

## 離心運動前進行動態熱身對跑步經濟性的影響

林正常<sup>1</sup>、林明儒<sup>2\*</sup>

### 摘要

**目的：**探討人體進行離心運動引起肌肉損傷 (exercise-induced muscle damage, EIMD) 前，進行低強度跑步運動對跑步經濟性的影響。**方法：**以16名大學健康男性隨機分組至低強度跑步 (long low-intensity running, LLR) 或控制 (control, CON) 組。LLR組雙腿分別在從事最大等速離心收縮 (maximal isokinetic eccentric contractions, MAX) 前進行1小時水平坡度跑步。在跑步運動的前與後，進行身體肌肉表層溫度、核心溫度、超音波血流攝像測量。肌肉損傷及跑步經濟性指標安排在MAX前、後第0-5天、7及10天測驗。**結果：**LLR組進行1小時跑步後，溫度及血流均顯著提高 ( $p < .05$ )；不同兩組進行MAX後，其引起肌肉損傷程度及跑步經濟性變差情形，LLR組皆顯著低於CON組 ( $p < .05$ )。**結論：**在EIMD前，進行低強度跑步運動引起體溫及血流量顯著提高下，可減輕隨後EIMD症狀，進而減少跑步經濟性變差幅度。

**關鍵詞：**最大等長肌力、肌肉酸痛、攝氧量、血流量、溫度

## Effects of Active Warm-Up before Eccentric Exercise on Running Economy

Jung-Charng Lin<sup>1</sup>, Ming-Ju Lin<sup>2\*</sup>

### Abstract

**Purpose:** This study investigated the effects of the long low-intensity running exercise (LLR) on the indices of exercise-induced muscle damage (EIMD) and running economy of lower extremities before eccentric EIMD. **Methods:** Sixteen healthy young untrained men were randomly assigned into LLR or CON (control) group. The LLR group performed a bout of the maximal isokinetic eccentric contractions (MAX) of each knee extensors and flexors, by counterbalance, after performing a bout of 60-min low-intensity of level running. Body surface temperature (BST), core temperature (CT), and mean blood flow at femoral artery of ultrasound imaging (MBF) were measured immediately before and after low-intensity running for the LLR group. Muscle damage indicators [maximal voluntary isometric contraction strength (MVC), muscle soreness (SOR)], and running economy (RE) parameters [oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2max}$ ), heart rate (HR), rating of perceived exertion (RPE), and blood lactate (LA)], were assessed before, 0-5, 7 and 10 days after MAX. **Results:** Significant ( $p < .05$ ) increases in BST, CT, and MBF immediately after 1-h running compared to baseline for the LLR group were observed. Changes in the all indicators of muscle damage and RE after MAX for both groups were significantly different compared to baseline. The changes in all measures after MAX for the LLR group

---

Submitted for publication: 2014.5; Accepted for publication: 2014.7

1 中國文化大學體育學系; Department of Physical Education, Chinese Culture University

2 國立嘉義大學體育與健康休閒學系; Department of Physical Education, Health and Recreation, National Chiayi University

\* Corresponding author: 林明儒 E-mail: mjlin@mail.ncyu.edu.tw

were significantly smaller than the CON group. **Conclusion:** These results showed that protective effect of muscle damage and RE conferred by a bout of low-intensity running against a subsequent bout of MAX. Therefore, a bout of low-intensity running could be regarded as one of efficient preventive measures to reduce EIMD of both knee extensors and flexors, and RE performances.

**Keywords:** maximal voluntary isometric contraction strength, muscle soreness, oxygen consumption, blood flow, temperature

## 壹、緒論

近年來，馬拉松比賽在國內蔚為流行，逐漸受到推廣及提倡，為考驗耐力及訓練體力的最佳運動之一。在眾多馬拉松賽事之中，波士頓馬拉松是歷史最悠久並最富盛名的世界六大馬拉松比賽之一，尤其特色之處為起伏的地形，對於參賽者是一大挑戰，並且容易造成因運動引起的肌肉損傷（exercise-induced muscle damage, EIMD）（Parker et al., 2012）。過去的研究已發現，從事長時間耐力性運動（例如：馬拉松跑步）或是不習慣高強度的運動（例如：下坡跑）會因代謝或機械壓力（Armstrong, Warren, & Warren, 1991; Lieber & Friden, 2002; Tee, Bosch, & Lambert, 2007），引起肌肉的疲勞酸痛及細微損傷，常見的症狀計有：關節活動範圍（range of motion, ROM）、最大等長肌力（maximal voluntary isometric contraction strength, MVC）顯著下降，血液肌酸激酶（creatine kinase, CK）活性及肌紅素（myoglobin, Mb）濃度等肌肉蛋白質劇烈的上升、引發肌肉酸痛（muscle soreness, SOR）以及肌肉腫脹等（Burt, Lamb, Nicholas, & Twist, 2013; Chen, Chen, Lin, Wu, & Nosaka, 2010; Chen, Lin, Chen, Lin, & Nosaka, 2011; Chen, Nosaka, & Chen, 2012; Chen, Nosaka, & Lin, 2005; Clarkson & Hubal, 2002; Clarkson, Nosaka, & Braun, 1992）。這些症狀是文獻常拿來做為分析研究對象在運動的前、後，其肌肉疲勞與損傷的評估指標。

除了上述肌肉損傷指標及症狀之外，EIMD也會造成運動表現下降，例如：造成

跑步經濟性（running economy, RE）（Chen, Nosaka, Lin, Chen, & Wu, 2009）變差。從過去文獻可發現，攝氧量（oxygen consumption,  $\dot{V}O_2$ ）是反應出人體肌肉群的運動情形或程度且是目前公認評價運動選手心肺耐力功能及耐力跑步表現很好的指標之一（Wilmore & Costill, 2004）。之前的文獻（Chen, Nosaka, & Wu, 2008; Chen, et al., 2009）指出，讓研究對象在跑步機上使用一個固定非最大強度〔%最大攝氧量（maximal oxygen consumption,  $\dot{V}O_{2max}$ ）〕進行1回合5-6分鐘水平坡度跑步測驗，分析其攝氧量（ $\dot{V}O_2$ ）、換氣量（minute ventilation,  $\dot{V}_E$ ）和呼吸交換率（respiratory exchange ratio, RER）的變化情形，即可有效做為跑步經濟性（RE）及耐力運動表現的評價依據。然而，到目前為止，先前文獻探討EIMD對RE的影響之研究為數不多（Braun & Dutto, 2003; Braun & Paulson, 2012; Burt et al., 2013; Chen, Chen, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009; Chen, Nosaka, & Tu, 2007; Hamill, Freedson, Clarkson, & Braun, 1991; Lin, Chen, Chen, Wu, & Tseng, 2009; Paschalis et al., 2005, 2008; Scott, Rozenek, Russo, Crussemeyer, & Lacourse, 2003; Tsatalas et al., 2013）。

