

陳莖斐^{1,2}、莊智淵¹、邱柏凱¹、盛世慧³、詹貴惠^{1*}¹國立體育大學競技與教練科學研究所²臺北市立大學總務處³東海大學體育室

摘要

目的:探討動作速度流失率達20%即停止的速度依循高強度阻力運動對運動後之血液肌酸激酶 (CK) 活性、肌肉痠痛之視覺類比量表 (VAS) 分數、關節活動角度 (ROM) 與推動槓鈴速度為每秒1公尺的負荷重量 (V1 load) 之動作速度等運動誘發肌肉損傷 (EIMD) 指標之影響。方法:十二位大專男性柔道運動員採交叉、平衡次序的方式,執行3組、負荷為85% 1-RM、反覆至動作速度流失率達20%即停止 (VL20) 與反覆至力竭 (RF) 的臥推與深蹲運動;於運動前、運動後立即、運動後24與48小時量測各項 EIMD 指標,並紀錄運動執行情形。所測得數據以相依樣本t檢定及重複量數二因子變異數分析比較各項數值之差異。結果:VL20試驗執行第3組深蹲之動作速度流失率顯著低於RF試驗,並在運動後24小時之CK活性即與運動前無顯著差異,而RF試驗在運動後24小時之CK活性仍顯著高於運動後48小時;且VL20試驗在運動後各時間點的VAS分數皆顯著低於RF試驗、運動後24小時臥推V1 load之速度顯著高於RF試驗。結論:執行3組、85% 1-RM、控制動作速度流失率為20%的高強度阻力運動時,在執行深蹲後段會有較小的動作速度流失率,且在運動後立即至運動後48小時都有較低的痠痛感覺;即此方式能降低運動誘發肌肉損傷與加速運動後的恢復。

關鍵詞:反覆至力竭、動作速度流失率、臥推、深蹲、血液肌酸激酶

壹、緒論

阻力訓練 (resistance training) 是依照反覆次數、負荷重量、組數、頻率及動作速度等不同變項組合與不同目的,來增加選手的最大肌力 (1-repetition maximum, 1-RM)、爆發力或肌肉量等,進而增加其運動表現 (Kraemer & Ratamess, 2004; Kamandulis et al., 2012)。但近年來的研究指出反覆至力竭 (repetitions to failure, RF) 的訓練方式,會造成選手不必要的疲勞,而影響到其他訓練課表 (González-Badillo et al., 2011);甚至因為動作速度變慢而訓練到慢縮肌纖維,而降低造成部分項目選手之運動表現 (Fry, 2004; Pareja-Blanco et al., 2017a)。且更有研究顯示反覆至力竭的訓練方式會造成運動誘發肌肉損傷 (exercise induced muscle damage, EIMD),而對運動表現產生負面效果,該時間會持續至運動後48小時 (González-Badillo et al., 2016; Morán-Navarro et al., 2017; Pareja-Blanco et al., 2017a)。運動中反覆的向心、離心收縮動作所產生的機械張力,會導致疼痛、痠痛、炎症和肌肉功能下降的情況,被稱為EIMD (Harty et al., 2019)。EIMD程度會受到運動型態、強度及持續時間的影響,而在運動後數天出現局部肌肉痠痛腫脹、關節活動角度 (range of motion, ROM) 減少、運動表現下降的情形 (Twist & Eston, 2005),同時會伴隨血液肌酸激酶 (creatine kinase, CK) 的上升 (Harty et al., 2019),CK也常被作為肌肉損傷的血液生化指標 (Koch et al., 2014)。此外,常見肌肉痠痛的程度可透過自我感覺評估,以肌肉痠痛之視覺類比量表 (visual analog scale, VAS) 分數量化之 (Kawamura et al., 2018);運動表現評估則常量測反向跳 (countermovement jump, CMJ) 表現,而阻力運動時推動槓鈴速度為每秒1公尺的負荷重量 (against velocity 1 m/s load, V1 load) 之動作速度變化,更被認為是有效、穩定且客觀的評估阻力訓練運動表現方法 (Pareja-Blanco et al., 2014; Sanchez-Medina et al., 2011)。

*通訊作者: 詹貴惠 Email: quenhuen@nts-u.edu.tw

地址:桃園市龜山區文化一路250號

客觀地量化和監控實際訓練的負荷，使運動員達到最好的運動表現，一直是肌力與體能教練面臨的主要問題，監控阻力訓練時槓鈴的動作速度 (movement velocity) 的概念因此被提出運用 (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010)。González-Badillo與Sánchez-Medina (2010) 及Jidovtseff等 (2011) 的研究在測量臥推 (bench press) 動作的1-RM時，同時使用可監控動作速度的線性位移感應器 (linear position transducer) 量測槓鈴向心收縮的動作速度 (concentric phase velocity)，並要求受測者在測量的過程中要以最快的速度來完成向心收縮的階段；於其後計算動作之平均推進速度 (mean propulsive velocity, MPV)，而建立出負荷與動作速度關係 (load-velocity relationships)；此二研究皆顯示MPV與最大肌力百分比 (% 1-RM) 呈高度的線性負相關 ($r^2 = .95$)。González-Badillo等 (2011) 把注重執行阻力訓練過程中之動作速度的阻力訓練稱為“velocity-based resistance training”，本文將velocity-based (VB) 稱為『速度依循』，速度依循阻力訓練的方式後續也被證實對運動表現有更好的提升效果 (González-Badillo et al., 2014; Pareja-Blanco et al., 2014)。深蹲 (full squat) 及腿部推蹬 (leg press) 等下肢訓練動作的負荷與動作速度線性關係，也在後續的研究中被建立出 (Conceição et al., 2016)。此VB的概念被提出後，近年來也開發出可監控動作速度的線性位移感應器的產品，並被證實對動作速度監控具有高的信度與效度 ($r = .94$) (Banyard et al., 2017)，也被許多研究用於探討槓鈴式阻力訓練時動作速度與阻力之間的關係。

