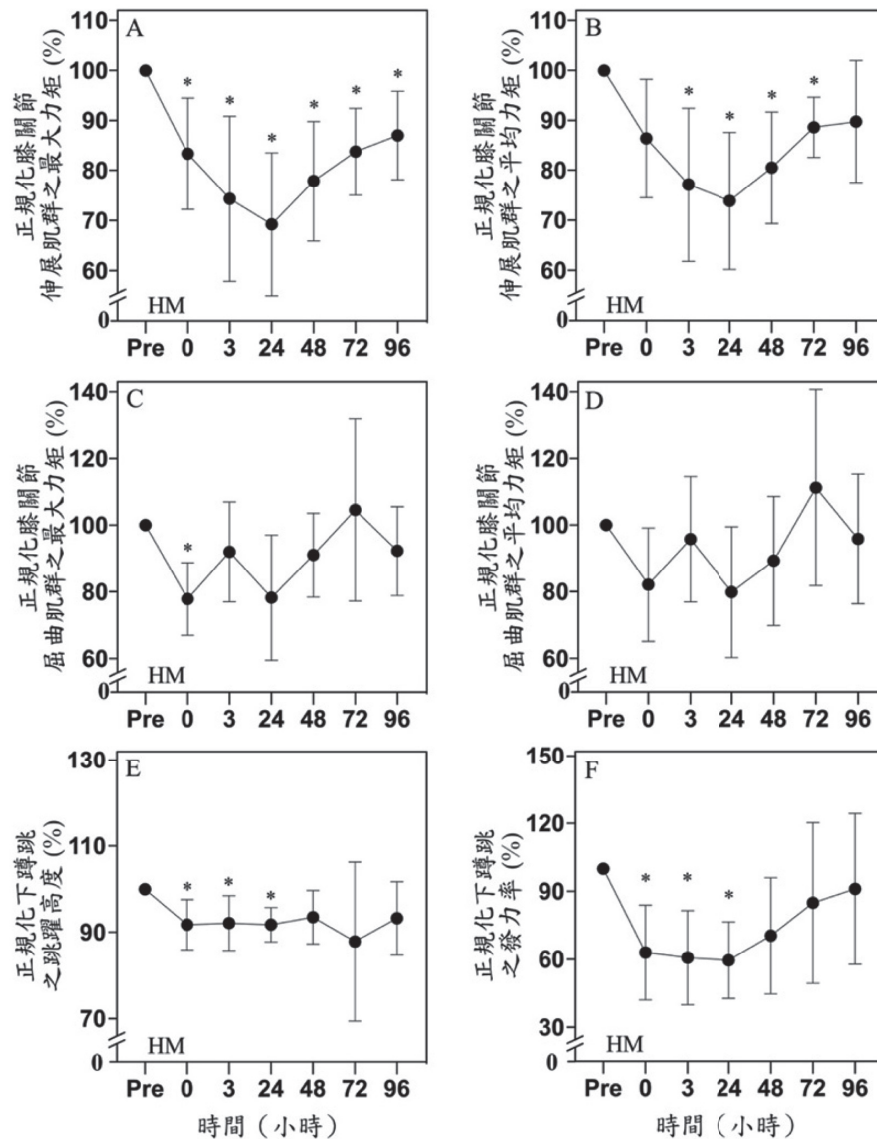


圖 2 下肢肌力與爆發力檢測結果正規化之比較。

註：A 圖為正規化膝關節伸展肌群之最大力矩、B 圖為正規化膝關節伸展肌群之平均力矩、C 圖為正規化膝關節屈曲肌群之最大力矩、D 圖為正規化膝關節屈曲肌群之平均力矩、E 圖為正規化下蹲跳之跳躍高度及 F 圖為正規化下蹲跳之發力率；HM 為半程馬拉松；* 表示該數據與 Pre 時間點的數據達顯著差異，顯著水準設定為 $\alpha = 0.05$ 。