先前文獻（Bishop, 2003a, 2003b; Woods, Bishop, & Jones, 2007）指出，在激烈運動或比賽前，進行熱身運動，可藉由加快血液循環、提高體溫及肌肉延展性與ROM，進而可提升運動表現及降低運動引起傷害之發生率。Bishop（2003b）和 Woods et al.（2007）指出可透過被動熱身，即以外在方法使身體肌肉表層溫度（body surface temperature, BST）、肌肉溫度或核心溫度

(core temperature, CT) 提高, 或主動熱身 (包括運動), 但比起被動熱身更可能帶來良好的新陳代謝及心血管循環〔可測動脈平均血流量 (mean blood flow, MBF) 或血流速 (mean blood velocity, MBV)〕效果。亦有研究指出以被動加熱提升直腸核心溫度及肌肉溫度方式, 並不會使人體肌肉內的熱休克蛋白 (heat shock proteins, HSPs) 增加 (Morton et al., 2007)。不過, Morton et al. (2006) 讓研究對象進行1回合非造成損傷性跑步機運動卻可以增加HSPs的含量。這可能是主動熱身對於預防肌肉損傷有效果的因素之一。跑步亦是一種人類日常的活動方式, 過去的文獻 (Bishop, 2003b; Woods et al., 2007) 指出, 以跑步運動做為主動熱身的方式, 將強度設定於40%-60%  $\dot{V}O_2\max$ , 將可有效地減少能量消耗及提升肌溫。早期文獻也曾探討1小時的長時間熱身運動的效應, 結果發現低於無氧閾值強度的設定, 可增加核心溫度 (CT), 但對血乳酸值 (blood lactate, LA) 無顯著增加的情形 (Genovely & Stamford, 1982)。Evans, Knight, Draper, and Parcell (2002) 沿用Nosaka and Clarkson (1997) 的向心運動 (100次等速向心收縮) 熱身方法, 在熱身之後立即進行肘屈肌群 (elbow flexors, EF) 的50次最大等速離心運動, 結果發現不同被動熱身的方法 (實驗組) 之間在離心前與離心後沒有顯著差異, 且顯示熱身對於EIMD的防治是沒有效果的。這可能是與向心熱身運動不僅可使肌肉溫度提高, 也引起運動後的疲勞 (約20%), 加上在沒有適當的休息下所導致的結果。近期由Ingham, van Someren, and Howatson (2010) 改善其方法, 讓10名大學生的肘屈肌群 (EF) 在EIMD之前, 進行間歇手舉啞鈴向心運動的熱身運動處理, 發現以這種非疲勞性且自由重量的向心收縮熱身運動, 可以有效減少肌力的流失、ROM變差及SOR上升, 更可增加運動表現。然而, 以動力計控制方式, 使用同樣100次等速向心收縮熱身運動, 但有不同結果的更新研究 (Takizawa, Soma, Nosaka, Ishikawa, & Ishii, 2012) 指出, 雖然

肌溫顯著增加了1.4°C, 仍無法顯著減少肌肉酸痛及肌力下降情形。

雖然先前文獻 (Woods et al., 2007) 指出, 在激烈運動/比賽前, 進行熱身運動, 可藉由加快血液循環、提高體溫及肌肉延展性與ROM, 進而可提升運動表現及降低運動引起傷害之發生率。然而, 過去大部分文獻 (例如Evans et al., 2002) 卻顯示, 熱身對EIMD防治是無顯著效果的。Weerapong (2005) 和Olsen, Sjøhaug, van Beekvelt, and Mork (2012) 卻發現, 人體膝屈肌群 (knee flexors, KF) 或膝伸肌群 (knee extensors, KE) 在EIMD之前, 進行100次腳後勾等速向心運動或20分鐘腳踏車的熱身運動處理, 可有效減輕EIMD造成之症狀並能加速運動表現恢復速度。這些文獻大多讓研究對象在進行1回合離心運動前, 以實驗室動力計儀器控制的熱身方法, 以觀察是否可降低EIMD程度與運動表現下降, 但通常皆不是以單次性長時間的動態熱身運動做為介入。再者, 過去文獻亦無同時監控身體肌肉溫度與血流, 無法得知其採用之短暫動態運動處理對EIMD之預防的效果。此外, RE對於EIMD可有效刺激下肢肌肉群產生顯著的變化影響, 然而過去對於EIMD對RE的研究較少著墨。由於上述研究幾乎都僅讓研究對象使用單一肌群 (EF、KE 或KF) 做為運動刺激部位而已, 故其研究結果無法反應至人體雙腿肌群 (KE及KF) 之先天載重特性或人體雙腿做EIMD前之預防情境上。基此, 本研究目的在於探討EIMD前進行低強度跑步運動對RE的影響。

## 貳、方法

### 一、研究對象

本研究招募16名大學健康男性學生做為研究對象, 其年齡在18-24歲之間, 且必須在過去一年期間無從事運動訓練或是規律運動者、無發生下肢骨頭肌肉神經等傷害疾病史, 並以前測的 $\dot{V}O_2\max$ 隨機分派至長時間跑步組 (long low-intensity running, LLR)

( $n = 8$ ) 及控制組 (Control, CON) ( $n = 8$ ) 等二組之中 (表一)。在實驗之前, 先向研究對象說明本研究的目的、實驗流程及參與本實驗所能獲得的好處, 以及在整個實驗流程中可能產生的風險等, 若研究對象對於本研究的說明無任何疑慮後並且同意參加本實驗時, 請其簽署「研究對象須知及參與同意書」以及填寫「研究對象健康調查表」。在進行實驗的期間, 實驗室溫度則保持 22-24°C, 濕度約為 50%-60%。

## 二、實驗步驟與流程

在實驗過程中, 研究對象先以最大攝氧量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ), 做為隨機方式分至: 低強度跑步運動 (LLR) 與控制 (CON) 二組之中。在進行阻力及跑步訓練之前, 先讓研究對象統一進行 5 分鐘的熱身伸展。正式進行最大等速離心收縮 (maximal isokinetic eccentric contractions, MAX) 時, LLR 組在進行 1 回合 100 次 KE 與 KF 的離心運動前 1.2 小時, 以 50% $\dot{V}O_{2\max}$  強度進行 1 回合 1 小時水平坡度跑步, CON 組僅進行與 LLR 組相同的 MAX。以便瞭解對肌肉損傷的反應。所有研究對象從事 11 天測試: 3 天前測 (含  $\dot{V}O_{2\max}$  測驗以及 2

