

不同強度的手臂離心運動對運動誘發肌肉損傷之影響

詹貴惠^{1,*}、陳昱光²

¹南開技術學院休閒事業管理系 助理教授

²大葉大學運動事業管理學系 學生

摘要

本研究旨在探討不同強度的離心運動所造成之運動誘發肌肉損傷的症狀是否有差異，研究以六位健康男性大學生為對象，採隨機、交叉設計，每位受試者分別以非慣用手臂進行高強度、中強度與低強度之伸展運動。高強度之運動為80%的最大肌力之負荷、8次、6組，中強度之運動為70%的最大肌力之負荷、12次、8組，低強度之運動則為60%的最大肌力之負荷、19次、10組，組間之休息時間均為2.5分鐘。在運動前、運動後及運動後第1、3、7、10、14天均測量關節活動範圍、疼痛指數、手臂臂圍及血液肌酸肌酶 (CK) 之活性，所得數據以相依樣本二因子變異數分析與Tukey's法事後比較進行統計分析。研究結果顯示此三種強度的手臂離心運動後3天內，均會有顯著的關節活動範圍變小、肌肉酸痛及手臂腫脹等肌肉損傷的情況 ($p < .05$)，但血液CK活性並無任何變化；此外，三種不同的強度與反覆次數對運動所造成的肌肉損傷的情況並無顯著的差異。本研究結果顯示以最大肌力的80%、70%與60%之強度進行手臂離心運動，其所造成之肌肉損傷反應是相似的。

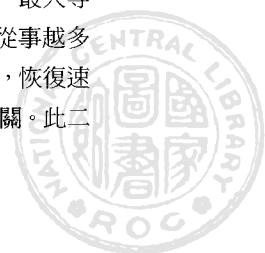
關鍵詞：離心運動、運動誘發肌肉損傷、關節活動範圍、肌肉酸痛、肌酸激酶

壹、緒論

肌肉雖然是一種富有彈性的組織，但在進行不熟悉的動作後仍可能有微小的傷害 (micro-damage) 發生 (Hoppeler, 1986)，此種傷害稱之為運動誘發肌肉損傷 (exercise-induced muscle damage, EIMD)。EIMD 最常出現於高強度的離心運動 (eccentric exercise) 之後 (Byrne & Eston, 2002a; Byrne & Eston, 2002b; Byrne, Twist & Eston, 2004)，常伴隨著肌肉酸痛 (muscle soreness)、腫脹、關節活動範圍 (range of movement, ROM) 變小、肌力減退及血漿中之肌肉蛋白酵素--肌酸激酶 (creatinine kinase, CK) 活性增加等症狀 (Chen & Chen, 2004; Paschalis et al., 2005a; Shahbazzpour, Carroll, Riek & Carson, 2004)。

對於造成 EIMD 的手臂運動，各研究所用的強度與方式並不一致。Lenn et al. (2002) 與 Shahbazzpour et al. (2004) 的研究均是讓受試者進行 50 次的手肘伸展 (elbow extension) 動作，Childs, Jacobs, Kaminski, Halliwell, and Leeuwenburgh (2001) 與 Howatson and Van Someren (2003)

的研究則分別以最大肌力之 80% 與 70% 的強度，進行反覆 10 次、持續 3 組的手臂曲屈 (arm curl) 的動作，這些研究所用的運動方式均可誘使 EIMD 的發生；但是並無法得知這些研究所造成之肌肉損傷程度是否會有差異，故部份研究開始探討不同強度的運動對 EIMD 的影響。Paschalis, Koutedakis, Jamurtas, Mougios, and Baltzopoulos (2005b) 以總負荷量相同但不同強度的負荷讓受試者進行二次股四頭肌的離心運動，以比較運動後四天內二種不同強度的運動間 CK、ROM、延遲性肌肉酸痛 (delayed onset muscle soreness, DOMS) 及肌力影響的差異；結果顯示運動後兩組之肌肉損傷程度相似，但高強度組有較佳之肌力表現。國內學者 Chen and Chen (2004) 以 36 位大學生為受試者，隨機分為三組，分別以 80% 之最大等長肌力進行 24、50 或 70 次的非慣用手二頭肌之離心收縮運動，以比較三種不同反覆次數的運動間上臂圍、關節活動範圍、最大等長肌力以及血液 CK 活性的差異；結果顯示肌肉從事越多次的離心收縮，其所引起的損傷程度也就較明顯，恢復速度也較慢；而酸痛程度與離心收縮次數的多寡無關。此二