Martínez-Sánchez 等人於 2017 年對 21 位男性業餘跑者進行 HM 介入之實驗，發現於 HM 完成後之半蹲跳 (squat jump) 及 CMJ

的跳躍高度皆有顯著下降，且直到 72 小時後皆有明顯的痠痛感 (Martínez-Sánchez et al., 2017)。Wiewelhove 等人於 2018 年在 46

位男性業餘跑者於HM介入後同樣發現CMJ的跳躍高度明顯下降 (Wiewelhove et al., 2018)。可見HM介入後確實會讓業餘跑者的下肢爆發力顯著下降，與本研究獲得相同結果，但是鮮少文獻針對HM介入後之96小時內的下肢爆發力改變量進行研究。故可參考Tokinoya於2020年針對19位業餘跑者在完成馬拉松賽事後進行96小時內的下肢爆發力監控，發現在馬拉松介入後造成CMJ跳躍高度於48小時內皆有顯著下降，於72小時後恢復至正常水準 (Tokinoya et al., 2020)，而本研究的結果為HM介入後第48小時即恢復至正常水準，相較起來下肢爆發力受影響的程度相對較低。過去研究發現經過長時間耐力競賽後造成肌肉收縮能力下降的導因為能量代謝過載及高度機械性壓力的損傷所造成 (Armstrong, 1986)。爆發性的運動表現如跳躍亦會因肌肉損傷而受損 (Kirby et al., 2012)。依照上述推論，長距離跑步競賽會造成垂直跳躍能力下降並且可作為運動疲勞的指標 (Del Coso et al., 2012)。眾多研究證實長距離耐力跑步後所造成的肌肉損傷程度與跳躍高度呈現正相關 (Del Coso et al., 2014; Ramos-Campo et al., 2016)。

因為長距離跑步項目中涉及大量股四頭肌的使用，並且以離心收縮的形式來緩衝身體重量與地板接觸時的衝擊，造成肌肉損傷而導致髌骨疼痛症候群、髂脛束症候群以及髌腱炎等症狀，而間接影響膝關節伸展肌群的最大力矩 (Mullaney & Fukunaga, 2016)。而膝關節伸展肌群最大力矩的結果會影響半蹲跳與CMJ的運動表現 (Suzuki et al., 2006)。Dowson等學者於2004年提出八

位男性及四位女性業餘跑者於HM介入後的24小時發現膝關節伸展肌群的最大力矩顯著下降，於96小時後即恢復至正常水準，膝關節屈曲肌群則無顯著改變，與本實驗有類似的結果 (Dawson et al., 2004)。同時也發現大腿圍及遲發性肌肉痠痛 (delayed onset muscle soreness, DOMS) 的指數也在HM介入後的24小時顯著提升，於96小時後恢復正常標準。本實驗尚未進行DOMS的自覺量表監控 (rate of perceived exertion, RPE) 及大腿腫脹的表徵，未來可考慮加入前列檢測項目，以佐證DOMS的症狀情形。

高強度運動介入後會造成肌肉組織損傷、鈣離子失衡、嗜中性白血球的滲入、自由基的產生及細胞激素的代謝物，因此造成氧化壓力傷害、發炎及相關指標的累積 (Withee et al., 2017)。造成運動表現下降的現象主要因為EIMD，通常在進行不習慣或破壞性的運動 (如下坡跑) 而造成的現象，導因為白血球滲入受傷組織中導致肌纖維損傷及二次發炎 (Clarkson & Sayers, 1999; Howatson & van Someren, 2008)，症狀通常在運動停止後持續數天，有肌肉痠痛、疼痛壓力閾值降低、局部腫脹、最大力量能力短暫降低、CPK、LDH及肌紅蛋白 (Myoglobin) 水平提升 (Byrne, Eston, & Edwards, 2001; Clarkson & Hubal, 2002)。對於業餘跑者而言，突如其來的長時間與高強度的運動介入，似乎符合上述所提的不習慣或破壞性的離心運動。因此造成HM介入後導致下肢肌力下降的情形，甚至到96小時後仍尚未恢復至介入前的水準。

