

國立臺灣師範大學運動與休閒學院  
體育與運動科學系

碩士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences  
College of Sports and Recreation  
National Taiwan Normal University  
Master's Thesis

調控速度流失之高強度阻力運動誘發增能作用  
對下蹲跳表現之影響

Effect of post-activation potentiation induced by high-intensity  
resistance exercise using velocity loss control on  
countermovement jump performance

鄭家榮

Jia-Rong Zheng

指導教授：黃長福 博士

Advisor: Chen-Fu Huang, Ph.D.

中華民國111年9月

September 2022

# 調控速度流失之高強度阻力運動誘發增能作用對下蹲跳表現之影響

2022年9月

研究生：鄭家榮

指導教授：黃長福

## 摘要

**前言：**速度依循訓練 (velocity based training, VBT) 是在阻力運動中監控動作速度的一種訓練方法，透過監控速度可以用來確認強度與疲勞程度，以達到更好的訓練成效。使用 VBT 是否更有效地誘發活化後增能作用 (post-activation potentiation, PAP) 以增進隨後的爆發力表現，目前仍須進一步探討。**目的：**探討 VBT 之高強度阻力運動在不同速度流失 (velocity loss, VL) 下誘發 PAP，對下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 表現的影響。**方法：**12位具有2年以上規律阻力訓練經驗且半蹲舉 (half squat, HS) 1RM 大於 1.75倍自身體重之男性受試者，執行3組90%1RM 之 HS，以平衡次序法進行2種不同 VL 之處理：10%VL 或20%VL，動作 VL 一旦超過設定 VL 即停止該組反覆。在 HS 之前與休息後的第7分鐘進行下蹲跳 (countermovement jump, CMJ)，使用測力板收取垂直對地反作用力，再計算出跳躍高度、峰值速度、向心平均速度、離心平均加速度、離心峰值加速度、向心平均加速度、向心峰值加速度、峰值力量、離心平均力量、向心平均力量、峰值功率、向心平均功率、離心平均發力率、離心衝量、向心衝量、離心時間、向心時間、起跳總時間。**統計：**將所蒐集到之數據進行重複量數二因子變異數 (two-way repeated-measured ANOVA)，考驗測驗時間與實驗處理的差異，顯著水準定為  $\alpha = .05$ 。**結果：**CMJ 各項表現在不同測驗時間之間與不同實驗處理之間均未達顯著差異。**結論：**使用3組 90%1RM 之 HS 並控制10%或20%VL 之處理均無法有效增進休息7分鐘後的 CMJ 表現。

**關鍵詞：**活化後增能作用、爆發力表現、槓鈴速度、半蹲舉

# Effect of post-activation potentiation induced by high-intensity resistance exercise using velocity loss control on countermovement jump performance

September, 2022

Author: Jia-Rong, Zheng

Advisor: Chen-Fu, Huang

## Abstract

**Introduction:** Velocity-based training (VBT) is a training method for monitoring movement velocity during resistance exercise, and monitoring velocity can confirm the intensity and fatigue level to improve training. Whether VBT induces post-activation potentiation (PAP) more effectively to enhance subsequent explosive performance remains further studied. **Purpose:** To investigate the effect of PAP induced by high-intensity resistance exercise utilizing the VBT method with different velocity loss (VL) on countermovement jump (CMJ). **Methods:** Twelve men with more than 2 years of regular resistance training experience and half-squat (HS) 1RM  $\geq 1.75$  bodyweight completed 3 sets of HS at 90% 1RM with different VL allowed in each set: 10% (10% VL) or 20% (20% VL). The trials were randomized and counterbalanced. CMJ was performed before and 7 minutes after the 3 sets of HS. Force plates were used to collect vertical ground reaction force, and then calculate jump height, peak velocity, concentric mean velocity, eccentric mean acceleration, eccentric peak acceleration, concentric mean acceleration, concentric peak acceleration, peak force, eccentric mean force, concentric mean force, peak power, concentric mean power, eccentric mean rate of force development, eccentric impulse, concentric impulse, eccentric time, concentric time, and total time to takeoff. Two-way repeated-measured ANOVA was used to statistic and the significance level was set to  $\alpha = .05$ . **Results:** There were no significant differences in the performance of CMJ between different test times and between different experimental treatments. **Conclusion:** 3 sets of HS at 90% 1RM

controlling 10% or 20% VL and 7 minutes of rest were unable to improve CMJ performance.

**Key words:** post-activation potentiation, explosive performance, barbell velocity, half-squat.



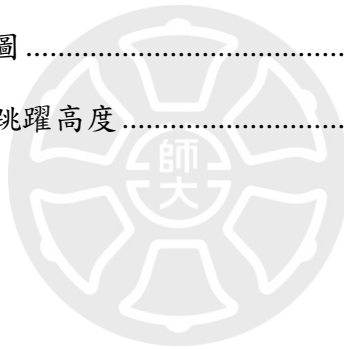
# 目 次

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 中文摘要.....                         | i         |
| 英文摘要.....                         | ii        |
| 目 次.....                          | iv        |
| 圖 次.....                          | vi        |
| 表 次.....                          | vii       |
| <br>                              |           |
| <b>第壹章 緒論.....</b>                | <b>1</b>  |
| 第一節 前言.....                       | 1         |
| 第二節 問題背景.....                     | 2         |
| 第三節 研究目的.....                     | 3         |
| 第四節 研究假設.....                     | 4         |
| 第五節 研究範圍與限制.....                  | 4         |
| 第六節 操作性名詞定義解釋.....                | 4         |
| <br>                              |           |
| <b>第貳章 文獻探討.....</b>              | <b>7</b>  |
| 第一節 活化後增能之機制.....                 | 7         |
| 第二節 阻力運動誘發活化後增能作用與爆發力表現之文獻探討..... | 8         |
| 第三節 速度依循訓練之文獻探討.....              | 13        |
| 第四節 速度依循訓練應用於活化後增能作用之文獻探討.....    | 15        |
| <br>                              |           |
| <b>第參章 研究方法.....</b>              | <b>17</b> |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 第一節 研究對象 .....                   | 17        |
| 第二節 實驗時間與地點 .....                | 17        |
| 第三節 實驗儀器與設備 .....                | 17        |
| 第四節 實驗設計與流程 .....                | 18        |
| 第五節 資料處理 .....                   | 23        |
| <br>                             |           |
| <b>第肆章 結果 .....</b>              | <b>27</b> |
| 第一節 受試者基本資料與實驗處理過程 .....         | 27        |
| 第二節 不同實驗處理對下蹲跳表現之結果 .....        | 29        |
| <br>                             |           |
| <b>第伍章 討論 .....</b>              | <b>34</b> |
| 第一節 不同速度流失對執行半蹲舉之影響 .....        | 34        |
| 第二節 不同速度流失之高強度半蹲舉對下蹲跳表現之影響 ..... | 35        |
| 第三節 結論 .....                     | 39        |
| 第四節 建議 .....                     | 39        |
| <br>                             |           |
| <b>參考文獻 .....</b>                | <b>40</b> |
| 附錄一 受試者同意書 .....                 | 48        |
| 附錄二 健康情況與運動習慣調查表 .....           | 49        |

# 圖 次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 圖1-1. 半蹲舉示意圖 .....           | 5  |
| 圖1-2. 負荷—速度關係圖(取自實驗結果) ..... | 5  |
| 圖3-1. GYMAWARE 線性位移感測器 ..... | 18 |
| 圖3-2. KISTLER 攜帶式測力板 .....   | 18 |
| 圖3-3. 實驗設計圖 .....            | 19 |
| 圖3-4. 實驗之彈力繩設置 .....         | 20 |
| 圖3-5. 實驗之線性位移感測器之設置 .....    | 21 |
| 圖3-6. 實驗處理流程圖 .....          | 22 |
| 圖3-7. CMJ 動作階段分期示意圖 .....    | 26 |
| 圖4-1. 不同實驗處理之前後測跳躍高度 .....   | 30 |