研究均顯示不同反覆次數的運動所造成的肌肉酸痛程度並無差異，且高反覆次數的離心運動對肌力的影響較低反覆次數者為小；但對於 ROM 及 CK 的變化則無一致的結果。然而，其所採用的運動方式與從事運動指導時之實際情形並不同。

一般進行重量訓練時，會依據運動者之需求（提昇肌力或肌耐力），而給予不同強度的負荷，訓練的組數 (set) 與反覆次數 (repetition) 會隨運動的強度而有所不同。而不同強度與反覆次數之重量訓練所造成的肌肉損傷程度是否相同?是為本研究所欲探討之問題。故本研究以重量訓練指導員常用之最大肌力 80%、70%與 60%的負荷量為強度，搭配不同的組數與次數，進行手臂的伸展運動，以了解其所造成之肌肉損傷程度的差異情形，作為重量訓練參與者及指導者之參考。

貳、研究方法

一、受試者

以6位無抽煙、喝酒習慣的健康男性大學生為對象，受試者均不會有肱二頭肌、手臂、手肘嚴重受傷或骨折的情形，且在實驗前一個月內沒有從事規律之重量訓練或經常性地激烈運動。

二、實驗設計

實驗採隨機、交叉 (cross-over) 設計，受試者在實驗前一週先測量非慣用手臂之最大肌力 (表一)，之後分別以非慣用手臂進行高、中、低三種不同負荷強度與反覆次數的手臂伸展運動 (每次運動至少間隔 3 週)，以誘使肌肉損傷的發生。受試者在實驗期間不得從事激烈的運動或肌力訓練，且在經過離心運動後，不得進行冷療、冰敷、按摩等可能改善肌肉酸痛、水腫情況的恢復方式。

表一 受試者之最大肌力

受試者編號	最大肌力 (kg)
1	21.0
2	15.5
3	21.0
4	30.0
5	21.0
6	40.0
平均數±標準差	24.75±8.04

三組運動之內容為：『高強度組』：強度為最大肌力之 80%、反覆 8 次、持續 6 組；『中強度組』：強度為最大肌力之 70%、反覆 12 次、持續 8 組；『低強度組』：強度為最大肌力之 60%、反覆 19 次、持續 10 組；組間休息時間為 2.5 分鐘。

在運動前 (pre)、運動後 (post) 及運動後第 1、3、7、10、14 天 (d1, d3, d7, d10, d14) 均測量受試者之關節活動範圍、疼痛指數、手臂臂圍及血液 CK 活性，測量時間均為上午 7:00~10:00。

三、儀器設備與測量方法

1. 最大肌力測試：以長50公分、寬30公分、傾斜角度35°的斜板與可調整重量之啞鈴 (PowerBlock®, USA) 為工具，測量時將受試者手肘固定在斜板中央，以非慣用手曲屈的方式手持啞鈴，進行手臂伸展的動作 (結束時手臂需回到原點)，測量一次最大反覆所能負荷的重量。
2. 離心運動：以前述之斜板與啞鈴為工具，依受試者之最大肌力計算負荷量，讓受試者以非慣用手進行前述之手臂伸展的動作。若受試者無法完成整個動作，則伸展的動作由受試者自行進行，而由研究人員協助完成曲屈的動作。
3. 疼痛指數測量：以視覺疼痛量表 (visual analog scale) 供受試者填寫，該量表為一條長10 cm的數線，二側分別代表”正常” (0 cm) 與”非常非常酸痛” (10 cm)。受試者紀錄非慣用手臂上鷹嘴突 (olecranon process) 上方1 cm、7 cm、15 cm 處固定位置被觸壓及進行伸展時的疼痛感覺，並計算其總合 (最大值為30，最小值為0)。
4. 手臂圍測量：以皮尺測量手臂外側鷹嘴突上方1 cm、7 cm、15 cm 處之臂圍。
5. 關節活動範圍測量：以關節角度器 (Lafayette Instrument Co., Model 01135, USA) 測量非慣用手臂自然伸直至無疼痛地彎曲位置間的角度。
6. 血液前處理與分析：由指尖取200 μ L的血液，經離心後取血漿部分，以DTSC II (Johnson & Johnson Ortho-Clinical Diagnostics, USA) 血液分析儀依比色的原理測量CK之活性。