次所有依變項前測)、1 次 1 小時跑步 (僅 LLR 組) + MAX + MAX 後測觀察、7 天 MAX 後測觀察。實驗流程及步驟如圖一。觀察的依變項包括肌肉損傷指標 (MVC、SOR) 及 RE 指標 ( $\dot{V}O_2$ 、HR、LA 及 RPE), 於過去文獻中 (Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009), 這些指標已被建議可做為間接評估 EIMD 的指標且具有良好的信度水準。

### (一) 前測

$\dot{V}O_{2\max}$  測驗使用原地跑步機 (Valiant, Lode B, V, Groningen, Netherlands), 將坡度設定在水平坡度 ( $0^\circ$ ) 的情形下, 並同時搭配使用能量代謝量測系統 (Vmax29c Series, SensorMedics Corp., Yorba Linda, CA, USA), 讓研究對象進行一次盡最大努力的漸增式跑步運動衰竭測試, 以便在此一最大運動測試過程中, 測出其  $\dot{V}O_{2\max}$  (Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009)。另外, 也使用研究對象在此一方式所測得的  $\dot{V}O_{2\max}$  值, 做為設定研究對象進行 1 回合 1 小時 50% $\dot{V}O_{2\max}$  強度水平坡度跑步時之強度的依據。使用 1 回合 1 小時 50% $\dot{V}O_{2\max}$  強度跑步運動進行動態熱身的理

表一 研究對象基本資料

組別及人數	年齡 (yr)	身高 (cm)	體重 (kg)	$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg/min)
LLR 組 ( $n = 8$ )	20.91 $\pm$ 1.64	172.64 $\pm$ 4.97	67.09 $\pm$ 8.84	50.38 $\pm$ 3.92
CON 組 ( $n = 8$ )	21.18 $\pm$ 1.25	171.68 $\pm$ 3.35	67.41 $\pm$ 6.97	50.28 $\pm$ 4.59

階段	前測				運動介入		後測 (恢復觀察期)										
天數	-4	-3	-2	-1	-1.2h	0	post	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\dot{V}O_{2max}$	X				↑ 1h run (LLR 組)	↑ MAX											
BST, CT	X				X												
MBF	X				X												
RE			X						X			X					X
MVC				X			X	X	X	X	X	X		X			X
SOR				X				X	X	X	X	X		X			X

圖一 實驗流程及步驟圖

註:  $\dot{V}O_{2\max}$ , 最大攝氧量; BST, 身體肌肉表層溫度; CT, 核心溫度; MBF, 動脈平均血流量; RE, 跑步經濟性; MVC, 最大等長肌力; SOR, 肌肉酸痛。



由：跑步的方式是一種比較接近人類平常的活動方式，40%-60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度的跑步運動可有效地提升肌溫並減少能量消耗（Bishop, 2003b; Woods et al., 2007），且1小時的長時間熱身運動於早期文獻已出現（Genovely & Stamford, 1982）。此外，水平坡度跑步運動已被證實不會造成肌肉損傷的情形（Lin et al., 2009）。在完成測驗後，至少間隔休息48小時再統一讓研究對象進行其他依變項的前測測驗；而本研究之所以選擇讓研究對象在接受 $\dot{V}O_2\text{max}$ 測驗後，需休息至少間隔48小時才讓研究對象進行其他測驗的理由，是要避免因疲勞因素而影響隨後測驗的實際表現（Braun & Dutto, 2003; Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。此外，本研究之研究對象的分組方式，是以研究對象在進行最大漸增跑步運動衰竭測驗之後，先依 $\dot{V}O_2\text{max}$ 的高低排列，並以每二位研究對象的 $\dot{V}O_2\text{max}$ 接近者為一單位，再以隨機分派至LLR（n = 8）及CON（n = 8）等二組之中。

## （二）最大等速離心收縮（MAX）

本研究MAX相關注意事項及實驗細節（包含校正、研究對象俯臥姿勢規範），主要參照原廠操作手冊實施。採全身水平俯臥姿勢，待引導研究對象舒適地俯臥於等速肌力測試訓練儀後，將椅背固定為水平0°，接著以三條皮帶交叉固定軀幹及骨盆的位置，以避免研究對象在測驗期間激烈的動作導致身體搖晃或移位；另外，研究對象的受測腿（雙腿以平衡次序輪流受測）之膝關節軸心必須對準力量計軸心，待研究對象膝關節完全放鬆後，將動力臂（與地面垂直）之角度設定為90度（完全伸直為0度）的角度。隨後，讓研究對象膝關節ROM從屈曲120度伸展0度，每秒60度的角速度下，進行1回合100次最大等速MAX的KE與KF收縮，雙腿四個不同肌群各做100次MAX（4回合x100次MAX），雙腿4個肌群採平衡次序做MAX，其各100次的MAX，共需進行10組，每組10次的KE與KF收縮，組與組間休息2分鐘（Boppart et al., 1999; Dieli-Conwright, Spektor, Rice, Sattler, & Schroeder, 2009）。此外，在進行

測驗過程中，統一要求所有研究對象必須將其雙手交叉放於下顎並全力做出大腿肌肉收縮用力，且不可以使用身體做出晃動或移動的情形，以確保在每次測驗時都是全力以赴（本研究施測人員也同時給予口頭上的鼓勵），以達到本研究實驗測量要求的一致性。

## （三）MAX後觀察期

LLR及CON組在MAX前、MAX後第0-5、7及10天各測一次所有依變項。LLR組在1小時跑步前及後，使用超音波儀器進行血流攝像，測量股動脈MBF，並且進行BST及CT的測量。RE（ $\dot{V}O_2$ 、HR、LA及RPE等項目）的分析時間點，則安排在MAX前、MAX後的第2、5和10天。測驗依變項說明如下：

### 1. 最大等長肌力（MVC）

本研究使用等速肌力測試訓練儀（Biodex Pro-3 System, Biodex Medical Systems, New York, NY, USA）讓研究對象的雙腿以平衡次序分別進行測驗：KE的MVC為膝關節ROM固定於彎曲80度下往前（外）踢的肌力峰值；KF的MVC為膝關節ROM固定於彎曲30度下往後（內）勾的肌力峰值。每個角度各分別接受3次的測量，次與次間休息45秒。每次所測得的3次肌力峰值之平均值，以做為本研究之MVC值。