綜上研究結果所示，半程馬拉松會造成運動表現能力下降，如下肢最大肌力及

下肢爆發力等。而肌肉損傷影響運動表現的時間各有不同，如下肢爆發力數據像跳躍高度及發力率在 HM 介入後第 48 小時即恢復正常水準，但是對於下肢最大肌力之膝關節伸展肌群在第 96 小時後仍尚未恢復至正常水準。建議業餘跑者在規劃下一個訓練週期時，可參考前述的時間點來調整訓練強度與頻率。

參考文獻

1. Aoi, W., Naito, Y., Takanami, Y., Kawai, Y., Sakuma, K., Ichikawa, H., ... Yoshikawa, T. (2004). Oxidative stress and delayed-onset muscle damage after exercise. *Free Radical Biology & Medicine*, 37(4), 480-487. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2004.05.008
2. Appell, H. J., Soares, J. M. C., & Duarte, J. A. R. (1992). Exercise, muscle damage and fatigue. *Sports Medicine*, 13(2), 108-115. doi:10.2165/00007256-199213020-00006
3. Armstrong, R. B. (1986). Muscle damage and endurance events. *Sports Medicine*, 3(5), 370-381. doi:10.2165/00007256-198603050-00006
4. Armstrong, R. B. (1990). Initial events in exercise-induced muscular injury. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(4), 429-435.
5. Bazzocchi, A., Ponti, F., Albinini, U., Battista, G., & Guglielmi, G. (2016). DXA: Technical aspects and application. *European Journal of Radiology*, 85(8), 1481-1492. doi:10.1016/j.ejrad.2016.04.004
6. Breedveld, K., Scheerder, J., & Borgers, J. (2015). Running across Europe: The way forward. In J. Scheerder & K. Breedveld (Eds.), *Running across Europe: The rise and size of one of the largest sport markets* (pp. 241-264). New York, NY: Palgrave Macmillan. doi:10.1057/9781137446374_12
7. Buchwald-Werner, S., Naka, I., Wilhelm, M., Schütz, E., Schoen, C., & Reule, C. (2018). Effects of lemon verbena extract (Recoverben®) supplementation on muscle strength and recovery after exhaustive exercise: A randomized, placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15, 5. doi:10.1186/s12970-018-0208-0
8. Byrne, C., Eston, R. G., & Edwards, R. H. (2001). Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11(3), 134-140. doi:10.1046/j.1524-4725.2001.110302.x
9. Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Nosaka, K. (2009). Muscle damage responses of the elbow flexors to four maximal eccentric exercise bouts performed every 4 weeks. *European Journal of Applied Physiology*, 106(2), 267-275. doi:10.1007/s00421-009-1016-7
10. Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), S52-S69. doi:10.1097/00002060-200211001-00007
11. Clarkson, P. M., & Sayers, S. P. (1999). Etiology of exercise-induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(3), 234-248. doi:10.1139/h99-020
12. Cleak, M. J., & Eston, R. G. (1992). Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 26(4), 267-272. doi:10.1136/bjism.26.4.267