四、資料處理

1. 所有數值以平均數±標準差 (mean±SD) 表示。
2. 以相依樣本二因子變異數分析 (two way repeated-measures ANOVA) 比較不同運動強度及時間點之關節活動範



圍、總疼痛指數、手臂臂圍及血液CK活性之差異，若達顯著差異則以Tukey's法進行事後比較。

3. 統計之顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

一、關節活動範圍

三組不同強度的手臂伸展運動前、後各時間的關節活動範圍如圖一，由圖可看出手臂伸展運動後關節活動範圍會顯著變小 ($p < .05$)，此情況會持續至第3天，而在運動後第7天回復；然而三組間關節活動範圍變小的情況並無差異。

二、疼痛指數

三組不同強度的手臂伸展運動前、後各時間手臂鷹嘴突上方不同部位的疼痛指數總合如圖二，由圖可看出手臂伸展運動後肌肉即會產生明顯的酸痛感覺 ($p < .05$)，此情況會持續至第3天，而在運動後第7天恢復正常。其中三種強度的運動所造成之酸痛感覺有低強度 > 高強度 > 中強度的趨勢，但並無顯著之差異。

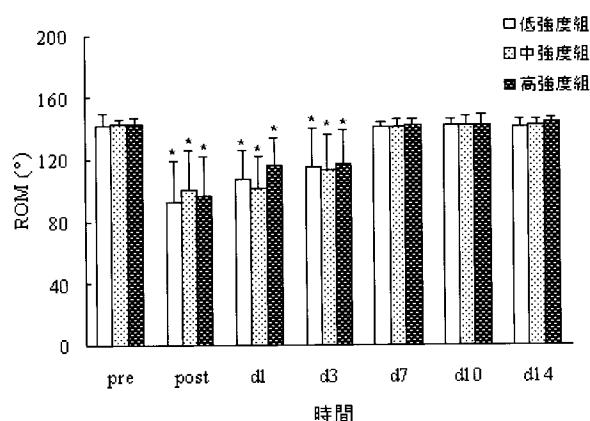
三、手臂臂圍

三組不同強度的手臂伸展運動前、後各時間手臂鷹嘴突上方不同部位的臂圍如表二所示，由表可看出手臂伸展運動後手臂會有顯著的腫脹情形 ($p < .05$)，而使臂圍變大，腫脹的現象依運動強度與部位之不同而持續至運動後第1天或第7天。比較三組間之腫脹情形則僅在鷹嘴突上方1 cm處的位置略有差異，但並無一致性 (運動後第1天時高強度組與中強度組顯著大於低強度組，而運動後第10天則為低強度組與中強度組顯著大於高強度組)，其餘的部位在各時間點之手臂臂圍則未因運動強度之不同而有異。

四、血液CK活性

三組不同強度的手臂伸展運動前、後各時間的血液CK活性如圖三，由圖可看出手臂伸展運動後血液CK活性雖然

在運動後第3天時有上升的趨勢，但整個運動後的各時間點與運動前比較均無統計之顯著差異；而三組間之CK活性亦無顯著差異。

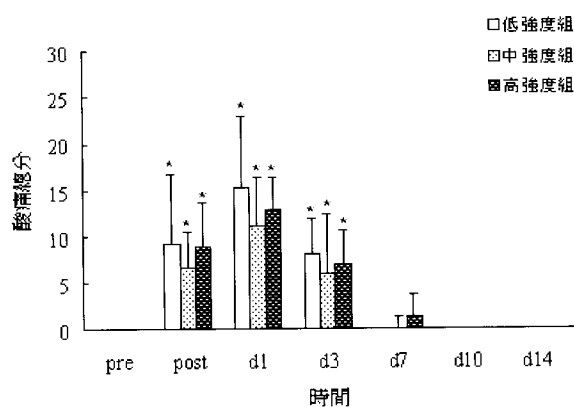


圖一 不同強度之手臂伸展運動前、後關節活動範圍之變化^a

^apre: 運動前; post: 運動後; d1, d3, d7, d10,

d14: 運動後第1、3、7、10、14天

*與該組之運動前 (pre) 相比較達顯著差異 ($p < .05$)