### 2. 肌肉酸痛（SOR）

本研究使用一種主觀自覺「0-100公厘」的肌肉酸痛量表所測得，「0」端表示完全不會酸痛，而「100」端則表示非常、非常酸痛的程度（Chen, 2003, 2006; Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。本研究以觸摸式酸痛程度的模式進行評量，每次一開始要求研究對象腳尖與肩同寬立於約40公分高的登階上，接著施測人員統一以觸摸（按、捏）的方式2-3次針對KE或KF測量；在每次完成觸摸研究對象的KE或KF之後，就立即要求研究對象於0-100 mm肌肉酸痛量表上劃記自己主觀性的酸痛程度，即為本研究的SOR值。

### 3. 攝氧量（ $\dot{V}O_2$ ）

LLR組在原地跑步機（0°）上時，使用

50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度各進行1回合1小時的水平坡度跑步運動時，以及二個不同組別研究對象在原地跑步機（0°）上時，使用相同的90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度各進行1回合5分鐘的RE測驗時使用能量代謝量測系統（Vmax29c Series, SensorMedics Corp., Yorba Linda, CA, USA）收集LLR組研究對象在1小時過程中 $\dot{V}O_2$ 的平均值，以及收集每一位研究對象在RE測驗時第4分鐘至第5分鐘之間的 $\dot{V}O_2$ 的平均值，即為本研究進行RE測驗時的 $\dot{V}O_2$ （Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。

#### 4. 心跳率（HR）

本研究使用Polar運動心率錶（Polar RS800, Polar Electro Inc., Kempele, Finland）讓二個不同組別研究對象在原地跑步機（0°）上時，使用相同的90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度各進行1回合5分鐘的RE測驗時，同時使用Polar運動心率錶（Polar RS800, Polar Electro Inc., Kempele, Finland）即時的監控其心跳率的變化，全程要求所有研究對象佩戴，以全程記錄研究對象進行測試時的心跳反應，並且以Polar Precision Performance SW 3.0（Polar RS800, Polar Electro Inc., Kempele, Finland）軟體分析每一位研究對象在第4分鐘至第5分鐘之間的HR的平均值，即為本研究進行RE測驗時的HR（Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。

#### 5. 運動自覺量表（RPE）

本研究使用Borg（1970）所提出的RPE，讓二個不同組別的研究對象，各自在原地跑步機（0°）上使用相同90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 進行1回合5分鐘的RE測驗時的第4分鐘50秒時，讓研究對象針對該次進行跑步運動時的反應程度，做出自我主觀評量，即為本研究進行RE測驗時的RPE值（Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。

#### 6. 血乳酸（LA）

本研究使用拋棄式乳酸測試片（Lactate Pro<sup>TM</sup>, Tester Strip, Arkray Inc., Kyoto, Japan）及攜帶式乳酸分析儀（Lactate Pro<sup>TM</sup>, Tester

Meter, Arkray Inc., Kyoto, Japan），讓二個不同組別的研究對象，各自在原地跑步機（0°）上使用相同90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 進行1回合5分鐘RE測驗之後的第3分鐘時，分析研究對象指尖血液的乳酸值，即為本研究進行RE測驗時的LA值（Braun & Dutto, 2003; Chen, Chen, et al., 2007; Chen et al., 2008; Chen et al., 2009）。

#### 7. 動脈平均血流量（MBF）

本研究使用線性探頭（B-mode; Frequency: 7.5-MHz; Deep: 9 cm）之超音波影像儀器（Terason t3000 Ultrasound System, Terason Co., Burlington, MA, USA）拍攝研究對象在沒有干擾且安靜放鬆情況下，以及1回合1小時跑步運動前後進行測驗仰躺時超音波血流攝像大腿內側腹股溝韌帶下方的股總動脈之動脈平均血流量（MBF）。

#### 8. 身體肌肉表層溫度（BST）、核心溫度（CT）

前測時，研究對象進入實驗室適應室內溫度10分鐘並休息後，讓研究對象仰躺（使用於KE）及俯臥（使用於KF）於平台上，雙腳自然伸直與肩同寬；LLR組的研究對象，在原地跑步機（0°）上使用50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 進行1回合1小時（動態運動前、中及後）的水平坡度跑步運動時，本研究使用BIOPAC MP36 全功能4頻道生理紀錄系統（MP36 4-channel Data Acquisition System; Biopac Systems, Inc., Goleta, CA, USA）測量其KE及KF正中位置之BST；使用Braun 6013耳溫槍（Braun 6013 Ear Thermometer, Braun Co., Kronberg, Germany）探頭置入耳道中，盡量與耳道密合，放置正確後則可按下測試鈕，記錄當時的耳內鼓室溫度。此外，耳溫的測量上，分別測量左右耳，求其平均值做為本研究所用之CT值。

### 三、統計分析

以相依樣本重複量數變異數分析（ANOVA）考驗LLR組在進行1回合1小時50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 跑步運動後，每一個依變項是否有差異。所有依變項以二因子混合設計

ANOVA進行考驗，瞭解二個不同組別在離心運動前後，是否會造成每一個依變項顯著的改變（組別×時間），若交互作用有顯著時，再進一步以杜凱式法進行事後比較。本研究的統計顯著差異水準設定為  $p \leq .05$ 。

## 參、結果

本研究發現，LLR組進行1回合低強度跑步運動前、後之BST、CT、MBF及LA變化情形如表二，僅LA無顯著變化（ $p > .05$ ）。

本研究發現，二個不同組別的研究對象在進行MAX後，會使肌肉損傷依變項引起明顯變化，並且兩組之間會有顯著差異。例如MVC在MAX後第0-5、7、10天，LLR組下降程度皆顯著比CON組來得小（ $p < .05$ ；圖二）。在SOR方面，MAX後的第0-4天，LLR組酸痛程度比CON組明顯來得小（ $p < .05$ ；圖三）。本研究LLR組及CON組進行MAX

前所測得的肌肉損傷依變項前測結果分別為SOR:  $0.00 \pm 0.00$  vs.  $0.00 \pm 0.00$  mm; MVC:  $172.60 \pm 18.42$  vs.  $178.30 \pm 16.33$  Nm。

本研究發現， $\dot{V}O_2$ 、HR、LA及RPE在MAX後的第2、5天，LLR組增加程度皆顯著比CON組來得小（ $p < .05$ ；圖四）。但在MAX後第10天兩者之間已無顯著差異（ $p > .05$ ）。本研究LLR組及CON組進行MAX前所測得的RE依變項前測結果分別為 $\dot{V}O_2$ :  $45.81 \pm 3.30$  vs.  $45.26 \pm 5.05$  ml/kg/min; HR:  $177.92 \pm 7.46$  vs.  $176.47 \pm 3.93$  beats/min; LA:  $10.04 \pm 2.77$  vs.  $10.71 \pm 1.56$  mM/L; RPE:  $12.75 \pm 3.28$  vs.  $12.38 \pm 1.85$ 。