# 表 次

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 表2-1. 使用高強度阻力運動對 PAP 效果之文獻整理.....     | 11 |
| 表2-2. 比較不同恢復時間的阻力運動對 PAP 效果之文獻整理..... | 12 |
| 表4-1. 受試者基本資料.....                    | 28 |
| 表4-2. 受試者半蹲舉之負荷－速度關係.....             | 28 |
| 表4-3. 不同實驗處理在執行半蹲舉過程中之重量與反覆次數.....    | 29 |
| 表4-4. 不同實驗處理在執行半蹲舉過程中之速度資料.....       | 29 |
| 表4-5. 測驗中跳躍高度之再測信度.....               | 30 |
| 表4-6. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的速度與加速度表現.....   | 31 |
| 表4-7. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的力量表現.....       | 32 |
| 表4-8. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的功率表現.....       | 32 |
| 表4-9. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的發力率表現.....      | 33 |
| 表4-10. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的衝量表現.....      | 33 |
| 表4-11. 不同實驗處理之 CMJ 前後測的動作時間表現.....    | 34 |



# 第壹章 緒論

## 第一節 前言

在競技運動場域上，許多運動項目需要在極短時間內做出高力量與快速度的動作，例如衝刺、跳躍、投擲、改變方向、踢打 (James, Haff, Kelly, & Beckman, 2016) 等等，而同時具備高力量與快速度的身體能力特質又稱為爆發力 (Haff, Whitley, & Potteiger, 2001)。假如一位選手具備較佳的爆發力，在運動場上就能獲得更好的優勢，贏得比賽的機會也會更高，因此身體的爆發力是影響比賽勝負與取得成功運動表現的重要因素 (Haff et al., 2001; Michael H Stone, Moir, Glaister, & Sanders, 2002)。對於運動員以及教練來說，如何最大化爆發力一直是相當重要且關心的課題之一 (Haff & Nimphius, 2012)。

例如複合式訓練 (complex training, CT) 是一種用來提升爆發力的訓練方法之一，此訓練常見的做法是先進行高強度阻力運動，隨後再進行具有相似力學模式的高速爆發運動 (Docherty, Robbins, & Hodgson, 2004)，例如先進行蹲舉 (squat)，休息1~12分鐘，隨後再進行跳躍或增強式運動 (plyometric exercise)。此方法背後的原理是透過誘發活化後增能作用 (post-activation potentiation, PAP) 現象，即先前的肌肉收縮活動 (例如阻力運動)，增加後續的肌肉力量與爆發力表現的一種生理現象 (Robbins, 2005; Tillin & Bishop, 2009)，並且使得進行爆發式運動時可以獲得更大的訓練刺激，得到更好的訓練適應，最終促進更好的爆發力訓練效果。

PAP 除了可以應用在訓練中，也可以應用在比賽的場域上，當作賽前的熱身以提升賽場上的表現 (Bogdanis, Tsoukos, & Veligas, 2017)；誘發 PAP 的方式除了阻力運動外，許多研究也指出進行彈震式運動 (ballistic exercise) 或增強式運動也可有效誘發 PAP，增進跳躍衝刺等的爆發表現 (Maloney, Turner, & Fletcher, 2014; Seitz & Haff, 2016)。

由此可知，PAP 應用的多元性使得有越來越多的研究投入此領域，探討如何有效地誘發 PAP，並且可以實際應用在訓練跟比賽的場域上，進一步地提升運動員的表現。

## 第二節 問題背景

利用 PAP 現象增加隨後爆發力訓練的爆發表現是複合式訓練的理論基礎，因此有許多研究透過阻力運動誘發 PAP，探討對爆發力的立即性影響。而阻力運動是否能有效誘發 PAP 以增益隨後的爆發力表現，目前許多的研究結果仍不一致 (Suchomel, Lamont, & Moir, 2016; Tillin & Bishop, 2009)，其中的原因在於進行阻力運動時，除了會誘發 PAP 外，同時也會產生疲勞，而兩者之間的平衡將影響隨後的爆發力表現是否增強、減弱或維持不變 (Sale, 2002)，且當 PAP 大於疲勞時才有可能增益隨後的爆發力表現；除此之外，阻力運動的強度、訓練量、動作幅度、休息時間以及個人的肌力水準、訓練經驗等等因素，也將會影響 PAP 與疲勞之間的平衡而有不同的爆發力增益效果 (Seitz & Haff, 2016; Suchomel et al., 2016; Wilson et al., 2013)。

雖然先前的研究指出，使用高強度阻力運動去誘發 PAP 所產生的爆發力增益效果較好 (McBride, Nimphius, & Erickson, 2005; Seitz & Haff, 2016)，但是可以產生最佳增益效果所需要執行的反覆次數或訓練量仍沒有一致的定論，其中一個原因是在某一強度負荷下，隨著反覆次數的增加其產生的疲勞水準可能會有個人化的差異 (Rodríguez-Rosell, Yáñez-García, Sánchez-Medina, Mora-Custodio, & González-Badillo, 2020)。然而過去使用阻力運動誘發 PAP 的多數研究中，較少對阻力運動過程中的疲勞進行監測與控制，再加上疲勞程度可能會受個人差異的影響，這也導致比較難去設定出可誘發 PAP 以產生最佳爆發力的增益效果所需的反覆次數或訓練量。

近年來隨著科技的進步，有越來越多的訓練過程中會使用穿戴式裝置來提升訓練的品質，包括使用線性位移感測器 (linear position transducer, LPT) (Orange et al., 2020) 以及慣性感測器 (inertial measurement unit, IMU) (Clemente, Akyildiz, Pino-Ortega, & Rico-Gonzalez, 2021) 用以監控阻力運動過程中槓鈴的移動速度 (動作速度)，並且使用速度以提升整體訓練的品質，此訓練方式稱為速度依循訓練 (velocity based training, VBT) (Weakley et al., 2021)。在 VBT 中，測量個人的負荷—速度關係 (load-velocity profile, LVP)，使得可以有效地利用速度來量化訓練強度以及重量負荷 (Conceição, Fernandes, Lewis, González-Badillo, & Jimenez-Reyes, 2016;

Thompson, Rogerson, Ruddock, Banyard, & Barnes, 2021)；速度流失 (velocity loss, VL) 則可以用來監控阻力運動過程中的疲勞水準 (Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011)。

因此，VBT 的方式，即以 LVP 為依據而使用動作速度用來確認阻力運動的強度並制定所需的重量負荷，再加上控制 VL 去調控阻力運動過程中的疲勞，是否可以有效地誘發 PAP 且更好地增益後續的爆發力表現是值得去探究的。Tsoukos, Brown, Terzis, Veligeas, 與 Bogdanis (2021) 進行一組高強度 (80%1RM) 但不同 VL (10%VL 或30%VL) 的仰臥推舉 (bench press, BP)，探討隨後對仰臥丟擲 (bench press throw, BPT) 的影響，而研究結果顯示，雖然10%VL 與30%VL 之 BP 皆可有效增加 BPT 的平均推進速度，但只有10%VL 的 BP 才可以顯著增加 BPT 的峰值速度，因此控制較低 VL 可能有更好 PAP 效果。然而，卻有他篇研究觀察到不一樣的結果，Krzysztofik, Kalinowski, Trybulski, Filip-Stachnik, 與 Stastny (2021) 的對女性排球運動員進行一組80%1RM 之蹲舉並控制10%VL，並沒有發現可以顯著增加隨後下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 表現，針對此研究結果，其作者表示這可能因為受到訓練量的影響，包括執行組與反覆次數，雖然使用較低 VL 可以控制較低的疲勞，但同時也可能因為有較少的訓練量而不足以誘發出較佳的 PAP；除此之外，亦有可能受到上下肢的生理與力學上的差異而導致結果的不一致，例如上肢的肌群相對於下肢擁有較高比例的 II 型肌纖維 (Johnson, Polgar, Weightman, & Appleton, 1973; Susheela & Walton, 1969)，以及有較少的肌肉組織量，因此上肢可能只需要較低 VL 與訓練量，便可成功誘發 PAP。因此在下肢中，透過高強度的阻力運動控制 VL 的方式誘發 PAP 對後續爆發的表現上，針對不同 VL 目前仍需要再進一步探討。