阻力運動的負荷與動作速度關係被確認後，González-Badillo等 (2017) 的研究，以22位健康的男性為對象，用負荷與動作速度關係所得之迴歸公式換算其 50% 至 85% 1-RM臥推之重量，並以VB方式執行8個不同重量、反覆至力竭之阻力運動，測量其最大反覆次數，並計算執行每個反覆的次數與最大反覆次數之百分比及動作速度流失率 (percentages of velocity loss, VL)，進而探討其關係；結果顯示：執行之最大反覆次數之百分比與VL間，有高度正相關，即動作反覆到越後面 (最大反覆次數之百分比愈高) 時，動作速度會因疲勞而變慢，VL就越高。因此，動作速度不僅可以當作訓練強度的指標，且可以當作設定反覆次數的依據。Pareja-Blanco等 (2017b) 的研究以VL當作阻力訓練反覆次數的依據，訓練至VL達20%或40%時即停止 (VL20及VL40組)，8週訓練後，兩組的1-RM皆有提升，而VL20組的CMJ提升率顯著高於VL40組 (9.5% vs. 3.5%, $p < .05$)。同一群作者另一研究則顯示VL達15%或30%時即停止 (VL15及VL30組) 的方式6週訓練後，兩組的1-RM亦都有顯著提升，而VL15組的CMJ高度顯著優於VL30組 (Pareja-Blanco et al., 2017c)。證實了VB的訓練方式可改善傳統阻力訓練較常忽略的訓練時動作速度的流失情形，不僅可以有效提升運動表現，也能夠藉由VL控制當日的訓練量而減少疲勞；因此設定VL的VB是一個優化阻力訓練課表的新方向，值得更深入的探討。

近期有數個研究以VB的方式於不同負荷下，反覆至力竭或非力竭之阻力運動，探討其後的恢復情形。Párraga-Montilla等 (2020) 的研究以11位健康男性大學生為對象，進行3組、負荷為60% 1-RM、反覆至力竭的深蹲運動，組間休息3分鐘；結果顯示：執行第2及第3組深蹲時，執行的反覆次數顯著低於第1組，而組內每次動作的MPV逐漸下降；每組運動後的CMJ表現及推動V1 load之速度皆顯著與低於運動前，且此方式所造成的疲勞會持續到運動後48小時；Pareja-Blanco等 (2017a) 及González-Badillo等 (2016) 的研究亦有相似的結果。另有研究以有阻力訓練經驗的年輕男性為對象，進行3~10組、負荷為70% 1-RM、反覆5次 (NRF試驗) 與10次 (RF試驗) 之臥推與深蹲運動，組間休息5分鐘，試驗分為「3組、5次反覆」(3×5試驗)、「6組、5次反覆」(6×5試驗) 及「3組、10次反覆」(3×10試驗)；結果顯示：3×10試驗運動後立即及24小時臥推與深蹲V1 load之速度皆顯著低於3×5試驗，且運動後立即的CMJ高度，顯著低於其他兩種試驗；而運動後6小時與運動後24小時之CK活性，顯著高於其他兩種試驗 (Morán-Navarro et al., 2017)。此外，Dos Santos 等 (2021) 的研究以12位有阻力經驗之女性為對象，進行4組、負荷為10-RM (約為75% 1-RM)、反覆至力竭 (RF) 與非力竭 (NFR, VL20) 之深蹲運動，組間休息2分鐘；結果顯示：兩種試驗總反覆次數並無顯著差異，但NRF試驗有較少的動作速度流失、且前3組運動後的自覺不適 (rating of perceived discomfort) 分數顯著低於RF；證實了儘管在總負荷量

相近的情況下，非力竭運動模式會有較低的神經肌肉及生理疲勞，較能維持阻力運動的動作速度，並減輕自覺不適感。這些研究顯示反覆至力竭的阻力運動方式執行3組、60%~80% 1-RM負荷的臥推與深蹲運動會影響後續的運動表現 (CMJ與V1 load)，並造成肌肉損傷 (CK活性上升)，且自覺疲勞感較高，此負面影響會持續時間到運動後6~48小時。

綜合以上文獻探討，阻力訓練時以VB的概念，用VL決定訓練時的反覆次數，可以用較少的訓練量，達到相同、甚至更好的訓練效果，長期訓練後可提升運動表現。在各種訓練負荷中，減量、但高強度的訓練課表，是運動員比賽前期或是季中維持常使用的訓練方式，85%1-RM是常被運用的訓練負荷，也是有效提升肌力的負荷。然而，先前單次比較的文獻皆使用60%~80% 1-RM之中強度負荷量，結果並無法於運動員比賽前期或是季中維持期被運用。此外，過去對於85%1-RM以上負荷之VB阻力訓練，只有Pareja-Blanco等 (2017b) 以VL達20%即停止的方式進行8週的深蹲訓練，本研究參考該研究，以VL達20%時停止作為VB高強度阻力訓練中反覆次數的設定。過去對於以85% 1-RM的負荷執行高強度阻力運動，並未利用VL來訂定非力竭的反覆次數，且此方式與反覆至力竭所造成EIMD的差異，仍未有文獻探討。故本研究進行3組、負荷為85% 1-RM、反覆次數為VL達20%與反覆至力竭的臥推與深蹲運動，比較二種運動方式執行之總反覆次數、總負荷量、速度流失率的情形，並以運動後之CK、ROM、VAS及推動V1 load之速度變化為指標，探討二種方式進行速度依循阻力運動後EIMD相關變項變化之情形。