圖二 不同強度之手臂伸展運動前、後總疼痛指數之變化^a

^apre: 運動前; post: 運動後; d1, d3, d7, d10,

d14: 運動後第1、3、7、10、14天

*與該組之運動前 (pre) 相比較達顯著差異 ($p < .05$)



表二 不同強度之手臂伸展運動前、後上臂臂圍之變化^a

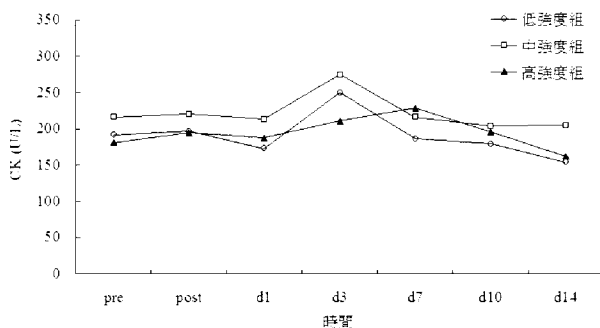
	低強度組	中強度組	高強度組
脛嘴突上方 1 cm 處			
運動前	25.55±2.57	25.73±2.59	25.62±2.50
運動後	26.80±2.77*	26.53±2.40*	26.40±2.79*
運動後第 1 天	26.00±2.65*	25.80±2.74 [#]	25.73±2.51* [#]
運動後第 3 天	25.93±2.43*	25.88±2.67*	25.77±2.67
運動後第 7 天	25.78±2.73*	25.80±2.43*	25.52±2.38
運動後第 10 天	25.77±2.69 [†]	25.80±2.47 [†]	25.52±2.49
運動後第 14 天	25.72±2.56	25.53±2.41	25.55±2.40
脛嘴突上方 7 cm 處			
運動前	26.08±3.62	26.17±3.89	26.10±3.54
運動後	27.25±3.90*	27.28±3.58*	27.22±3.83*
運動後第 1 天	26.62±4.04*	26.23±3.46	26.47±3.55*
運動後第 3 天	26.58±3.82*	26.55±3.80	26.47±3.88
運動後第 7 天	26.43±3.94*	26.27±3.82	26.53±3.10
運動後第 10 天	26.28±4.08	26.13±4.02	26.27±3.62
運動後第 14 天	26.07±3.57	26.22±3.67	26.20±3.55
脛嘴突上方 15 cm 處			
運動前	28.70±4.22	28.72±4.04	28.87±4.22
運動後	29.60±4.03*	29.65±3.81*	29.53±3.84*
運動後第 1 天	29.00±4.24	29.07±4.17	29.08±3.90
運動後第 3 天	29.07±4.12	29.05±4.17*	28.92±4.02
運動後第 7 天	29.13±4.15*	29.13±4.10*	28.73±3.67
運動後第 10 天	28.90±4.16	28.93±4.28	28.83±3.96
運動後第 14 天	28.93±4.20	28.85±4.23	28.75±4.03

^a數值為平均數±標準差，n=6，單位為cm

*與該組之運動前 (pre) 相比較達顯著差異 (p<.05)

[#]與低強度組相比較達顯著差異 (p<.05)

[†]與高強度組相比較達顯著差異 (p<.05)



圖三 不同強度之手臂伸展運動前、後血液肌酸激酶活性之變化^a

^apre: 運動前; post: 運動後; d1, d3, d7, d10, d14: 運動後第 1、3、7、10、14 天

肆、討論

一般研究常用下坡跑 (downhill running) 來造成EIMD (Martin, Millet & Lattier, 2004; Peake et al., 2005), 但考量本研究旨在了解單次運動所造成之影響, 故希望受試者在離心運動後, 主要活動肌群能盡量不要再活動, 以觀察不同時間相關變項之變化情形與差異, 因此以非慣用手臂運動取代下肢運動。此外, 許多與EIMD相關的研究均同時探討肌力變化之情形, 但考量以啞鈴進行最大肌力測試時, 手臂需有多次的運動, 才能精確測得最大值; 如此一來, 相關數值可能受到影響, 因此本研究並未測量離心運動後最大肌力之變化。