### 第三節 研究目的

本研究目的為探討 VBT 之高強度阻力運動在不同 VL：10%VL 或20%VL 之實驗處理下誘發 PAP，對 CMJ 表現的影響。

## 第四節 研究假設

本研究假設如下：

10%VL 與 20%VL 之高強度阻力運動能顯著提升 CMJ 表現。

## 第五節 研究範圍與限制

本研究之範圍與限制，說明如下：

- 一、本研究是以 18 歲以上男性為研究對象，且需要每週規律從事阻力運動 2 次以上，訓練經驗至少 2 年。其研究結果僅能推估至相同條件之族群上。
- 二、為避免影響實驗結果，受試樣本須排除：
  - (一) 半年內有下肢嚴重運動傷害者。
  - (二) 有酗酒、吸毒習慣或有服用提升運動表現之藥物與食品者。

## 第六節 操作性名詞定義解釋

### 一、阻力運動

本實驗之阻力運動為屈膝 90 度之半蹲舉 (half squat, HS)，如圖 1-1.所示。為確保執行 HS 之動作幅度有達到所設定之標準，因此將使用彈力繩來確保其動作幅度。首先，請受試者自然下蹲至屈膝約略 90 度之位置，並使用關節量角器確認其角度並調整至正確之屈膝角度後，會在此位置上設置彈力繩，使之輕觸受試者之臀部中段位置，以確保接下來的實驗過程可以使受試者達到所設定之動作幅度。



圖1-1. 半蹲舉示意圖

## 二、速度

速度在物理學上的定義為一物體之單位時間上的位移量，是時間的函數。在本研究中，會測量 HS 之槓鈴的向心平均速度 (mean velocity, MV)，即向心動作階段，槓鈴移動速度的平均值。

## 三、負荷—速度關係 (load-velocity profile, LVP)

在執行阻力運動時，在某相對強度 (%1RM) 下與所能夠執行的最快動作速度會有一高度負相關，並且可以得到線性或二元迴歸方程式 (如圖1-2.)，此為 LVP。

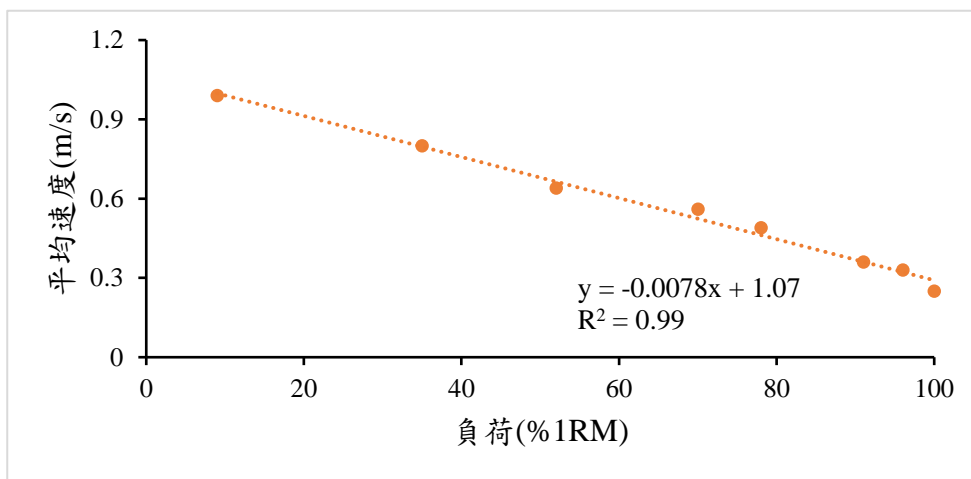


圖1-2. 負荷—速度關係圖(取自實驗結果)

本研究將測量 HS 在不同的%1RM 下所能執行的最快 MV，從而得到個人的 LVP 並得出線性迴歸方程式。藉由此個人的線性迴歸方程式，可以反推求出在某%1RM 下所能執行的最快向心 MV，並且使用此 MV 來制定所要執行的重量負荷。舉例來說，經測量某人 HS 的曲線關係並得出迴歸方程式之後，求得此人在進行90%1RM 的重量負荷所能執行的最快向心 MV 為：0.43公尺/秒；而過去文獻指出量測之 MV 的95%信賴區間介於0.03-0.04公尺/秒之間 (Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017)，因此透過此 LVP 設定出的90%1RM 重量負荷所需的動作速度，為 $0.43 \pm 0.03$ 公尺/秒，而進行的重量所能執行的最快速度應在此速度範圍內，如否，則需進一步調整重量，直至此速度區間內。

#### 四、速度流失 (velocity loss, VL)

執行阻力運動時，隨著反覆次數的增加，每次反覆的動作速度會逐漸下降而造成速度流失。速度流失的百分比計算方式為： $VL = \left[ 1 - \left( \frac{\text{目前執行的動作速度}}{\text{該組的最快動作速度}} \right) \right] \times 100\%$



## 第貳章 文獻探討

### 第一節 活化後增能之機制

藉由次最大或最大的自主肌肉收縮活動 (voluntary contraction)，又稱為預先體能活動 (condition activity, CA)，可以導致後續肌肉活動時的力量與爆發表現的提升，可能使跳躍、衝刺、投擲等運動表現進一步得到增強，此生理現象稱為 PAP (Seitz & Haff, 2016; Tillin & Bishop, 2009)，CA 誘發 PAP 使肌肉力量與爆發表現增強的原理，使其可應用於競技運動賽場上與訓練場域當中，例如，透過阻力運動當作賽前的熱身活動，或是 CT (Ebben, 2002)，即是希望去運用 PAP 以增強在賽場上的表現或在爆發力訓練中 (例如增強式訓練) 的訓練刺激。

有關於引起 PAP 的生理機制目前被認為有下列幾種：肌球蛋白輕鏈 (myosin regulatory light chains, RLC) 磷酸化 (Hodgson, Docherty, & Robbins, 2005; Manning & Stull, 1982; Tillin & Bishop, 2009)，肌肉在收縮期間所釋放之鈣離子將活化肌球蛋白輕鏈激酶，進而磷酸化 RLC，造成肌球蛋白頭的結構改變以及使肌球蛋白—肌動蛋白對鈣離子的敏感性增加而促進隨後的收縮表現 (Szczesna et al., 2002)；高階運動單位 (特別是 type II 運動單位) 之活化與招募的增加，在進行 CA 後，增加 H-反射之振幅，促進運動神經元之興奮性，使高階運動單位的招募進而增加 (Tillin & Bishop, 2009; Trimble & Harp, 1998)；增加脊髓內突觸之興奮性，增加興奮性突觸後電位 (excitatory postsynaptic potential, EPSP)，這代表  $\alpha$  運動神經元有更大的去極化進而促進隨後肌肉收縮之表現 (Hirst, Redman, & Wong, 1981)；肌肉的羽狀角度變化，肌肉收縮後可能導致羽狀角度減少，使力量的傳遞更有力學上的效率，因而對 PAP 有貢獻，進一步促進肌肉的力量與爆發表現 (Mahlfeld, Franke, & Awiszus, 2004)；其他因素，包括肌肉—肌腱勁度的增加、肌肉溫度的提升 (Blazevich & Babault, 2019)。因此在 CA 後，導致上述之神經肌肉、生理化學與力學等因素的改變，將可能影響肌肉的收縮表現，進一步提升肌肉力量與爆發表現而有 PAP 現象的發生。