貳、方法

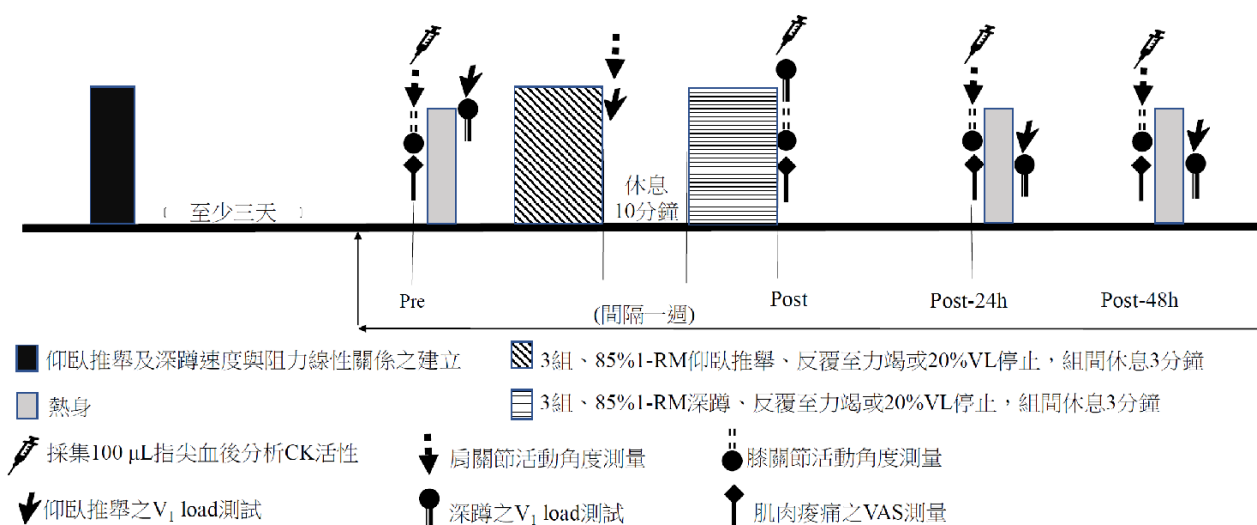
一、研究對象

招募12名20-30歲，至少有一年以上阻力訓練經驗之大專男性柔道運動員為對象，皆無心臟病、高血壓等慢性疾病，且一年內無嚴重之骨骼與肌肉傷害。其平均年齡： 21.42 ± 1.08 歲、身高： 170.83 ± 4.11 公分、體重： 78.37 ± 13.59 公斤、臥推1-RM： 97.42 ± 17.35 公斤 (體重之 1.28 ± 0.14 倍)、深蹲1-RM： 148.75 ± 25.15 公斤 (體重之 1.95 ± 0.14 倍)、臥推與深蹲之V1 load分別為： 40.42 ± 5.82 公斤與 57.08 ± 15.44 公斤。所有參與者在實驗前先填寫個人資料、健康狀況調查表及受試者同意書，本研究實驗程序經輔仁大學人體研究倫理委員會審查通過。

二、實驗設計

參與者在正式實驗前先進行臥推及深蹲實驗熟悉及建立個人負荷與動作速度關係，實驗參與者以交叉、平衡次序方式分別反覆至動作速度流失率達20%即停止 (VL20) 與反覆至力竭 (RF) 兩種試驗，兩次試驗間相隔一週。每次實驗前先採集血液100 μ L以測量CK，再測量肩與膝關節ROM與VAS分數後，接著分別量測上肢臥推、下肢深蹲動作推動V1 load之速度。經過10分鐘休息後，開始進行3組臥推、組間休息3分鐘；休息10分鐘後，接著進行3組深蹲、組間休息亦為3分鐘；並於運動結束後立即、24與48小時再次測量CK、ROM、VAS及推動V1 load之速度。完整實驗流程如圖1。

圖1
實驗流程



3、實驗方法

(一) 阻力運動的負荷與動作速度關係建立

參考Jidovtseff等 (2011) 及Banyard等 (2017) 的方法，使用線性位移感測器 (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) 紀錄實驗參與者進行臥推及深蹲動作各負荷之平均推進速度 (mean propulsive velocity, MPV)，搭配其GymAware應用程式以建立實驗參與者個人之負荷與動作速度線性關係。執行時提醒受測者在向心收縮階段，要盡可能的以最快速度完成，而離心收縮階段的動作速度則是控制在0.5至0.65 m/s間，過程中實驗人員皆會以口頭提醒以符合實驗要求。

負荷重量從20公斤開始，先選擇4至6個不同的漸增重量 (30% 至85% 1-RM)，最輕與最重的重量之平均速度差異須達到0.5 m/s，輕的重量 (速度大於1 m/s) 反覆次數做2至3次，中等重量 (0.65至1 m/s) 反覆次數做2次，重的重量 (速度小於0.65 m/s) 反覆次數做1次，之後進行少於5次的1-RM的嘗試，以測出實際的1-RM。之後換算各負荷重量之最大肌力百分比 (% 1-RM)，將其與MPV做線性迴歸，建立個人之負荷與動作速度迴歸公式，並推算出85% 1-RM之MPV與 V_1 load。

(二) 臥推動作及速度監控

實驗時將線性位移感測器 (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) 垂直放置於槓鈴軸承右側內緣的地板上，使用魔鬼氈固定感應纜線的另一端，使其垂直連接到槓鈴 (緊靠右軸承)。以實驗當日的動作速度及所建立之個人之負荷與動作速度迴歸公式決定當日85% 1-RM的負荷，其後令實驗參與者仰臥在平坦的長凳上，雙腳平放地板，雙手放在槓鈴上，稍寬於肩寬。臥推的動作為離心階段槓鈴下放碰至胸部，後以最大速度執行向心階段，指示其以緩慢且可控制的方式將槓鈴往下降低至胸部，在離心階段和向心階段之間施加瞬間停頓，直到聽聞研究人員的口令後，儘速將槓鈴從胸部向上推起。不允許受測者將槓鈴從胸部彈起，或是將肩膀與軀幹離開長凳 (González-Badillo &