13. Connolly, D., Lauzon, C., Agnew, J., Dunn, M., & Reed, B. (2005). The effects of a vitamin C supplement on symptoms of delayed onset muscle soreness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), S316. doi:10.1097/00005768-200505001-01641
14. Davies, V., Thompson, K. G., & Cooper, S.-M. (2009). The effects of compression garments on recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1786-1794. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b42589
15. Dawson, L. G., Dawson, K. A., & Tiidus, P. M. (2004). Evaluating the influence of massage on leg strength, swelling, and pain following a half-marathon. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(YISI 1), 37-43.
16. Del Coso, J., González, C., Abian-Vicen, J., Salinero Martín, J. J., Soriano, L., Areces, F., ... Calleja-González, J. (2014). Relationship between physiological parameters and performance during a half-ironman triathlon in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 32(18), 1680-1687. doi:10.1080/02640414.2014.915425
17. Del Coso, J., González-Millán, C., Salinero, J. J., Abián-Vicén, J., Soriano, L., Garde, S., & Pérez-González, B. (2012). Muscle damage and its relationship with muscle fatigue during a half-iron triathlon. *PloS One*, 7(8), e43280. doi:10.1371/journal.pone.0043280
18. Gault, M. L., & Willems, M. E. T. (2013). Aging, functional capacity and eccentric exercise training. *Aging and Disease*, 4(6), 351-363. doi:10.14336/AD.2013.0400351
19. Gorski, T., Cadore, E. L., Pinto, S. S., da Silva, E. M., Correa, C. S., Beltrami, F. G., & Krueel, L. F. M. (2011). Use of NSAIDs in triathletes: Prevalence, level of awareness and reasons for use. *British Journal of Sports Medicine*, 45(2), 85-90. doi:10.1136/bjism.2009.062166
20. Halliwell, B., & Chirico, S. (1993). Lipid peroxidation: Its mechanism, measurement, and significance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 57(5), 715S-725S. doi:10.1093/ajcn/57.5.715S
21. Heishman, A., Daub, B., Miller, R., Brown, B., Freitas, E., & Bembem, M. (2019). Countermovement jump inter-limb asymmetries in collegiate basketball players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 103. doi:10.3390/sports7050103
22. Hill, J. A., Howatson, G., van Someren, K. A., Walshe, I., & Pedlar, C. R. (2014). Influence of compression garments on recovery after marathon running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2228-2235. doi:10.1519/jsc.0000000000000469
23. Howatson, G., McHugh, M. P., Hill, J. A., Brouner, J., Jewell, A. P., Van Someren, K. A., ... Howatson, S. A. (2009). Influence of tart cherry juice on indices of recovery following marathon running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(6), 843-852. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01005.x
24. Howatson, G., & van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38(6), 483-503. doi:10.2165/00007256-200838060-00004
25. Kirby, T. J., Triplett, N. T., Haines, T. L., Skinner, J. W., Fairbrother, K. R., & McBride, J. M. (2012). Effect of leucine supplementation on indices of muscle damage following drop jumps and resistance exercise. *Amino Acids*, 42(5), 1987-1996. doi:10.1007/s00726-011-0928-9