## 第二節 阻力運動誘發活化後增能作用與爆發力表現之文獻探討

常見用於誘發 PAP 的 CA 是透過動態收縮的阻力運動，藉以提升後續之爆發力表現，諸如衝刺、跳躍、投擲等運動表現。然而，執行阻力運動期間會同時產生 PAP 與疲勞，而兩者之間的淨平衡將會決定是否可提升後續的運動表現，也因此可以發現，過去使用阻力運動誘發 PAP 的研究文獻中，對於爆發力表現提升的結果並不一致。

而有許多的變項會影響阻力運動所產生的 PAP 與疲勞之間的平衡，不同變項的操弄進一步影響後續的結果。為此，本章節將針對強度與訓練量、恢復時間與個體差異這三個變項進一步探討與整理阻力運動對於誘發 PAP 與爆發力表現之相關結果。

### 一、阻力運動之強度與訓練量

有關於阻力運動的強度對 PAP 效果的影響上，有許多研究使用高強度負荷能夠使隨後的爆發力表現顯著提升（詳見表2-1）。Young 與 Griffiths (1998) 的研究中，執行1組5下反覆，強度為5RM 之 HS，能顯著提升4分鐘後的負重 CMJ 之高度；McBride, Nimphius, 與 Erickson (2005) 對15名美式足球運動員進行1組3下反覆，90%1RM 之蹲舉，同樣也能使休息4分鐘後的40公尺衝刺秒數減少約0.87%。也有其他研究則指出高強度比低強度能更好地增加隨後的爆發力表現，De Villarreal, González-Badillo, 與 Izquierdo (2007) 比較85%1RM、90%1RM、30%1RM 之蹲舉對隨後5分鐘的 CMJ、負重 CMJ、落地跳 (drop jump, DJ) 之影響，研究結果指出，只有85%與90%1RM 才能顯著增加此三種跳躍之高度。

然而也有多篇研究並未發現高強度阻力運動能有效增加隨後的爆發力表現 (表 2-1.)，其中可能的原因是高強度負荷同時也產生較大的疲勞，並且高過所誘發的 PAP 而使得無法增加隨後的爆發力表現；除此之外還可能受到其他因素影響，如恢復的時間或個體的差異等等，均可能是導致高強度阻力運動無法增益隨後表現的因素之一，有關恢復時間與個體差異的影響會在後面進行探討。但整體來說，想要使用阻力運動誘發 PAP，使用 $\geq 85\%1RM$  之強度或許是目前建議使用的，Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析研究 (meta-analysis) 指出，傳統阻力運動使用高強度 ( $\geq 85\%1RM$ ) 增益隨後爆發力表現的效果量 (effect size) 比中等強度 (30-84%1RM) 還要高，意味著高強度能夠更有效地增強隨後的 PAP 效果；另外 Harrison, James,



McGuigan, Jenkins, 與 Kelly (2019) 的綜評性文章中也指出，雖然阻力運動的強度介於 30%1RM 到 95%1RM 都有可能引起 PAP，但是 $\geq 85\%1RM$  似乎對於提升隨後的爆發力表現才是最有效率的。

有關於訓練量的部分，Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析研究指出，執行多組用於誘發 PAP 的 CA，對於提升爆發力表現相比只執行單組有更高的效果量，同樣的 Wilson 等 (2013) 的統合分析研究中也表示執行多組的效果量顯著高過單組，但會因為不同的訓練經驗而有不同的效果量；而不論是單組或多組的阻力運動皆有研究發現可以促進隨後的爆發力表現。整體來說，能夠最有效地誘發 PAP 所需的訓練量 (強度 $\times$ 反覆次數) 目前還未有確切的定論，而 Harrison, James, McGuigan, Jenkins, 與 Kelly (2019) 的綜評性文章則建議高強度 ( $\geq 85\%1RM$ ) 進行少量的反覆數 (3–6下) 可能會是較有效率的，然而確切訓練量仍需要再進一步探討。

## 二、恢復時間

有多篇研究是針對阻力運動後不同的恢復時間對 PAP 效果進行探討 (表2-2.)，Chatzopoulos 等 (2007) 對15位業餘團隊運動之運動員以90%1RM 進行10組1次反覆之蹲舉，其研究結果發現恢復後的第3分鐘無法促進10公尺與30公尺衝刺表現，但第5分鐘卻能有效減少其衝刺秒數。Kilduff 等 (2007) 對23位職業橄欖球員分別進行3RM，1組3下的蹲舉與 BP，並觀察能產生最佳 PAP 的最佳恢復時間 (15秒和4、8、12、16、20分鐘)，研究結果顯示進行蹲舉後的第15秒顯著減少 CMJ 的峰值功率但在第8和第12分鐘卻能顯著增加，同樣地進行完 BP 後的第15秒顯著減少 BPT 的峰值功率，但在第8、12、16分鐘觀察到顯著地增加。Crewther 等 (2011) 對9位次菁英橄欖球員進行3RM，1組3下的蹲舉，也發現第15秒顯著減少 CMJ 高度，而在4、8、12分鐘可以顯著提升 CMJ 高度，但也發現第16分鐘時 CMJ 高度顯著下降。由上述研究大致可以得知進行完高強度的阻力運動後必須要恢復一定的時間才可有效促進爆發力表現，但恢復時間過長也會導致 PAP 現象的消散 (Tillin & Bishop, 2009)，先前 Wilson 等 (2013) 的統合分析研究指出，進行完阻力運動後的恢復時間在7到10分鐘有最高的效果量，且顯著高於超過10分鐘的恢復時間；而 Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析研究則表示5到7分鐘的恢復時間才會有較好的 PAP 效果。

### 三、個體差異

不同的個體特徵也會產生不同的 PAP 效果，例如不同的肌力水準、訓練經驗、性別、遺傳等等因素會導致有不同的增益程度、需要的恢復時間。Seitz, de Villarreal, 與 Haff (2014) 發現在以 90% 1RM 進行 1 組 3 下反覆的蹲舉之後執行 CMJ，1RM 大於 2 倍自身體重的橄欖球員相比於不足者能較快地產生 PAP，且也有較佳的增益效果；Suchomel, Sato, DeWeese, Ebben, 與 Stone (2016) 也發現肌力較強壯者對蹲踞跳 (squat jump, SJ) 產生較大的增益。Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析指出蹲舉 1RM  $\geq 1.75$  倍自身體重者整體而言可產生更高的 PAP 效果，而在訓練量上則顯示較強壯者適用於多組的 CA，但較弱者則適合單組；Wilson 等 (2013) 的統合分析研究則表示運動員相比於休閒訓練與為訓練者可以更早產生最佳 PAP 效果，且使用多組的 CA 也可以產生更高的 PAP 效果。由上述的研究可以知道，較強壯者或有較多訓練經驗者，可以產生較大程度的 PAP 效果以及可更早表達出 PAP。



表 2-1.