Sánchez-Medina, 2010)。指導每位實驗參與者以爆發性的方式執行每次臥推，過程中研究人員會透過強有力的口頭鼓勵和速度反饋，以激勵參與者付出最大的努力。

每一個動作進行時會透過GymAware應用程式，根據線軸的旋轉運動測量槓鈴的垂直位移，而換算出MPV。實驗時共執行3組，RF試驗時實驗參與者反覆致無法正確執行動作時停止該組的運動，VL20試驗時則於應用程式將VL設定為20%，當動作速度達設定值時程式會停止紀錄即停止；休息3分鐘後進行下一組。將各組反覆次數加總為總反覆次數，每次運動的負荷量加總即為總負荷量；並以第3組之最快一次反覆MPV及最後一次反覆的MPV數值計算VL，即 $VL = [(最快一次反覆MPV - 最後一次反覆的MPV) / 最快MPV] \times 100\%$ 。

(三) 深蹲動作及速度監控

實驗時先在受測者雙腳與肩同寬，下蹲至髖關節低於膝蓋的高度，設置彈力繩；將線性位移感測器 (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) 放置在蹲舉架右側地面，在距槓鈴外緣 5 公分處以魔鬼氈固定感應纜線，調整受測者出槓後位置至槓鈴垂直於線性位移感測器。先以實驗當日的動作速度決定85% 1-RM的負荷，其後令實驗參與者以穩定的速度進行下蹲，大腿碰觸到彈力繩時，研究人員指示其以自主最大速度站起。蹲舉的過程雖要求以最快速度完成，但完成階段需腳跟不離地、槓不離肩，實驗人員在過程中會以口頭提醒受測者符合實驗要求，並透過強有力的口頭鼓勵和速度反饋，以激勵參與者付出最大的努力。每組之結束及資料計算與前述之臥推動作相同。

(四) 血液採集與CK分析

使用含肝素 (heparin) 之毛細管 (Critoseal, Leica, USA) 於指尖採集100 μ L血液後，以離心機 (hematocrit centrifuge, Hsiangtai, Taiwan) 離心5分鐘，取 10 μ L 血漿以全自動乾式生化分析儀 (Fuji Dry-Chem 4000i, Fuji, Japan) 分析。

(五) 肌肉痠痛程度

以10個刻度之視覺類比量表來量化肌肉痠痛，量表右、左兩側分別代表完全不痠痛 (刻度0) 與無法忍受 (刻度10)，由實驗參與者依自身肌肉感覺劃記分數位置。

(六) 關節活動度之測量

以關節角度器 (Lafayette Instrument Co., USA) 測量肩關節水平內收與膝關節下蹲之活動角度，動作過程中感到任何不適即停止，並測量活動之角度。

(七) 推動V1 load之速度測量

依先前建立之速度與阻力的關係，找出預估的V1 load重量，並在3次的反覆次數內確認實際的V1 load重量，每次反覆之間休息15秒。確認負荷重量後，測量實際推動V1 load的動作速度，每回測量兩次、間隔休息15秒，取最快速度為成績。

四、資料處理

所得數值以平均數 $\pm$ 標準差 (Mean $\pm$ SD) 表示, 以相依樣本t檢定比較二種試驗間總反覆次數、總負荷量及速度流失率的差異, 並以2 (試驗) $\times$ 4 (時間) 重複量數二因子變異數分析考驗EIMD各依變項的差異; 當交互作用達顯著水準, 則進行單純主要效果考驗, 並以Bonferroni法進行事後比較; 當交互作用未達顯著水準, 則進行主要效果考驗; 統計之顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

二種方式執行臥推與深蹲時之總反覆次數、總負荷量與最後一組 (第3組) 的VL情形如表1, 二種試驗間僅VL20試驗時深蹲的VL顯著低於RF試驗 ($24.50\% \pm 11.99\%$ vs. $35.25\% \pm 8.27\%$, $p < .05$), 其餘依數值間則無顯著差異 ($p > .05$)。

兩種試驗各個時間點之CK活性及VAS分數變化如圖2、圖3, 二種試驗運動後立即的CK活性皆顯著高於運動前 (VL20: 173.75 ± 50.06 vs. 153.58 ± 44.74 U/L, RF: 172.83 ± 58.01 vs. 146.58 ± 46.66 U/L, $p < .05$), 而RF試驗運動後24小時的CK活性亦顯著高於運動後48小時 (214.92 ± 120.22 vs. 157.58 ± 67.69 U/L, $p < .05$), 但同一時間點兩種試驗間並無顯著差異 (圖2)。此外, VL20試驗之運動後立即、運動後24小時、運動後48小時的VAS分數皆顯著低於RF試驗 (VL20 vs. RF: 4.25 ± 1.22 vs. 5.83 ± 1.27 , 3.5 ± 1.38 vs. 5.33 ± 1.44 , 2.83 ± 1.03 vs. 4.92 ± 2.15 , $p < .05$), 且在運動後48小時顯著低於運動後立即 (圖3)。

兩種試驗各個時間點之ROM及推動V1 load之速度變化如表2及表3, VL20試驗之運動後24小時的臥推V1 load之速度顯著高於RF試驗 (1.032 ± 0.047 vs. 0.974 ± 0.058 m/s, $p < .05$), 兩種試驗各時間點的肩、膝關節ROM與深蹲的V1 load之速度皆無顯著差異。