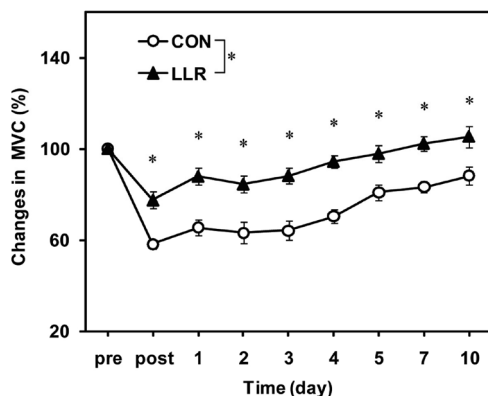
## 肆、討論

本研究主要發現為：一、進行1回合1小時50% $\dot{V}O_{2max}$ 的低強度跑步運動確實可以增加血流量（MBF:  $\uparrow 120\%$ ）及提高體

表二 LLR組進行1回合低強度跑步運動前、後的BST、CT、MBF及LA變化

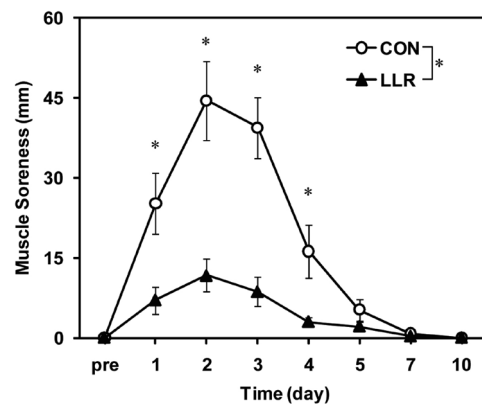
依變項	Pre	Post (d0)
BST (°C)	$31.72 \pm 1.08$	$34.60 \pm 1.03^*$
CT (°C)	$36.20 \pm 0.82$	$36.62 \pm 0.90^*$
MBF (ml/min)	$334.36 \pm 77.64$	$714.30 \pm 132.92^*$
LA (mM/L)	$1.47 \pm 0.33$	$1.54 \pm 0.44$

註：BST，身體肌肉表層溫度；CT，核心溫度；MBF，動脈平均血流量；LA，血乳酸；\*表示與前測值（Pre）達到統計差異（ $p < .05$ ）。



圖二 不同二組在進行MAX前後對MVC的變化

\*表示組與組之間達顯著差異（ $p < .05$ ）。



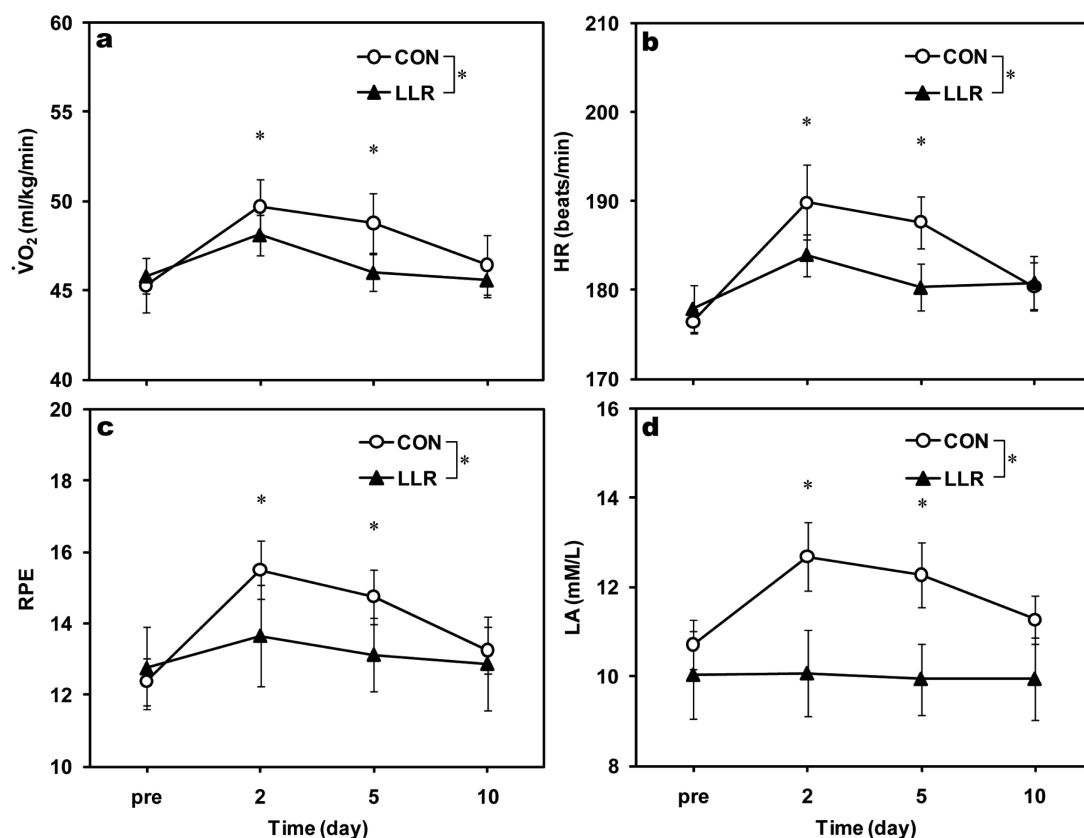
圖三 不同二組在進行MAX前後對SOR的變化

\*表示組與組之間達顯著差異（ $p < .05$ ）。

溫 (BST:  $\uparrow 2.9^{\circ}\text{C}$ ; CT:  $\uparrow 0.4^{\circ}\text{C}$ ) (表二)；二、肌肉損傷指標 (MVC  $\downarrow$  及 SOR  $\uparrow$ ；圖二及圖三) 及 RE 指標 ( $\dot{V}\text{O}_2$ 、HR、RPE 及 LA 增加程度；圖四)，LLR 組均比 CON 組顯著來得小，且 LLR 組皆能在觀察的 10 天之內恢復至前測值水準。本研究結果支持 Bishop (2003a)、Bishop (2003b) 與 Woods et al. (2007) 所提出理論的研究推測。本研究的結果更說明了主動熱身的強度若設定在約 40%-60%  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  可有效地提升肌肉溫度 (Woods et al., 2007)，以提供肌肉及核心溫度來增強酶的活化或是改變肌肉的招募情形 (Rossiter et al., 2001)，這也就是所謂的熱身。溫度一直被視為熱身主要的觀察變項，可大略分為溫度相關及非溫度相關兩類，且熱身的技術一般又可分成主動熱身與被動熱身兩種，而兩者比較，主動比起被動更可