## 使用高強度阻力運動對PAP 效果之文獻整理

| 作者   | 對象         | 阻力運動   | 恢復時間  | 結果                     |
|--|------------|--|-------|------------------------|
| (Evetovich, Conley, & McCawley, 2015)                | 20位田徑運動員   | SQ, 90% 1RM, 1組3下                                  | 8 min | ↑ CMJ 高度<br>↑ HJ 長度    |
|  | 10位鉛球運動員   | A. BP, 3RM, 1 組 3 下<br>B. SQ, 3RM, 1 組 3 下         | 8 min | A. ↑ 鉛球成績<br>B. = 鉛球成績 |
|  | 7位橄欖球員     | SQ, 3RM, 1 組3下                                     | 8 min | ↓ 36.6 m 衝刺秒數          |
|  | 11位橄欖球員    | SQ, 3RM, 1 組3下                                     | 8 min | = CMJ 高度               |
| (Hanson, Leigh, & Mynark, 2007)                      | 30位阻力訓練經驗者 | SQ, 80% 1RM, 1組4下                                  | 5 min | = CMJ 表現               |
| (Mangus, Takahashi, & Holcomb, 2006)                 | 11位阻力訓練經驗者 | A. HS, 90% 1RM, 1 組 1 下<br>B. QS, 90% 1RM, 1 組 1 下 | 3 min | = CMJ 高度在任何條件          |
| (McBride, Nimphius & Erickson, 2005)                 | 15 名美式足球員  | SQ, 3RM, 1 組3下                                     | 4 min | ↓ 40 m 衝刺秒數            |
| (Mitchell & Sale, 2011)                              | 11位橄欖球員    | BP, 90% 1RM, 1 組3下                                 | 4 min | ↑ CMJ 高度               |
| (Scott & Docherty, 2004)                             | 19位阻力訓練經驗者 | SQ, 5RM, 1 組5下                                     | 4 min | = CMJ 與 HJ 表現          |
| (Seitz, de Villarreal & Haff, 2014)                  | 13位橄欖球員    | A. SQ, 90% 1RM, 1 組 3 下<br>B. PC, 90% 1RM, 1 組 3 下 | 7 min | ↑ 20 m 衝刺表現            |
| (Sygulla & Fountaine, 2014)                          | 29位大學運動員   | SQ, 90% 1RM, 1 組3下                                 | 5 min | = SJ 表現                |
| (Weber, Brown, Coburn, & Zinder, 2008)               | 12位田徑運動員   | SQ, 85% 1RM, 1 組5下                                 | 3 min | ↑ SJ 高度、峰值力量           |
| (West, Cunningham, Crewther, Cook, & Kilduff, 2013). | 20位橄欖球員    | BP, 87% 1RM, 3組3下                                  | 8 min | ↑ BPT 峰值功率             |
| (Young & Griffiths, 1998)                            | 10位阻力訓練經驗者 | HS, 5RM, 1 組5下                                     | 4 min | ↑ 負重 CMJ 高度            |

註：SQ (squat) = 蹲舉；BP (bench press) = 仰臥推舉；BPT (bench press throw) = 仰臥丟擲；CMJ (countermovement jump) = 下蹲跳；HJ (horizontal jump) = 立定跳；HS (half squat) = 半蹲舉；PC (power clean) = 爆發上擲；QS (quarter squat) = 四分之一蹲舉；SJ (squat jump) = 蹲踞跳；↑ = 增加；== = 不變；↓ = 減少

表2-2.

比較不同恢復時間的阻力運動對PAP效果之文獻整理

| 作者                                 | 對象            | 阻力運動                                 | 恢復時間                       | 結果  |
|------------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------|---|
| (Chatzopoulos et al., 2007)        | 15位業餘<br>團隊球員 | SQ, 90% 1RM, 10組1下                   | 3min、5min                  | 10、30m 衝刺秒數:<br>= (3min)<br>↓ (5min)  |
| (Crewther et al., 2011)            | 9位橄欖球<br>員    | SQ, 3RM, 1組3下                        | 15s、4、8、12、16min           | CMJ 高度:<br>↓ (15s、16min)<br>↑ (4、8、12min)<br>5、10m 衝刺秒數:<br>= (任何時間)            |
| (Jensen & Ebben, 2003)             | 21位大學<br>運動員  | SQ, 5RM, 1組5下                        | 10s、1、2、3、4min             | CMJ 高度:<br>↓ (10s)<br>= (1、2、3、4min)  |
| (Jones & Lees, 2003)               | 8位阻力訓<br>練經驗者 | SQ, 85% 1RM, 1組5下                    | 3、10、20min                 | = CMJ 表現 (任何時間)<br>= DJ 表現 (任何時間)   |
| (Kilduff et al., 2007)             | 23位橄欖<br>球員   | A. SQ, 3RM, 1組3下<br>B. BP, 3RM, 1組3下 | 15s、4、8、12、16min           | A. CMJ PP:<br>↓ (15s)<br>↑ (8、12min)<br>B. BPT PP:<br>↓ (15s)<br>↑ (8、12、16min) |
| (Kilduff et al., 2008)             | 20位橄欖<br>球員   | SQ, 87% 1RM, 3組3下                    | 15s、4、8、12、16、20、<br>24min | CMJ 高度、PP:<br>↓ (15s)<br>↑ (8min)<br>CMJ pRFD:<br>↑ (8min)                      |
| (Kilduff et al., 2011)             | 9位游泳選<br>手    | SQ, 87% 1RM, 1組3下                    | 15s、4、8、12、16min           | CMJ 高度、PP<br>↓ (15s)<br>↑ (8min)  |
| (Mola, Bruce-Low, & Burnet, 2014). | 22位足球<br>員    | SQ, 3RM, 1組3下                        | 15s、4、8、12、16、20min        | = CMJ 高度、PP (任何時<br>間)  |

註：SQ (squat) = 蹲舉；BP (bench press) = 仰臥推舉；BPT (bench press throw) = 仰臥丟擲；CMJ (countermovement jump) = 下蹲跳；DJ (drop jump) = 落地跳；PP (peak power) = 峰值功率；pRFD (peak rate of force development) = 峰值發力率；↑:增加；= 不變；↓ = 減少

### 第三節 速度依循訓練之文獻探討

隨著現代科技的進步，有越來科技產品運用在運動訓練中，以提升訓練品質與成效。這近幾年裡興起一種訓練方式是將 IMU 或 LPT 應用在阻力訓練當中，以獲得執行阻力運動的槓鈴移動速度，並利用速度當作監控整個訓練過程的強度、疲勞、品質等等的參考依據，此種訓練方式也被稱作 VBT。VBT 可藉由速度監控訓練強度的主要依據是阻力運動中的 LVP 具有高度的決定係數與信度，因此藉由 LVP 可以有效地用速度去監控訓練過程中的強度負荷；VBT 監控疲勞則透過控制阻力運動過程中的 VL，以確保在訓練過程中不會造成多餘的代謝壓力與神經肌肉的疲勞，也可當作在決定訓練量的依據；除此之外，在訓練當中藉由提供速度的回饋也可以有效地提升訓練中的動機與成效等等。也因此 VBT 具廣大的應用多元性，而使得成為近幾年來的熱門研究主題之一。而本節將針對 LVP 與 VL 的相關研究進一步探討與整理。

#### 一、負荷—速度關係之研究

在執行阻力運動時，動作速度會因為重量負荷的不同而有所改變，並且會隨著重量負荷的增加而降低，且相對負荷 (%1RM) 與動作速度具有高度相關與高決定係數，並可以得到一線性或多項次迴歸方程式。目前研究多為研究%1RM與動作速度之關係，在動作速度上，目前研究上主要分析以下三種速度類型：1.向心階段的MV，意指在動作過程中，向心收縮階段的整體平均速度。2.平均推進速度 (mean propulsive velocity, MPV)，為在向心階段中，加速度大於零之部分的速度平均值 (Sanchez-Medina, Perez, & Gonzalez-Badillo, 2010)。3.峰值速度 (peak velocity, PV)，為向心收縮過程中的動作速度最大值。以傳統阻力運動 (例如：蹲舉、BP、硬舉.....等)，MV與MPV是最為常見於研究與應用的，故本節探討LPV的速度均以MV或MPV為主。

Conceição等 (2016) 招募15位田徑運動員分別在史密斯機器 (smith machine) 執行全蹲舉 (full squat) 與HS的漸增負荷測試，並要求受試在在向心階段以自主最快速度進行動作，以LPT獲取每個負荷下的MPV，其研究結果顯示出無論是全蹲舉 ( $MPV = -0.0132 \times \%1RM + 1.646$ ,  $R^2 = .95$ ) 或HS ( $MPV = -0.012 \times \%1RM + 1.535$ ,  $R^2 = .95$ ) 其%1RM與MPV呈現高度線性相關。