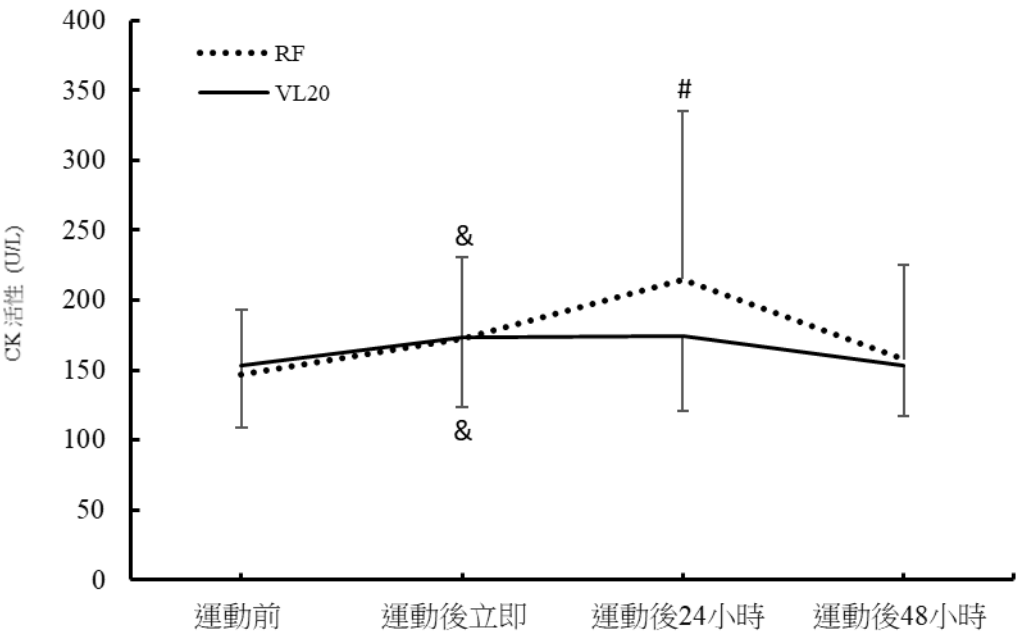
表1
速度依循之高強度阻力運動之執行情形

	VL20	RF	t值	p值
臥推				
總反覆次數	15.00 ± 2.09	14.62 ± 4.79	1.219	.248
總負荷量 (公斤)	1215.42 ± 296.15	1283.75 ± 326.10	1.263	.233
第3組速度流失率 (%)	28.36 ± 8.66	36.97 ± 11.99	1.903	.083
深蹲				
總反覆次數	16.50 ± 1.45	17.00 ± 1.48	0.804	.438
總負荷量 (公斤)	2051.67 ± 266.96	2146.25 ± 484.79	1.047	.317
第3組速度流失率 (%)	24.50 ± 11.99	35.25 ± 8.27	2.929*	.014

註: 數值以平均數 $\pm$ 標準差表示, n=12; VL20: 反覆至動作速度流失20%即停止; RF: 反覆至力竭。

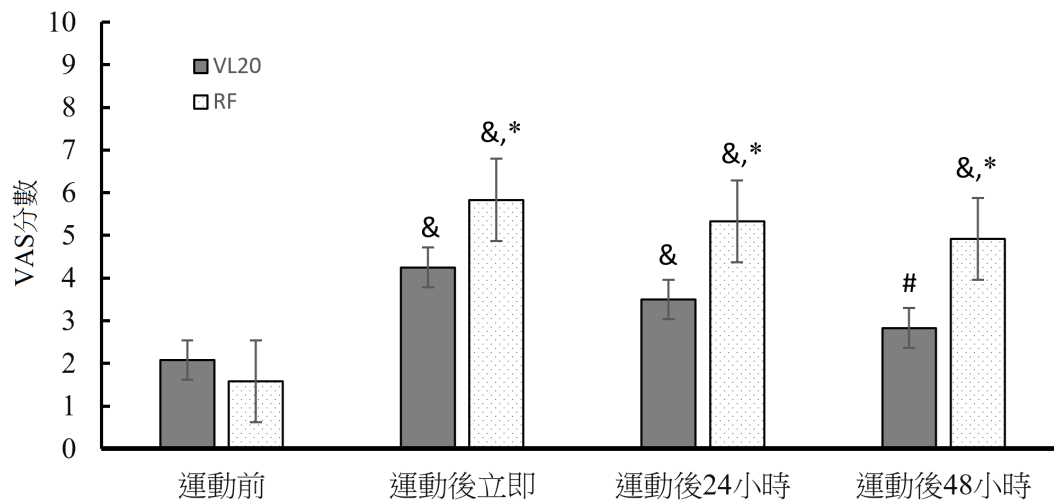
*二種試驗間達顯著差異 ($p < .05$)。

圖2
速度依循之高強度阻力運動後的血液肌酸激酶活性變化



註:數值以平均數±標準差表示, n = 12; VL20:反覆至動作速度流失20%即停止, RF:反覆至力竭。&組內與運動前相比達顯著差異 ($p < .05$), #組內與運動後48小時相比達顯著差異 ($p < .05$)。

圖3
速度依循之高強度阻力運動後的視覺類比量表分數變化



註:數值以平均數±標準差表示, n = 12; VL20:反覆至動作速度流失20%即停止, RF:反覆至力竭。*與VL20試驗相比達顯著差異 ($p < .05$), &組內與運動前達顯著差異 ($p < .05$), #組內與運動後立即相比達顯著差異 ($p < .05$)。