本研究所用的手臂離心運動分別為「最大肌力之80%、8次、6組」、「最大肌力之70%、12次、8組」與「最大肌力

之60%、19次、10組」，研究結果顯示運動後3天內，手臂會有酸痛、腫脹及關節活動範圍變小等肌肉損傷的症狀出現，此與各相關研究 (Chen & Chen, 2004; Paschalis, et al., 2005; Shahbazpour et al. 2004) 之結果相同；本研究亦顯示手臂離心運動後肌肉酸痛與關節活動範圍變小的情形成一體性。然而，本研究在正式實驗前之預試驗乃將高強度組設為「最大肌力之90%、6次、4組」的離心運動，但發現受試者在運動後三天內並沒有酸痛的感覺，而經搜尋相關研究文獻，也沒有用最大肌力之90%的強度來誘發肌肉損傷的研究，故推論最大肌力之90%的手臂離心運動較不會有EIMD的情形，更期望能經由本研究證實較低強度的手臂離心運動會有較嚴重的EIMD。但研究結果證實三組不同強度之運動對這些症狀的程度並沒有差異，此與Paschalis et al. (2005b) 的研究結果相似。

在許多手臂離心運動對血液CK活性影響的研究中，以Childs et al. (2001) 及Howatson and Van Someren (2003) 的運動型態與本研究最相似。Childs et al. (2001) 的研究以最大肌力之80%的強度、進行反覆10次、持續3組的手臂曲屈的動作 (組間休息時間為2分鐘)，結果顯示血液CK活性在運動後第2、3、4天會顯著上升；而Howatson and Van Someren (2003) 的研究以最大肌力之70%的強度、進行反覆10次、持續3組的手臂曲屈的動作 (組間休息時間為3分鐘)，結果顯示血液CK活性在運動後24小時會顯著上升，至72小時時更高達 799.9 ± 697.0 U/L。然而，在本研究中並未觀察到血液CK活性有任何變化，推測可能原因為：雖然本研究的離心運動已造成手臂的腫脹與酸痛，但此微小的傷害並不嚴重，而使血液指標的變化並不明顯。此外，Childs et al. (2001) 的研究也有CK活性的變化與其他相關數值不一致的情形，該研究則提出了「可能是這種傷害影響到多種細胞型態，如：平滑肌細胞、內皮細胞和肌肉細胞」的推論，這也許也是本研究無法看出CK活性差異的原因。

伍、結論與建議

本研究結果顯示『80%之最大肌力、反覆8次、持續6組』、『70%之最大肌力、反覆12次、持續8組』及『60%之最大肌力、反覆19次、持續10組』的手臂伸展運動，均會造成肌肉酸痛、手臂腫脹、關節活動範圍變小等肌肉損傷的現象，但三種不同的強度、組數與反覆次數的運動所造成的肌肉損傷的症狀並沒有差異，也就是說不同的運動強度所造成的肌肉損傷之生理、生化反應是相同的。未來研究若欲以「手臂伸

展」動作從事離心運動，則研究者可視實驗狀況選擇此三種運動處方中之任一種。

然而，在本研究中並未觀察到一般最常被用來作為肌肉損傷的生化指標--血液CK活性有任何變化，是否如同Childs et al. (2001) 所臆測的手臂離心運動所造成的肌肉損傷不見得是單純發生在骨骼肌？則有待未來更進一步的研究探討。

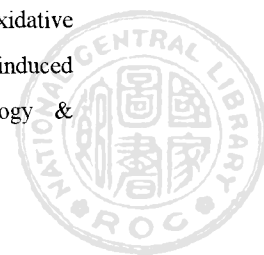
此外，本研究之設計乃使受試者手臂運動至力竭，故三種運動模式的強度、組數及次數均不同，三種運動模式的總負荷量比為1:1.75:2.97，而得到三種運動模式所造成之影響是相同的結果。未來的研究可改以固定總負荷量、組數或次數的方式，以減少研究之變項；並招募更多的受試者參與，從不同的角度探討本研究之問題。