能帶來良好的新陳代謝及心血管循環效果 (Bishop, 2003a, 2003b; Woods et al., 2007)。以上的綜評性文章的推論，已由本研究的結果：增加血流量及提高體溫獲得驗證。本研究 50%  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  的強度跑步運動在跑步機上的平均速度大約為  $112.5 \pm 6.9 \text{ m/min}$  ( $1.8 \pm 0.1 \text{ m/s}$ )，介於快走與慢跑 (jogging) 的程度。

本研究超音波血流攝像統一於 1 回合低強度跑步運動後的第 4.5 分鐘測量，與其他研究 (duManoir, DeLorey, Kowalchuk, & Paterson, 2010; Fukuba et al., 2004; Hoelting, Scheuermann, & Barstow, 2001; MacPhee, Shoemaker, Paterson, & Kowalchuk, 2005; Rådegran & Saltin, 1999) 可觀察整個跑步運動過程以及運動後立即變化情形相互比較，推測其若是測量觀察相同時間點 (指運動後的第 4.5 分鐘)，本研究的血流量數據可能略低於其他相關文獻



圖四 不同二組在進行MAX前後對 $\dot{V}\text{O}_2$ (a)、HR(b)、RPE(c)及LA(d)的變化

註： $\dot{V}\text{O}_2$ ，攝氧量；HR，心跳率；RPE，運動自覺量表；LA，血乳酸；\*表示組與組之間達顯著差異 ( $p < .05$ )。



(714 vs. 1,000-2,000 ml/min)，這可能是由於運動型態不同的緣故，因為本研究是讓研究對象進行全身性有氧熱身跑步運動，其他研究則是採用坐姿或俯臥或仰躺姿勢，進行膝伸肌群（KE）之腳踏車或測功計的阻力運動（duManoir et al., 2010; Fukuba et al., 2004; MacPhee et al., 2005）。往後可針對同樣運動強度下，不同運動型態（例如跑步機 vs. 腳踏車 vs. 橢圓機）或局部肌群〔肘屈肌群（EF） vs. 膝伸肌群（KE）〕進行探討。

本研究LLR組是透過主動熱身的方式使身體肌肉表層溫度及核心溫度升高（BST:  $\uparrow 2.9^{\circ}\text{C}$ ; CT:  $\uparrow 0.4^{\circ}\text{C}$ ）（表二），達到介入處理的目的。相較於之前文獻（Evans et al., 2002; Nosaka, Sakamoto, Newton, & Sacco, 2004）藉由電磁波被動加熱使肌肉溫度上升 $3.5^{\circ}\text{C}$ 及接近 $3^{\circ}\text{C}$ ，對隨後引起的肌肉損傷並沒有顯著降低的影響，這可能因主動比起被動更可能帶來良好的新陳代謝及心血管循環效果（Bishop, 2003a, 2003b; Woods et al., 2007），並對EIMD的防治具有潛在的重要性。此外，有研究指出，以被動加熱使直腸核心溫度 $\uparrow 1.5^{\circ}\text{C}$ 、肌肉溫度 $\uparrow 3.6^{\circ}\text{C}$ 的方式，並不會使人體肌肉內的熱休克蛋白（HSPs）增加（Morton et al., 2007）。不過，Morton et al.（2006）讓研究對象進行1回合45分鐘乳酸閾值強度的非造成損傷性跑步機運動卻可以增加HSPs的含量，這是第一篇指出人體骨骼肌的HSPs在中等強度且非損傷性跑步後，不同天中含量之變化情形的研究。這可能是主動熱身對於預防肌肉損傷有效果的因素之一。本研究建議往後可進一步針對HSPs分析，更深入探討熱身對肌肉損傷的影響。

過去以熱身運動對人體下肢肌群肌肉損傷影響的研究，僅都使用單一肌群（KE或KF）做為引發部分，並以腳踏車熱身運動介入處理，結果發現雖可降低肌肉酸痛，但無法預防肌力的下降（Olsen et al., 2012）；或者是在熱身跑步強度不夠〔3.1-3.4 METs;（Law & Herbert, 2007）〕、局部肌群熱身且需要特殊昂貴儀器輔助（Weerapong, 2005），可能不足以當作能預防EIMD的實驗

設計之影響。近期Takizawa et al.（2012）以力量計控制方式，同樣改善並沿用Nosaka and Clarkson（1997）的100次等速向心收縮（ $< 5\text{Nm}$ ）熱身運動方法，結果發現肌溫顯著增加 $1.4^{\circ}\text{C}$ ，但仍無法明顯減少肌肉酸痛及肌力下降情形。對照Ingham et al.（2010）間歇手舉啞鈴向心運動的熱身運動處理可以有效減少肌力的流失、ROM變差及SOR上升，更可增加運動表現的結果，因此研究並無觀察肌溫的變化情形，無法得知肌肉活化的狀態。但以上這些研究的設計，都僅採用局部的熱身方式，且大多是在實驗室使用力量計儀器控制的熱身方法，並無如本研究採用簡易方便的施測方法。本研究之所以採用1小時長時間跑步運動的設計，是要確保達到足夠充分有效熱身，觀察對隨後MAX造成肌肉損傷的影響，況且，這樣的長時間熱身實驗設計，已在過去早期的研究中被使用過（Genovely & Stamford, 1982）。近期也有文獻使用1回合1小時中低強度的有氧跑步運動，發現可能可以改善氧化壓力對動脈功能〔動脈波傳導速率（pulse wave velocity, PWV）〕所造成的損害（McClean et al., 2007）。此外，水平坡度跑步運動已被證實不會造成肌肉損傷（Lin et al., 2009）。

本研究主要目的在於探討LLR組及CON組從事最大等速離心收縮對跑步經濟性的影響，結果發現LLR組在MAX後的第2及5天，RE指標變差程度皆顯著比CON組來得小（圖四）。本研究RE所採用的跑步強度為 $90\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ ，平均速度為 $3.4 \pm 0.3\text{m/s}$ 。CON組的RE結果與之前希臘研究團隊（Paschalis et al., 2005; Vassilis et al., 2008）做比較，結果其發現以KE進行最大等速離心造成損傷後的RE並不會有顯著的變化。雖然Paschalis et al.的研究團隊之實驗結果呈現的肌肉損傷程度與Chen, Nosaka, et al.（2007）、Scott et al.（2003）很接近，甚至高於Braun and Dutto（2003）、Hamill et al.（1991），但推論其原因，可能與進行的跑步強度有關，也就是RE有顯著變化的研究所使用的強度為 $> 85\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ （Braun & Dutto; Chen,