表2
速度依循之高強度阻力運動後的關節活動角度變化

時間	VL20	RF	F值	p值
肩關節活動角度 (度)				
運動前	120.42 ± 3.96	119.17 ± 4.17	1.941	.191
運動後立即	117.08 ± 4.50	118.75 ± 4.33	1.375	.266
運動後24小時	117.08 ± 5.40	115.00 ± 6.40	2.570	.137
運動後48小時	116.25 ± 4.33	117.50 ± 9.65	0.241	.633
膝關節活動角度 (度)				
運動前	138.75 ± 3.77	139.17 ± 4.69	0.103	.754
運動後立即	135.00 ± 7.98	138.75 ± 4.33	1.845	.202
運動後24小時	135.00 ± 8.26	132.08 ± 16.71	0.789	.393
運動後48小時	138.75 ± 3.77	135.83 ± 6.34	3.477	.089

註:數值以平均數±標準差表示, n = 12。VL20:反覆至動作速度流失20%即停止, RF:反覆至力竭。

表3
速度依循之高強度阻力運動後的推動VL load之速度變化

	VL20	RF	F值	p值
推動臥推之動作速度 (m/s)				
運動前	1.003 ± 0.040	0.997 ± 0.029	0.153	.703
運動後立即	1.058 ± 0.062	1.019 ± 0.085	1.823	.204
運動後24小時	1.032 ± 0.047	0.974 ± 0.058	21.160*	.001
運動後48小時	1.033 ± 0.044	1.006 ± 0.076	1.937	.192
推動深蹲之動作速度 (m/s)				
運動前	1.009 ± 0.038	1.005 ± 0.033	0.133	.723
運動後立即	1.004 ± 0.057	1.032 ± 0.081	1.589	.234
運動後24小時	1.013 ± 0.040	0.993 ± 0.035	1.443	.255
運動後48小時	1.006 ± 0.046	1.038 ± 0.067	2.435	.147

註:數值以平均數±標準差表示, n = 12。VL20:反覆至動作速度流失20%即停止, RF:反覆至力竭。

*二種試驗間達顯著差異 ($p < .05$)。

肆、討論

本研究採速度依循的方式以85% 1-RM的負荷重量,執行各3組的臥推與深蹲運動,分別反覆至動作速度流失率達20%即停止 (VL20) 與反覆至力竭 (RF),透過二種不同反覆次數的執行方式以探討速度依循之高強度阻力運動對EIMD的影響。結果顯示:二種方式的總反覆次數與總負荷量間無顯著差異,VL20 試驗執行第3組的深蹲之速度流失率顯著低於RF,並在運動後24小時之CK活性即與運動前無顯著差異,而RF試驗在運動後24小時之CK活性仍顯著高於運動後48小時;且VL20試驗在運動後各時間點的VAS分數皆顯著低於RF試驗、運動後24小時臥推V1 load之速度顯著高於RF試驗。

過去研究中,在探討反覆至力竭或不力竭之臥推與深蹲阻力運動中都是以目標次數的一半作為討論 (González-Badillo et al., 2016; Morán-Navarro et al., 2017; Pareja-Blanco et al., 2017a),並未如本研究是以動作速度流失率來當作停止執行動作的依據,其中Pareja-Blanco等 (2017a) 的研究執行3組70% 1-RM臥推與深蹲,其反覆至力竭與非力竭狀況的平均動作速度流失率分別為65.00% ± 5.7% vs. 26.4% ± 6.7%與43.8% ± 6.7% vs. 20.3% ± 6.1%;而González-Badillo 等 (2016) 的研究執行3組80% 1-RM臥推與深蹲,其反覆至力竭與非力竭狀況的平均動作速度流失率則分別為61.2% ± 4.3% vs. 24.4% ± 4.1%及44.5% ± 5.1% vs. 23.1% ± 8.3%。而本研究的反覆次數的設定是以動作速度流失率當作依據,以最快的動作速度 (多數為執行第一次反覆時最快) 流失20% 即停止,但在反覆的過程中可能會因疲勞的產生而讓動作速度突然的下降,導致最後一次時動作速度流失率有大於20% 的情況發生。VL20試驗實際執行之臥推及深蹲第3組動作速度流失率分別為28.36% ± 8.66%及24.50% ± 11.99%,此與先前研究 (Pareja-Blanco et al., 2017a; González-Badillo et al., 2016) 之非力竭狀況相近,但力竭試驗之%VL則遠低於先前之研究 (臥推及深蹲分別為:36.97% ± 11.99%及35.25% ± 8.27%);或許是因為本研究所使用的負荷強度為85% 1-RM,研究參與者執行的反覆次數較先前研究少,使力竭時之%VL較低。此外,依據美國肌力與體能學會 (National Strength and Conditioning Association, NSCA) 所建議之阻力運動負荷-動作反覆次數,本研究採用的85% 1-RM的負荷,為可執行6次反覆 (6-RM) 的阻力運動 (Haff & Triplett, 2016),3組預估可執行18次反覆,但RF試驗實際執行臥推與深蹲的反覆次數分別為14.62 ± 4.79與17.00 ± 1.48次,與理論預估之18次有些差距,應該是與VL20試驗反覆次數無顯著差異的原因。或許也因為本研究實驗參與者在執行深蹲的反覆次數較接近3組、6-RM的18次,因此第3組的動作速度流失率顯著高於VL20試驗 (35.25% ± 8.27% vs. 24.50% ± 11.99%);而臥推的反覆次數僅14~15次,亦可能是造成上肢%VL無顯著差異的原因。進一步探究先前相關的研究,30% VL阻力訓練時,於70% 1-RM負荷平均執行的反覆次數為7.2次 (Pareja-Blanco et al., 2017c),而40% VL阻力訓練時,於70% 1-RM、79% 1-RM及85% 1-RM的負荷下則平均執行了9.4次、5.8次及3.7次的反覆