除了史密斯機器外，自由重量 (free weight) 的阻力運動也具有高LVP，Thompson等 (2021) 進行蹲舉的漸增負荷測試，同樣也獲得具有高度線性相關之LVP ( $MV = -0.0012 \times \%1RM + 1.531$ ,  $r = .96, p = .001$ )。除了蹲舉系列動作外，其他動作例如：BP (Sánchez-Medina, González-Badillo, Perez, & Pallarés, 2014)、俯臥上拉 (bench pull) (Sánchez-Medina et al., 2014)、傳統硬舉 (deadlift) (Ruf, Chéry, & Taylor, 2018)……等等，皆具有所相對應的高決定係數與相關性之LVP。

然而執行阻力運動時每%1RM所對應的速度是具高度個人化的，Thompson等 (2021) 的研究表示執行蹲舉時，雖然個人的LVP具備高相關係數 ( $r = .98- .99$ )，但MV有高 (12.5-24.2%) 受試者間變異係數 (coefficient of variation, CV)，因此作者也建議在使用LVP作為監控與測驗的一部分時，應該使用個人的LVP較為恰當。阻力運動的LVP同樣也具備高重測信度，Thompson等 (2021) 研究表示在不同測驗日進行蹲舉的漸增負荷測試，其MV在30%到90%1RM有低的受試者內CV (3-6.1%) 與高 (.75- .94) 組內相關係數 (intraclass correlation coefficient, ICC)；González-Badillo與Sánchez-Medina (2010) 的研究指出在經過6週訓練後，每人的BP與MPV之前後測具有高ICC (.81- .91) 與低CV (0.0-3.6%)。由此可知，阻力運動的%RM與速度之間具備高度相關，並且可由此得到一線性或多項次之迴歸方程式，且具有高個人化與穩定性，也因此可藉由測量速度並搭配個人之LVP，以確定訓練當下的強度 (%1RM)。

## 二、速度流失之研究

執行阻力運動時，隨著反覆次數的增加，因為疲勞的因素而使速度逐漸降低而有VL，Sanchez-Medina與González-Badillo (2011) 對蹲舉與BP探討在不同強度且不同反覆次數下執行3組後，VL與當下的疲勞代謝物 (乳酸與氨) 之濃度、神經肌肉表現 (CMJ高度、產生1m/s之負荷的速度，AV1) 下降的關係，其研究顯示，VL與乳酸 (蹲舉： $r = .97$ ，BP： $r = .95$ )、氨 (蹲舉： $R^2 = 0.85$ ，BP： $R^2 = 0.89$ )、CMJ高度下降 ( $r = .92$ )、AV1下降 (蹲舉： $r = .91$ ，BP： $r = .97$ ) 呈現高度正相關，因此VL可以有效地反映出代謝與神經肌肉的疲勞狀態，在相同的VL下每個人可能有相似的疲勞水準，VL增加時會伴隨著疲勞的增加與當下表現的下降 (Weakley et al., 2020)

目前有研究針對不同 VL 的阻力訓練進行探討，Pareja-Blanco 等 (2017) 進行每周兩次，為期8週蹲舉訓練，並分成兩種不同 VL (20% v.s 40%) 之訓練組別，其動作 VL 一旦超過20%或40%時立即停止反覆，研究結果顯示，兩種組別均有相似的最大肌力提升效果，但40%VL組的股四頭肌橫斷面肌的增長幅度大於20%VL，而 CMJ 只有20%VL 組有顯著進步，此研究的作者認為可能因為較大的 VL 將產生較多的代謝壓力，進而促進更好的肌肥大效果，但卻不利於爆發力表現的發展。Rodríguez-Rosell 等 (2020)也針對不同 VL 之蹲舉訓練進行比較 (10%VL 組 vs. 30%VL 組)，經過八周訓練之後，研究結果發現較少 VL 之訓練組別，其 CMJ 表現 (9.2% vs. 5.4%) 與20公尺衝刺秒數 (-1.5% vs. 0.4%) 有較佳的進步幅度。因此，在阻力訓練中，無論是低或高的 VL，均可以有效提升最大肌力，但對於爆發力表現的部分，使用較低的 VL 可能會有較佳的訓練成效。

#### 第四節 速度依循訓練應用於活化後增能作用之文獻探討

Tsoukos, Brown, Veligeas, Terzis, 與 Bogdanis (2019) 比較了40%1RM 或60%1RM 的 BP 在不同 VL 下 (10%或30%) 下對於隨後不同休息時間 (0.75、2、4、6、8、10、12分鐘) BPT 的表現影響。研究結果發現，只有60%1RM 且10%VL 的實驗處理下，才能使4到12分鐘後的 BPT 之平均推進速度與峰值速度有顯著提升；除此之外，此研究也發現在60%1RM 且10%VL 之實驗處理的 BPT 肱三頭肌活化程度顯著高於其他處理。同樣的 Krzysztofik 等 (2021) 對殘疾坐式排球運動員進行1組60%1RM 且10%VL 的 BP 能夠顯著提升5分鐘後 BPT 的峰值功率。在2021年 Tsoukos 等人嘗試用更高負荷 (80%1RM)的 BP 去誘發 PAP，並比較10%或30%的 VL 的實驗處理對隨後 BPT 的表現影響，其研究發現，不論10%或30%VL 之 BP 均能提升 BPT 之平均推進速度，但是10%VL 能夠在更短的休息時間內提升 BPT 表現 (10%VL：第4到12分鐘；30%VL：第10到12分鐘)，另外研究也發現只有10%VL 能夠顯著提升 BPT 之峰值速度與胸大肌活化。由上述研究可以大概統整出，使用較高強度 (60%或80%) 並且搭配較低 VL (10%) 能夠有較佳的 PAP 效果，其中的原因除了較高的強度可能有較佳刺激效果外，較低的 VL 可能導致了較低的疲勞，因此整體而言導致了有較好的 PAP。然而，卻有他篇研究觀察到不一

樣的結果，Krzysztofik, Kalinowski, Trybulski, Filip-Stachnik, 與 Stastny (2021) 的對女性排球運動員進行一組80%1RM 之蹲舉並控制10% VL，並沒有發現可以顯著增加隨後的 CMJ 表現，針對此研究結果，其作者表示這可能因為受到訓練量的影響，包括執行組數 (Seitz & Haff, 2016; Wilson et al., 2013) 或反覆次數，雖然使用較低 VL 可以控制較低的疲勞，但同時間可能因為進行了較少的訓練量而不足以刺激較佳的 PAP。因此在控制 VL 的方式誘發 PAP 對後續的表現上，針對不同 VL 的控制上目前仍有進一步探討的空間。

故，控制不同 VL 的方式應用於誘發的 PAP 效果仍未明確，且目前將 VBT 應用在 PAP 的相關研究仍相當有限，仍需要再進一步進行探討。





## 第參章 研究方法

### 第一節 研究對象

本研究招募12名男性受試者，並符合其下列必備條件：

#### 一、招募條件：

- (一) 具有規律從事阻力訓練之經驗 2 年以上者。
- (二) HS 的 1RM 大於 1.75 倍自身體重

#### 二、排除條件：

- (一) 心血管疾病、氣喘、糖尿病或其他重大疾病病史
- (二) 六個月內有下肢嚴重運動傷害者。
- (三) 有酗酒、吸毒習慣或有服用提升運動表現之藥物與食品者。

參與實驗前，實驗參與者必須詳閱受試者者同意書（附件一），並向受試者說明有關實驗之目的與流程以及可能產生之風險，同意簽名後再填寫健康情況與運動習慣調查表（附件二）。研究過程中參與者皆可隨時選擇退出研究。

### 第二節 實驗時間與地點

- 一、實驗時間：111 年 3 月至 111 年 8 月。
- 二、實驗地點：國立臺灣師範大學公館校區室內操場。

### 第三節 實驗儀器與設備

#### 一、線性位移感測器

本實驗將使用線性位移感測器（GymAware, Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia）（圖3-1.）收取在執行 HS 時當下的向心階段槓鈴 MV，擷取頻率