Nosaka et al., 2007)，無顯著變化的則使用75% $\dot{V}O_2\text{max}$  (Paschalis et al.; Vassilis et al., 2008)。另外，CON組的RE結果亦與Chen et al. (2009)、Burt et al. (2013)相較，結果發現是相似的，這亦是與運動強度有關，因為這些研究在EIMD時，若要能觀察到RE產生任何的變化，需要將強度設定為 $> 80\% \dot{V}O_2\text{max}$ 或是 $\geq$ 乳酸閾值 (lactate threshold, LT)。換句話說，造成以上結果不一致的部分原因，除了可能是與研究對象本身有無受過訓練（訓練者對RE跑步測驗可能較為敏銳）有關之外，先前大部分的相關文獻 (Scott et al., 2003; Paschalis et al.; Hamill et al., 1991) 均指出，會造成無法有效觀察到RE效果的主要原因，可能是由實驗設計所使用的RE測驗之強度太低有關（低於80%）。然而，Burt et al. (2013) 在恢復觀察的時間不夠，只有EIMD後的1-2天，似乎不能夠很完整地看出變化，但以CK活性而言，離心後1-2天 (107.0-157.4 IU/L) 與前測值 (76.3 IU/L) 無顯著變化，可推測其引起肌肉損傷的程度可能不明顯。

此外，RE變差因素與增加快縮肌 (type II 肌纖維) 的招募因素有關 (Calbet, Chavarren, & Dorado, 2001; Gleeson, Blannin, Walsh, Field, & Pritchard, 1998)。於肌肉離心收縮的型態中，快縮肌將優先被招募且容易造成損傷 (Chen, Nosaka, et al., 2007)。在MAX後進行90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度RE測驗，與前測時相比，造成較高 $\dot{V}O_2$ 及較多LA的現象 (圖四)，可能是增加運動單位活化及無氧代謝的因素所致 (Braun & Dutto, 2003; Chen et al., 2009)。因此，RE變差推測是由於肌肉功能受損之故 (Eston, Lemmey, McHugh, Byrne, & Walsh, 2000; Kyröläinen et al., 2000)。

目前由不習慣的運動（例如等速離心或跳躍動作）或下坡跑 (DHR) 引發肌肉損傷，可能不會 (Hamill et al., 1991; Paschalis et al., 2005; Scott et al., 2003; Vassilis et al., 2008) 或會 (Braun & Dutto, 2003; Chen, Nosaka, et al., 2007; Chen et al., 2009)，甚至只有部分會 (Burt et al., 2013) 影響RE產生變化的結果尚未定論，可能需要更多

的研究才能證實。事實上，一篇最新研究 (Tsatalas et al., 2013) 指出，同時誘發雙腿兩個肌群的EIMD之後，以三種不同跑步速度 (2.0、2.5及3.0m/s) 觀察跑步運動學參數的變化情形，均能觀察出參數顯著的變化。這是第一篇以提高肌肉損傷程度對跑步生物力學的研究。其引起肌肉損傷的方法與本研究類似，主要在於離心次數的不同 (75 vs. 100次)，其次為離心時採用的姿勢 (坐 vs. 俯臥姿) 以及ROM (100° vs. 120°)。因此，可能推翻有關人體EIMD與RE的最新綜評性文章 (Assumpção, Lima, Oliveira, Greco, & Denadai, 2013) 所建議：「使用造成EIMD的方式若是為下坡跑步運動 (DHR) 的話，需要引起RE明顯變化的跑步強度約為 $> 65\% \dot{V}O_2\text{max}$ ；但若是為肌力運動 (跳躍或等速離心運動) 的話，則要將近90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 」之論點。因為若是引發肌肉損傷的量夠大的話，只要以較低強度的跑步速度就可以觀察出RE顯著的變化情形。

## 伍、結論

本研究結果顯示，在運動引起肌肉損傷 (EIMD) 前，從事低強度跑步運動引起體溫及血液流量顯著提高下，可降低隨後進行EIMD的症狀，進而減少跑步經濟性變差的程度。因此，長時間低強度跑步運動，似乎可以做為減緩EIMD症狀之熱身方法。

## 引用文獻

- Armstrong, R. B., Warren, G. L., & Warren, J. A. (1991). Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. *Sports Medicine*, 12(3), 184-207.
- Assumpção, C. de O., Lima, L. C. R., Oliveira, F. B. D., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2013). Exercise-induced muscle damage and running economy in humans. *Scientific World Journal*, 2013, 1-11.
- Bishop, D. (2003a). Warm up I: Potential

- mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439-454.
- Bishop, D. (2003b). Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483-498.
- Boppert, M. D., Aronson, D., Gibson, L., Roubenoff, R., Abad, L. W., Bean, J., et al. (1999). Eccentric exercise markedly increases c-JunNH<sub>2</sub>-terminal kinase activity in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 87(5), 1668-1673.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92-98.
- Braun, W. A., & Dutto, D. J. (2003). The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1-2), 29-34.
- Braun, W. A., & Paulson, S. (2012). The effects of a downhill running bout on running economy. *Research in Sports Medicine*, 20(3-4), 274-285.
- Burt, D., Lamb, K., Nicholas, C., & Twist, C. (2013). Effects of repeated bouts of squatting exercise on sub-maximal endurance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2), 285-293.
- Calbet, J. A. L., Chavarren, J., & Dorado, D. (2001). Running economy and delayed onset muscle soreness. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(1), 18-26.
- Chen, H. L., Nosaka, K., & Chen, T. C. (2012). Muscle damage protection by low-intensity eccentric contractions remains for 2 weeks but not 3 weeks. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 555-565.
- 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(2), 115-121.
- Chen, T. C. (2006). Variability in muscle damage after eccentric exercise and the repeated bout effect. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77(3), 374-383.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Nosaka, K. (2010). Potent protective effect conferred by four bouts of low intensity eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 1004-1012.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Wu, C. J., Lin, M. R., Chen, C. H., Wang, L. I., et al. (2007). Changes in running economy following a repeated bout of downhill running. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 5(2), 109-117.
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 111(2), 211-223.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Lin, J. C. (2005). Effects of immobilization and active mobilization on recovery of muscle after eccentric exercise. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 3(1), 1-8.
- Chen, T. C., Nosaka, K., Lin, M. J., Chen, H. L., & Wu, C. J. (2009). Changes in running economy at different intensities following downhill running. *Journal of Sports Sciences*, 27(11), 1137-1144.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Tu, J. H. (2007). Changes in running economy following downhill running. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 55-63.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Wu, C. C. (2008). Effects of a 30-min running performed daily