(Pareja-Blanco et al., 2017b), 皆較NSCA所建議之阻力運動負荷-動作反覆次數低了約20%至40% (NSCA建議70% 1-RM、80% 1-RM及85% 1-RM負荷執行之反覆次數分別為12、8及6次) (Haff & Triplett, 2016)。這似乎表示若以NSCA所建議的阻力負荷-反覆次數, 進行阻力訓練, 訓練者的%VL將超過30%至40% (Pareja-Blanco et al., 2020), 甚至接近60% (González-Badillo et al., 2016)。因此採用速度依循的方式決定當日訓練負荷, 3組、85% 1-RM負荷的訓練課表, 設定VL達20%即停止是一種較合宜的方式。

過去的研究指出, 以70-75% 1-RM進行3組臥推與深蹲之反覆至力竭 (RF) 與不力竭的阻力運動, RF試驗的CK活性在運動後6小時、24小時 (Morán-Navarro et al., 2017)與48小時 (Pareja-Blanco et al., 2017a) 都顯著的高於不力竭;而本研究結果顯示, 兩種實驗試驗間各個時間點的CK活性皆無顯著差異;然而, RF試驗之CK活性在運動後立即顯著上升、在運動後24小時顯著高於運動後48小時;而VL20試驗雖然在運動後立即顯著上升後, 但運動後24小時已經恢復至與運動前無顯著差異。從整體的時序變化來看, VL20試驗有著較少誘發CK活性上升的趨勢, 使身體有較佳的恢復狀況。而本研究結果與過去研究不甚相符, 探究可能有下列二點原因:(一) 本研究所使用的負荷強度為85% 1-RM, 研究參與者執行的反覆次數較先前研究少, 造成之EIMD或許較小;(二) 本研究VL20與RF試驗的總反覆次數與總負荷量間並無顯著差異, 二種試驗間的差異較小。再者, CK活性會因為訓練強度、反覆次數、訓練個體與族群等等而有不同的反應, 因而影響CK活性上升的趨勢, 從運動後8小時內上升100%, 峰值出現的時間則從24-96小時不等 (Koch et al., 2014)。本研究以實務的角度僅觀察運動後24小時的變化 (隔天再進行訓練時之身體狀況), 結果顯示VL20的方式隔天仍可繼續訓練, 不會有持續的運動誘發肌肉損傷狀況。此外, 因本研究以實務的角度僅觀察運動後24小時的變化 (訓練隔天是否得以再進行訓練之參考), 而未測量運動後6~8小時的表現;未來關於速度依循之高強度阻力運動研究, 亦可以觀察運動後6~8小時的運動表現 (搭配血液CK), 以完整了解其受影響的時序變化。

本研究結果顯示, VL20運動後立即、24小時、48小時的VAS分數都顯著低於RF試驗, 故VL20試驗可以有效減輕阻力運動所造成之自覺肌肉痠痛, 此與Dos Santos 等 (2021) 之研究結果一致;本研究僅探討單次阻力運動情況, 若進行長期的訓練, 或許可以在較舒服的情況下有較好的訓練效果, 甚至降低運動傷害的發生。再者, 本研究以推動V1 load之速度作為阻力運動誘發EIMD後的運動表現指標, 結果顯示VL20試驗在運動後24小時臥推V1 load之速度顯著高於RF試驗, 但不論是VL20或RF試驗, 在運動後立即、24及48小時三個時間的推動V1 load之速度皆與運動前無顯著差異。過去的文獻指出, 以70% ~ 80% 1-RM進行3組臥推與深蹲之RF與NRF的阻力運動, RF試驗的臥推V1 load之速度在運動後立即及運動後24小時皆顯著低於不力竭 (González-Badillo et al., 2016; Morán-Navarro et al., 2017; Pareja-Blanco et al., 2017a);深蹲V1 load之速度則是在運動後立即與運動後6小時 (González-Badillo et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2017a) 及24小時 (Morán-Navarro et al., 2017) 時都還顯著低於不力竭。本研究結果與過去研究不甚相符, 其可能原因除了前述之本研究介入方式所造成之EIMD較小、二種試驗的總負荷量無顯著差異使試驗間的差異較小之外, 先前三個研究都是以有阻力訓練經驗的男性為對象, 臥推及深蹲的相對肌力, 約為體重之1.2及1.5倍;而本研究之對象為大專公開組柔道選手, 其臥推及深蹲的相對肌力, 分別為體重之1.28及1.95倍, 下肢肌力較佳, 或許是本研究期間深蹲V1 load之速度之動作速度未受影響的原因。

伍、結論

本研究結論為大專公開組柔道選手採用速度依循的方式, 訂定85% 1-RM的高強度阻力運動負荷重量, 執行各3組的臥推與深蹲運動, 分別反覆至動作速度流失率達20%即停止與反覆至力竭, 對其後48小時內的關節活動角度及推動V1 load之速度並未造成負面的影響。然而, 動作速度流失率達20%即停止的方式在運動後48小時內的視覺類比量表分數皆顯著低於反覆至力竭, 且執行第3組的深蹲之速度流失率顯著較低、運動後24小時臥推V1 load之速度顯著較

高,並在運動後24小時之CK活性即回復到運動前;顯示此方式能降低運動誘發肌肉損傷與加速運動後的恢復。

陸、實務應用

本研究證實:動作速度流失率達20%即停止的速度依循高強度阻力運動,有較佳的訓練品質、較小的運動誘發肌肉損傷及較佳的運動後恢復。教練/體能教練及運動員,可參考本研究的運動方式,做為運動員比賽前期或是季中維持期的體能訓練模式;此阻力運動方式運動後隔天仍可繼續訓練,不會有持續的運動誘發肌肉損傷狀況。運科人員未來亦可比較此訓練方式與傳統阻力訓練方式,對運動員造成運動傷害的影響,協助運動員以更好的訓練品質,