為50Hz。



圖3-1. Gymaware 線性位移感測器

## 二、測力板

本實驗將使用 Kistler 攜帶式測力板 (Kistler Inc.) (圖3-2.) 以測量 CMJ 之過程中的地面反作用力變化，擷取頻率設定為1000 Hz。



圖3-2. Kistler 攜帶式測力板

## 第四節 實驗設計與流程

### 一、實驗設計

本實驗將探討使用 VBT 的方式進行高強度的 HS 以誘發 PAP，對下蹲跳的立即性影

響。將採用重複量數與平衡次序的實驗設計進行此實驗。

實驗首先進行受試者的1RM 測驗，並從中取得個人 HS 的 LVP，測驗結束後間隔至少48小時後，以平衡次序之方式進行接下來的2種實驗處理，為90%1RM 之 HS 但控制不同 VL：10%VL 或20%VL。此2種實驗之處理前、處理後的第7分鐘個別進行3次 CMJ 檢測，每次檢測至少間隔15秒。本研究之實驗設計如圖3-3.所示。

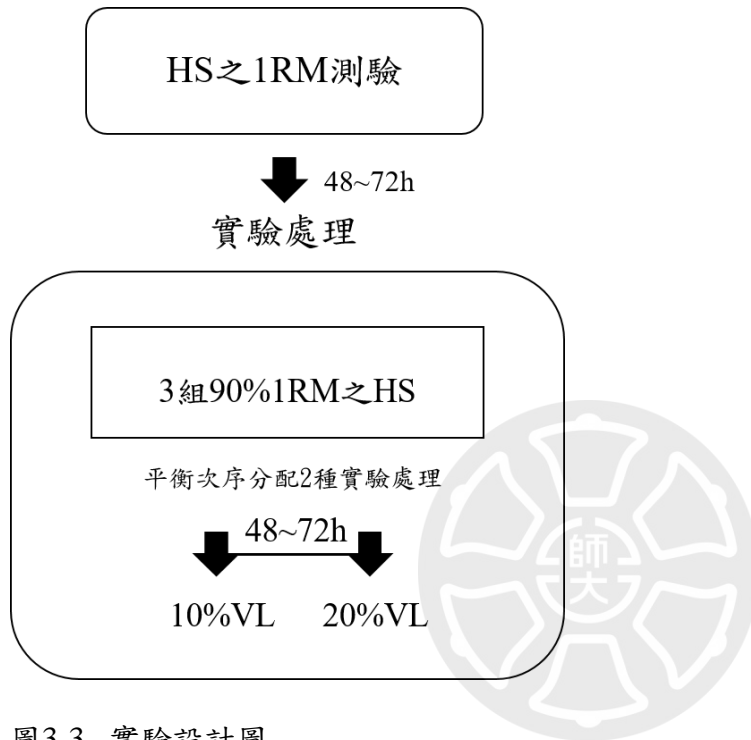


圖3-3. 實驗設計圖

## 二、實驗流程

本實驗包括進行1RM 測驗並獲得個人 HS 之 LVP、以平衡次序進行2種實驗處理，其詳細實驗流程將在下面一一說明。

### (一) 1RM 測驗並獲得個人 HS 之 LVP

本實驗將先進行 HS 之1RM 測試，以確定個人的最大肌力並獲得 LVP。本測試流程包括：測驗前準備作業、正式測驗。

#### 1 測驗前準備作業

進行測試前將告知實驗受試者有關於實驗內容與流程，使受試者充分了解其實驗目的與流程以方便後續之測試進行，待受試者充分了解後便簽屬實驗同意書，且

告知實驗過程中如有任何不適方可隨時終止。

隨後將進行器材之架設。由於先前研究指出，蹲舉之動作幅度於大腿最低點高於平行地面有較佳 PAP 效果 (Seitz & Haff, 2016)，因此本實驗將採取屈膝90度 (蹲舉最低點之膝關節相對角度為90度) 之 HS。為確保執行 HS 之動作幅度有達到所設定之標準，因此將使用彈力繩來確保其動作幅度。首先，請受試者自然下蹲至屈膝約略90度之位置，並使用關節量角器確認其角度並作調整至正確之屈膝角度後，會在此位置上設置彈力繩，使之輕觸受試者之臀部中段位置，以確保接下的測試可使受試者達到所設定之動作幅度，其彈力繩之設置如圖3-4.所示。



圖3-4. 實驗之彈力繩設置

## 2 正式測驗

### (1) 暖身：

首先進行輕強度之腳踏車暖身 5 分鐘，休息 2~3 分鐘之後進行 5 分鐘動態伸展，伸展肌群涵蓋執行 HS 所動用之肌群，包括：臀大肌、股四頭肌、腿後側鏈肌群。

### (2) 1RM 正式測驗：

測驗流程參考自 Weakley 等 (2021)，測驗的重量負荷會先從 20 kg 開始，接下來執行受試者預估的 20、40、60% 1RM 各 3 下反覆，組間休息為 3 分鐘；再來是預估的 80% 與 90% 1RM，皆執行 1 下，組間休息設定 4 分鐘；最後是 1RM 試

舉，需在5組內試舉完畢，每次試舉的重量調整幅度為0.5-2.5公斤，試舉間休息為5分鐘。每個%1RM 所對應之 MV 會取最快之數據，與所對應之最快 MV 形成 LVP，並得到一線性迴歸方程式 (如圖1-2.)。

進行測試時，全程將使用線性位移感測器綁附在槓鈴之一側外緣，以獲取 HS 之向心動作過程之 MV，如圖3-5.所示。在執行 HS 時，要求受試者以控制穩定的方式進行下蹲至臀部碰觸到彈力繩，並且由旁邊的實驗人員以肉眼判定是否碰觸到彈力繩，一旦碰觸到，實驗人員便立即喊出口令：UP！，受試者一聽到指令便以最快速度執行向心動作直至站直，而此過程以腳跟不離地 (除了輕重量負荷除外，但要避免跳起離地)、槓不離肩膀為原則，否則此重量之測驗不為計算，需休息1分鐘後再重新進行，如果下蹲過程中未碰到彈力繩便執行向心動作也是如此，需休息後再重新測驗。