26. Martínez-Sánchez, A., Ramos-Campo, D. J., Fernández-Lobato, B., Rubio-Arias, J. A., Alacid, F., & Aguayo, E. (2017). Biochemical, physiological, and performance response of a functional watermelon juice enriched in L-citrulline during a half-marathon race. *Food & Nutrition Research*, *61*(1), 1330098. doi:10.1080/16546628.2017.1330098
27. Mullaney, M. J., & Fukunaga, T. (2016). Current concepts and treatment of patellofemoral compressive issues. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *11*(6), 891-902.
28. Newham, D. J., Jones, D. A., & Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: Effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, *63*(4), 1381-1386. doi:10.1152/jappl.1987.63.4.1381
29. Polak, A. A., van Linge, B., Rutten, F. L., & Stijnen, T. (1993). Effect of intravenous fluid administration on recovery after running a marathon. *British Journal of Sports Medicine*, *27*(3), 205-208. doi:10.1136/bjism.27.3.205
30. Ramos-Campo, D. J., Ávila-Gandía, V., Alacid, F., Soto-Méndez, F., Alcaraz, P. E., López-Román, F. J., & Rubio-Arias, J. (2016). Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *41*(8), 872-878. doi:10.1139/apnm-2016-0093
31. Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, *34*(7), 465-485. doi:10.2165/00007256-200434070-00005
32. Suzuki, K., Peake, J., Nosaka, K., Okutsu, M., Abbiss, C. R., Surriano, R., ... Laursen, P. B. (2006). Changes in markers of muscle damage, inflammation and HSP70 after an Ironman Triathlon race. *European Journal of Applied Physiology*, *98*(6), 525-534. doi:10.1007/s00421-006-0296-4
33. Tokinoya, K., Ishikura, K., Ra, S.-G., Ebina, K., Miyakawa, S., & Ohmori, H. (2020). Relationship between early-onset muscle soreness and indirect muscle damage markers and their dynamics after a full marathon. *Journal of Exercise Science & Fitness*, *18*(3), 115-121. doi:10.1016/j.jesf.2020.03.001
34. Running USA. (2017). *Running USA annual marathon report*. Retrieved from https://www.runningusa.org/RUSA/Research/Recent_Reports/Marathon_Report/
35. Vickers, A. J. (2001). Time course of muscle soreness following different types of exercise. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *2*, 5. doi:10.1186/1471-2474-2-5
36. Wiewelhove, T., Schneider, C., Döweling, A., Hanakam, F., Rasche, C., Meyer, T., ... Ferrauti, A. (2018). Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PloS One*, *13*(11), e0207313. doi:10.1371/journal.pone.0207313
37. Wilson, L. J., Cockburn, E., Paice, K., Sinclair, S., Faki, T., Hills, F. A., ... Dimitriou, L. (2018). Recovery following a marathon: A comparison of cold water immersion, whole body cryotherapy and a placebo control. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(1), 153-163. doi:10.1007/s00421-017-3757-z
38. Withee, E. D., Tippens, K. M., Dehen, R., Tibbitts, D., Hanes, D., & Zwickey, H. (2017). Effects of Methylsulfonylmethane (MSM)

傅思凱 曾暉晉 張鈞智 賴長琦 戴遐齡

on exercise-induced oxidative stress, muscle damage, and pain following a half-marathon: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 24. doi:10.1186/s12970-017-0181-z

The Effect of a Bout of Half-Marathon on Muscle Performance

Szu-Kai Fu¹, Wei-Chin Tseng², Chu-Chih Chang³, Chang-Chi Lai², Hsia-Ling Tai^{1,3*}

¹ Graduate Institute of Sports Training, University of Taipei

² Department of Exercise and Health Sciences, University of Taipei

³ Department of Physical Education, University of Taipei

*Corresponding author: Hsia-Ling Tai

Address: No. 1, Aiguo W. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)

E-mail: danatai1008@gmail.com

DOI:10.6167/JSR.202106_30(1).0005

Received: June, 2020 Accepted: January, 2021

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effect of muscle performance after half-marathon (HM). **Methods:** Eight recreational runners were recruited in this study (age 25.5 ± 2.3 years; height 169.4 ± 8.5 cm; Weight 66.6 ± 13.1 kg; BMI 23.0 ± 2.6 ; body fat ratio $27.1 \pm 6.1\%$). Each participant was asked to perform a bout of HM and maximal voluntary isometric contraction (MVIC) of the knee extensors and countermovement jump (CMJ) were conducted 48 hours before HM (pre) and immediately (0h), 3 hours (3h), 24 hours (24h), 48 hours (48h), 72 hours (72h), and 96 hours (96h) after HM. Data were analyzed by repeated measures one-way analysis of variance. **Results:** MVIC was significantly lower than pre from 0h to 96h ($p < .05$). Height and rate of development of CMJ were significantly lower than pre from 0h to 24h ($p < .05$). **Conclusions:** A single bout of half-marathon would impair the strength and power of lower extremities. It is recommended that recreational runners could modulate the intensity and frequency of next training periodization according the results from this study.

Keywords: long-distance running, muscle fatigue, muscle damage, post-exercise recovery