引用文獻

- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001657>
- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jimenez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099–1106. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1090010>
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663–679. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00004>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- González-Badillo, J. J., Marques, M., & Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of Human Kinetics*, 29A, 15–19. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *European Journal of Sport Science*, 14(8), 772–781. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.905987>
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *International Journal of Sports Medicine*, 37(4), 295–304. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1564254>
- González-Badillo, J. J., Yañez-García, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodríguez-Rosell, D. (2017). Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 38(3), 217–225. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120324>
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (Eds.). (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 452–453.
- Harty, P. S., Cottet, M. L., Malloy, J. K. & Kerksick, C. M. (2019). Nutritional and supplementation strategies to prevent and attenuate exercise-induced muscle damage: A brief review, *Sports Medicine-Open*, 5(1), 1–17 <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0176-6>
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J. M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 267–270. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>
- Kamandulis, S., Skurvydas, A., Brazaitis, M., Stanislovaitis, A., Duchateau, J., & Stanislovaitienė,

- J. (2012). Effect of a periodized power training program on the functional performances and contractile properties of the quadriceps in sprinters. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(4), 540–545. <https://doi.org/10.1080/02701367.2012.10599143>
- Kawamura, T., Suzuki, K., Takahashi, M., Tomari, M., Hara, R., Gando, Y., & Muraoka, I. (2018). Involvement of neutrophil dynamics and function in exercise-induced muscle damage and delayed-onset muscle soreness: Effect of hydrogen bath. *Antioxidants*, 7(10), 127. <https://doi.org/10.3390/antiox7100127>
- Koch, A. J., Pereira, R., & Machado, M. (2014). The creatine kinase response to resistance exercise. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, 14(1), 68–77. <http://www.ismni.org/jmni/pdf/55/08KOCH.pdf>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>
- Morán-Navarro, R., Pérez, C. E., Mora-Rodríguez, R., de la Cruz-Sánchez, E., González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., & Pallarés, J. G. (2017). Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *European Journal of Applied Physiology*, 117(12), 2387–2399. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3725-7>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Aagaard, P., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Mora-Custodio, R., Otero-Esquina, C., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2020). Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2867–2876. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002756>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), 916–924. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363985>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017a). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(6), 630–639. <https://doi.org/10.1111/cpf.12348>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J., & González-Badillo, J. J. (2017b). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Pareja-Blanco, F., Sánchez-Medina, L., Suárez-Arrones, L., & González-Badillo, J. J. (2017c). Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 512–519. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0170>
- Párraga-Montilla, J. A., García-Ramos, A., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., González-Hernández, J. M., Cordero-Rodríguez, Y., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Acute and delayed effects of a resistance training session leading to muscular failure on mechanical, metabolic, and perceptual responses. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2220–2226. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002712>
- Sanchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>

- Santos, W. D. N., Vieira, C. A., Bottaro, M., Nunes, V. A., Ramirez-Campillo, R., Steele, J., Fisher, J. P. & Gentil, P. (2021). Resistance training performed to failure or not to failure results in similar total volume, but with different fatigue and discomfort levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1372–1379. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002915>
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 94(5), 652–658. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1357-9>

自我聲明：

- (一)研究倫理:本研究已通過國立臺灣大學人體研究倫理委員會審查通過(編號:xxxxxxxxxx), 且所有執执行程序符合1964年赫爾辛基宣言的標準及規範。
- (二)致謝:本研究蒙國立體育大學柔道隊選手的參與及科技部 (計畫編號: MOST 108-2410-H-179-001-MY2) 經費補助, 特此致謝。
- (三)利益衝突:本研究無涉及相關利益衝突。
- (四) AI聲明:本研究所有作者宣稱無使用任何AI工具生成文章任一內容(若使用AI工具進行編修或資料分析需加註聲明內容)。

Effect of Velocity-Based Heavy Resistance Exercise on Exercise-Induced Muscle Damage

Ching-Fei Chen^{1,2}, Chih-Yuan Chuang¹, Bo-Kai Chiou¹, Shih-Hui Sheng³, Kuei-Hui Chan^{1*}

¹Graduate Institute of Coaching Science, National Taiwan Sport University, Taoyuan City, Taiwan

²Office of General Affairs, University of Taipei, Taipei City, Taiwan

³Department of Physical Education, Tunghai University, Taichung City, Taiwan

Abstract

Purpose: To investigate the effect of velocity-based heavy resistance exercise with 20% velocity loss on plasma creatine kinase (CK) activity, visual analog scale (VAS) of muscle soreness, range of motion (ROM), and against velocity 1 m/s load (V1 load), which are commonly used as the indicators of exercise-induced muscle damage (EIMD). **Methods:** Twelve male collegiate judokas were recruited. Participants performed 3 sets of heavy resistance exercises including bench press and squat at 85% of 1-RM, with repetitions to 20% velocity loss (VL20) or failure (RF) in a counterbalanced crossover manner. The variables of EIMD and exercise load were measured at the time points of before exercise, immediately after exercise, 24 and 48 hr after exercise. Paired t-test and two-way ANOVA with repeated measurement were used to analyze the variables. **Results:** The velocity loss of the third set of squats in the VL20 trial was significantly lower than the RF trial. The CK activity at time point of 24 hr after exercise in the VL20 trial did not show significant difference compared to before exercise. However, the CK activity at time point of 24-hr after exercise in the RF trial was significantly higher than 48-hr after exercise. The VAS scores at each time point after exercise in the VL20 trial were significantly lower than the RF trial. Moreover, the velocity against the V1 load in bench press at 24-hr after exercise in the VL20 trial was significantly higher than the RF trial. **Conclusion:** Execution of the repetition to 20% velocity loss during heavy resistance exercise for 3 sets at 85% of 1-RM enabled lower velocity loss in squat and decreased muscle pain after exercise. Thus, it can reduce exercise-induced muscle damage and speed up recovery after resistance training.

Keywords: repetitions to failure, percentages of velocity loss, bench press, squat, creatine kinase