- after downhill running on recovery of muscle function and running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 271-279.
- 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.
- Dieli-Conwright, C. M., Spektor, T. M., Rice, J. C., Sattler, F. R., & Schroeder, E. T. (2009). Influence of hormone replacement therapy on eccentric exercise induced myogenic gene expression in postmenopausal women. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1381-1388.
- duManoir, G. R., DeLorey, D. S., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2010). Kinetics of VO<sub>2</sub> limb blood flow and regional muscle deoxygenation in young adults during moderate intensity, knee-extension exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 607-617.
- Eston, R. G., Lemmey, A. B., McHugh, P., Byrne, C., & Walsh, S. E. (2000). Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10(4), 199-204.
- Evans, R. K., Knight, K. L., Draper, D. O., & Percell, A. C. (2002). Effects of warm-up before eccentric exercise on direct markers of muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 1892-1899.
- Fukuba, Y., Ohe, Y., Miura, A., Kitano, A., Endo, M., Sato, H., et al. (2004). Dissociation between the time courses of femoral artery blood flow and pulmonary  $\dot{V}O_2$  during repeated bouts of heavy knee extension exercise in humans. *Experimental Physiology*, 89(3), 243-253.
- Genovely, H., & Stamford, B. A. (1982). Effects of prolonged warm-up exercise above and below anaerobic threshold on maximal performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(3), 323-330.
- Gleeson, M., Blannin, A. K., Walsh, N. P., Field, C. N. E., & Pritchard, J. C. (1998). Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(3), 292-295.
- Hamill, J., Freedson, P. S., Clarkson, P. M., & Braun, B. (1991). Muscle soreness during running: Biomechanical and physiological considerations. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7(2), 125-137.
- Hoelting, B. D., Scheuermann, B. W., & Barstow, T. J. (2001). Effect of contraction frequency on leg blood flow during knee extension exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(2), 671-679.
- Ingham, S. A., van Someren, K. A., & Howatson, G. (2010). Effect of a concentric warm-up exercise on eccentrically induced soreness and loss of function of the elbow flexor muscles. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1377-1382.
- Kyröläinen, H., Pullinen, T., Candau, R., Avela, J., Huttunen, P., & Komi, P. V. (2000). Effects of marathon running on running economy and kinematics. *European Journal of Applied Physiology*, 82(4), 297-304.
- Law, R. Y. W., & Herbert, R. D. (2007). Warm-up reduces delayed-onset muscle soreness but cool-down does not: A randomised controlled trial. *Australian Journal of Physiotherapy*, 53(2), 91-95.



- Lieber, R. L., & Friden, J. (2002). Mechanisms of muscle injury gleaned from animal models. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(11), S70-S79.
- Lin, M. J., Chen, T. C., Chen, H. L., Wu, C. J., & Tseng, W. C. (2009). Effects of gradient variations on physiological responses to a 30-minute run. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 7(2), 85-90.
- MacPhee, S. L., Shoemaker, J. K., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2005). Kinetics of O<sub>2</sub> uptake, leg blood flow, and muscle deoxygenation are slowed in the upper compared with lower region of the moderate-intensity exercise domain. *Journal of Applied Physiology*, 99(5), 1822-1834.
- McClellan, C., McLaughlin, J., Burke, G., Murphy, M. H., Trinick, T., Duly, E., et al. (2007). The effect of acute aerobic exercise on pulse wave velocity and oxidative stress following postprandial hypertriglyceridemia in healthy men. *European Journal of Applied Physiology*, 100(2), 225-234.
- Morton, J. P., MacLaren, D. P., Cable, N. T., Bongers, T., Griffiths, R. D., Campbell, I. T., et al. (2006). Time course and differential responses of the major heat shock protein families in human skeletal muscle following acute nondamaging treadmill exercise. *Journal of Applied Physiology*, 101(1), 176-182.
- Morton, J. P., MacLaren, D. P., Cable, N. T., Campbell, I. T., Evans, L., Bongers, T., et al. (2007). Elevated core and muscle temperature to levels comparable to exercise do not increase heat shock protein content of skeletal muscle of physically active men. *Acta Physiologica*, 190(4), 319-327.
- Nosaka, K., & Clarkson, P. M. (1997). Influence of previous concentric exercise on eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 15(5), 477-483.
- Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M., & Sacco, P. (2004). Influence of pre-exercise muscle temperature on responses to eccentric exercise. *Journal of Athletic Training*, 39(2), 132-137.
- Olsen, O., Sjøhaug, M., van Beekvelt, M., & Mork, P. J. (2012). The effect of warm-up and cool-down exercise on delayed onset muscle soreness in the quadriceps muscle: A randomized controlled trial. *Journal of Human Kinetics*, 35, 59-68.
- Parker, B. A., Augeri, A. L., Capizzi, J. A., Ballard, K. D., Troyanos, C., Baggish, A. L., et al. (2012). Effect of statins on creatine kinase levels before and after a marathon run. *American Journal of Cardiology*, 109(2), 282-287.
- Paschalis, V., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A. Z., Theoharis, V., Karatzaferi, C., et al. (2008). Isokinetic eccentric exercise of quadriceps femoris does not affect running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1222-1227.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A. Z., & Theoharis, V. (2005). The effects of muscle damage on running economy in healthy males. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 827-831.
- Rådegran, G., & Saltin, B. (1999). Nitric oxide in the regulation of vasomotor tone in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 276(6), H1951-H1960.
- Rossiter, H. B., Ward, S. A., Kowalchuk, J. M., Howe, F. A., Griffiths, J. R., & Whipp, B. J. (2001). Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high intensity knee-extension exercise in humans. *Journal of Physiology*, 537(1), 291-303.
- Scott, K. E., Rozenek, R., Russo, A. C., Crusemeyer, J. A., & Lacourse, M. G. (2003). Effects of delayed onset muscle

soreness on selected physiological responses to submaximal running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 652-658.

Takizawa, K., Soma, T., Nosaka, K., Ishikawa, T., & Ishii, K. (2012). Effect of warm-up exercise on delayed-onset muscle soreness. *European Journal of Sport Science*, 12(6), 455-461.

Tee, J. C., Bosch, A. N., & Lambert, M. I. (2007). Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 37(10), 827-836.

Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Sideris, V., Lazaridis, S., Kotzamanidis, C., et al. (2013). The effects of eccentric exercise-induced muscle damage on running kinematics at different speeds. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 288-298.

Weerapong, P. (2005). *Preexercise strategies: The effects of warm-up, stretching, and massage on symptoms of eccentric exercise-induced muscle damage and performance*. Unpublished doctoral dissertation, Auckland University of Technology, Auckland.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Woods, K., Bishop, P., & Jones, E. (2007). Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Medicine*, 37(12), 1089-1099.