誌謝

本研究承蒙國科會之經費 (NSC 93-2815-C-212-017-H) 補助，特此致謝。

參考文獻

- [1] Byrne, C. & Eston, R. (2002a). The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of Sports Science*, 20, 417-425.
- [2] Byrne, C. & Eston, R. (2002b). Maximal intensity isometric and dynamic exercise performance following eccentric muscle actions. *Journal of Sports Science*, 20, 951-959.
- [3] Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. G. (2004). Neuromuscular function following exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. *Sports Medicine*, 34, 49-69.
- [4] Chen, H. L. & Chen, T. C. C. (2004). Effects of a Single Bout of Intensive Eccentric Contractions at Varying Repetitions on Muscle Damage. *Annual Journal of Physical Education and Sports Science*, 4, 103-117.
- [5] Childs, A., Jacobs, C., Kaminski, T., Halliwell, B. & Leeuwenburgh, C. (2001). Supplementation with vitamin C and N-acetyl-cysteine increases oxidative stress in human after an acute muscle injury induced by eccentric exercise. *Free Radical Biology &*



- Medicine, 31(6), 745-753.
- [6] Hoppeler, H. (1986). Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 187-204.
- [7] Howatson, G. & Van Someren, K. A. (2003). Ice massage. Effects on exercise-induced muscle damage. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(4), 500-505.
- [8] Lenn, J., Uhl, T., Mattacola, C., Boissonneault, G., Yates, J., Ibrahim, W. & Bruckner, G. (2002). The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1605-1613.
- [9] Martin, V., Millet, G. Y., Lattier, G. & Perrod, L. (2004). Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(11), 1907-1915.
- [10] Paschalis, V., Koutedakis, Y., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A. Z. & Giakas, G. (2005a). Short vs. long length of rectus femoris during eccentric exercise in relation to muscle damage in healthy males. *Clinical Biomechanics*, 20(6), 617-622.
- [11] Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A. Z., Mougios, V. & Baltzopoulos, V. (2005b). Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 184-188.
- [12] Peake, J. M., Suzuki, K., Wilson, G., Hordern, M., Nosaka, K., Mackinnon, L. & Coombes, J. S. (2005). Exercise-induced muscle damage, plasma cytokines, and markers of neutrophil activation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 737-45.
- [13] Shahbazzpour, N., Carroll, T. J., Riek, S. & Carson, R. G. (2004). Early alterations in serum creatine kinase and total cholesterol following high intensity eccentric muscle actions. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(2), 193-199.

收稿：95/02/07

初審：95/03/29

複審：95/06/15

接受：96/08/14



The Effects of Exercise-Induced Muscle Damage Following Eccentric Exercise of Elbow at Different Intensity

Kuei Hui Chan^{1,*}, Yu-Kuang Chen²

¹ Assistant professor, Department of Leisure Management, Nan Kai Institute of Technology

² Student, Sport Business Management Department, Da-Yeh University

Abstract

The purpose of this study was to investigate the differences of varying intensity of eccentric exercise on exercise-induced muscle damage. A random and cross over experiment was designed. Six healthy male students performed high (HI), medium (MI) and low (LI) intensity of elbow eccentric exercises with their non-dominant arm. The HI, MI and LI exercise protocol consisted of six sets of 8 repetitions using 80% of their eccentric 1 repetition maximum (1 RM), eight sets of 12 repetitions using 70% of 1 RM and ten sets of 19 repetitions using 60% of 1 RM, respectively. A rest period of 2.5 minutes was taken between sets. The range of motion (ROM), muscle soreness, arm circumference (CIR) and the activity of blood creatine kinase (CK) were measured before and after exercise as well as at 1, 3, 7, 10 and 14-day after exercise. Data were analyzed by two way repeated-measures ANOVA and Tukey's post hoc test. The results showed that there were significant differences ($p < .05$) in ROM, muscle soreness and CIR for the three exercise treatments within 3 days of post-exercise. However, there were no significant changes in blood CK activities within groups during the experimental periods. Moreover, there were no significant differences in ROM, muscle soreness, CIR and CK between HI, MI and LI exercise protocols. These results indicate that the elbow extensions with the intensity of 80%, 70% and 60% of 1 RM have similar effects on exercise-induced muscle damage.

Keywords: eccentric exercise, exercise-induced muscle damage, range of motion, muscle soreness, creatine kinase