圖3-5. 實驗之線性位移感測器之設置

## (二) PAP 實驗處理

1RM 測驗結束後，於48小時後進行實驗處理，處理流程圖如圖3-6.所示，並以下詳細說明：

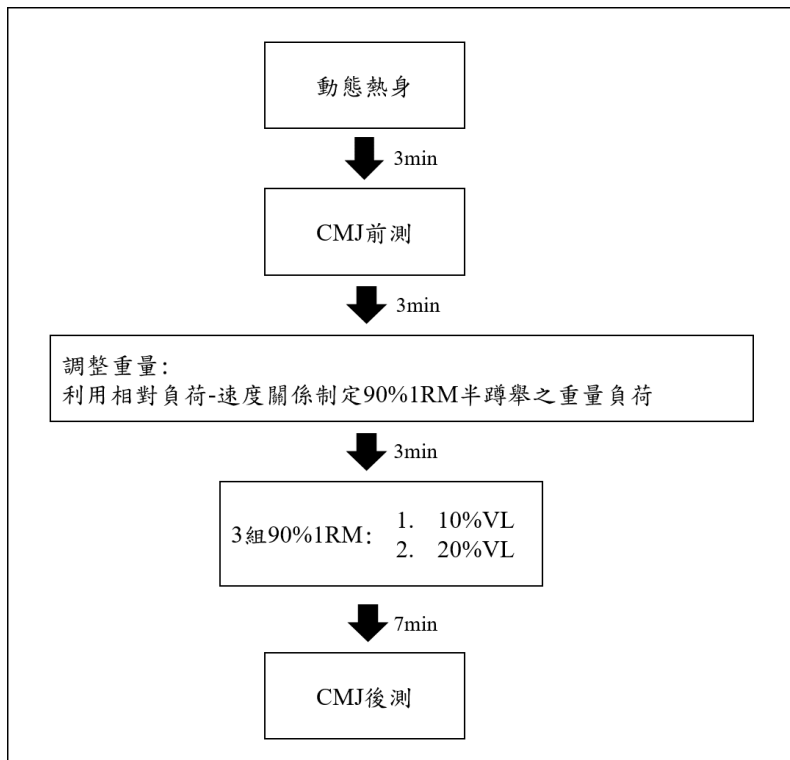


圖3-6. 實驗處理流程圖

實驗首先進行器材架設與動態暖身。動態暖身後休息5分鐘後將進行 CMJ 前測，進行 CMJ 時全程手插腰不離身，並在測力版上執行以收取對地面反作用力資料。首先會讓受試者於測力板靜止站立約1~2秒鐘，使身體穩定不晃動，而後喊出口令:跳!，受試者隨即以最快速度下蹲至合適深度（以自主可跳最高之深度為原則）後立即向上跳躍至空中，然後再落地緩衝並回到原先站立姿勢，此過程設定5秒鐘，測完後便走離測力板。CMJ 前測共測驗3次，每次間格至少15秒，並取跳躍高度最佳之數據為所要分析之資料。如果跳躍過程中手離開身體、中間有停頓、跳離測力板等此測驗便不列為計算，需重新測驗。

CMJ 前測後休息3分鐘，進行重量調整，根據個人 LVP 調整至90%1RM 所需之重量，首先透過 LVP 之線性迴歸方程式計算出個人90%1RM 的目標 MV，並設定此 MV 的 $\pm 0.03\text{m/s}$  為個人90%1RM 可接受之速度區間，接下來每人再調整重量使得第一下反覆的槓鈴 MV 可以符合在此速度區間內，而每次調整需要間隔1分鐘，且要3組內調整完畢。

調整至90%1RM 所需之重量後，休息3分鐘後，再進行3組 HS，並分為2種不同實驗處理：10%VL 與20%VL。在10%VL 與20%VL 之實驗處理中將設定一個動作停止速度 (cut-off velocity, COV)，其設定方式為  $\text{COV} = (90\%1\text{RM 之 MV}) \times (1 - \text{VL})$ ，一旦 HS 的 MV

低於 COV，即停止該組動作，休息3分鐘後再執行下一組 HS，並總共執行3組。舉例一位受試者90%1RM 之目標 MV 經由 LVP 計算得出為0.5m/s，在10% VL 之實驗處理的 COV 為：0.45m/s，MV 一旦低於0.45m/s 便停止動作。在第2與3組的第一下 MV 如果不在所設定之範圍內，則參考 Weakley 等 (2020) 之做法，會給受試者提供額外60秒的休息之後再重新進行一次反覆，但是如果仍無法達到所要求之速度，則重新調整±5%1RM 之重量，休息60秒後再重新進行動作。執行 HS 過程中將與1RM 正式測驗相同，以穩定的方式下蹲，蹲至臀部中間位置碰觸到彈力繩，並且由旁邊的實驗人員以肉眼判定是否碰觸到彈力繩，一旦碰觸到，實驗人員便立即喊出口令：UP!，受試者一聽到指令便以最快速度執行向心動作直至站直，而此過程以腳跟不離地、槓不離肩膀為原則。

執行完3組90%1RM 之 HS，隨後將進行 CMJ 後測，參考 Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析指出，阻力運動後的第5-7分鐘有較佳 PAP 效果，以及因此本實驗在執行完3組 HS 休息7分鐘之後執行 CMJ 後測，以確保有最佳的 PAP 增益效果。CMJ 後測流程與前測一致，共進行3次，每次休息至少15秒，取跳躍高度最佳值之資料進行後續分析處理，並且計算測驗時的3次跳躍高度之組內相關係數 (intraclass correlation coefficient, ICC) 與變異係數 (coefficient of variation, CV)，以確保在每次測驗中的3次跳躍具有好的受試者內一致性。

## 第五節 資料處理

### 一、線性位移感測器之資料

將所收集之 MV 匯入 Office Excel 軟體，並與所對應之%1RM 形成 LVP，得到一線性迴歸方程式： $MV=a \times (\%1RM)+b$ ；實驗處理過程中 HS 之 MV 將記錄至 Office Excel 軟體，整理出每下反覆所對應之速度。

### 二、測力板資料處理

以 Kistler 可攜式收取 CMJ 動作過程中的垂直對地反作用力，採樣頻率設定為1000Hz，並以測力板之套裝軟體 BioWave 輸出垂直對地反作用力之數據，再進行以下各項表現參

數的分析。

### (一) 跳躍高度 (jump height, JH)

將數據匯入 Office Excel 軟體，跳躍高度計算的方式是使用衝量-動量定理，先計算跳躍動作期間（開始動作至雙腳離地瞬間）對地反作用力與時間之積分以取得衝量，再將衝量除以受試者所對應質量以求得起跳瞬間之速度，再利用自由落體公式求得跳躍高度。

跳躍動作判定之標準為垂直對地作用力小於體重10牛頓視為開始動作，而垂直對地作用力小於10牛頓，便視為起跳離地（圖3-7.）。

### (二) 速度與加速度

將數據匯入 Office Excel 軟體，將垂直對地作用力除以質量獲得加速度值，再將加速度對時間進行積分以獲得速度值，所分析之速度與加速度參數如下：

1. 峰值速度 (peak velocity, PV)：跳躍過程中速度的最大值。
2. 向心平均速度 (concentric mean velocity, ConMV)：跳躍過程中向心階段速度的平均值；向心階段之判定為離心階段的負值（向下）速度恢復至 0 時視為向心階段的開始，而起跳離地之瞬間為向心階段之結束（圖 3-7.）。
3. 離心平均加速度 (eccentric mean acceleration, EccMA)：跳躍過程中離心階段加速度的平均值；離心階段之判定為垂直對地作用力從失重狀態恢復至體重量視為離心階段的開始，而離心階段的負值（向下）速度恢復至 0 時則為離心之結束（圖 3-7.）。
4. 離心峰值加速度 (eccentric peak acceleration, EccPA)：跳躍過程中離心階段加速度的最大值。
5. 向心平均加速度 (concentric mean acceleration, ConMA)：跳躍過程中向心階段加速度的平均值。
6. 向心峰值加速度 (concentric peak acceleration, ConPA)：跳躍過程中向心階段加速度的最大值。



### (三) 力量

將數據匯入 Office Excel 軟體找出下列跳躍過程中垂直對地作用力的各項參數，並以體重標準化方式呈現：

1. 峰值力量 (peak force, PF)：跳躍過程中垂直對地作用力的最大值。
2. 離心平均力量 (eccentric mean force, EccMF)：跳躍過程中離心階段垂直對地作用力的平均值。
3. 向心平均力量 (concentric mean force, ConMF)：跳躍過程中向心階段垂直對地作用力的平均值。

### (四) 功率

將數據匯入 Office Excel 軟體計算出速度並與垂直對地作用力相乘取得功率，以體重標準化方式呈現：

1. 峰值功率 (peak power, PP)：跳躍過程中功率輸出最大值。
2. 向心平均功率 (concentric mean power, ConMP)：跳躍過程中向心階段功率輸出的平均值。

### (五) 發力率

發力率為起跳過程中離心階段結束瞬間之力量值減去體重值再除以時間 (圖 3-7.) 所計算出來的離心平均發力率 (eccentric mean rate of force development, EccmRFD)。

### (六) 衝量

1. 離心衝量 (eccentric impulse, EccI)：離心階段衝量值。
2. 向心衝量 (concentric impulse, ConI)：離心階段衝量值。

### (七) 動作時間

1. 離心時間 (eccentric time, EccT)：離心階段的動作時間。
2. 向心時間 (concentric time, ConT)：向心階段的動作時間。
3. 起跳總時間 (total time to takeoff, TT)：跳躍過程中從動作開始到起跳離地瞬間總共所花費的時間。

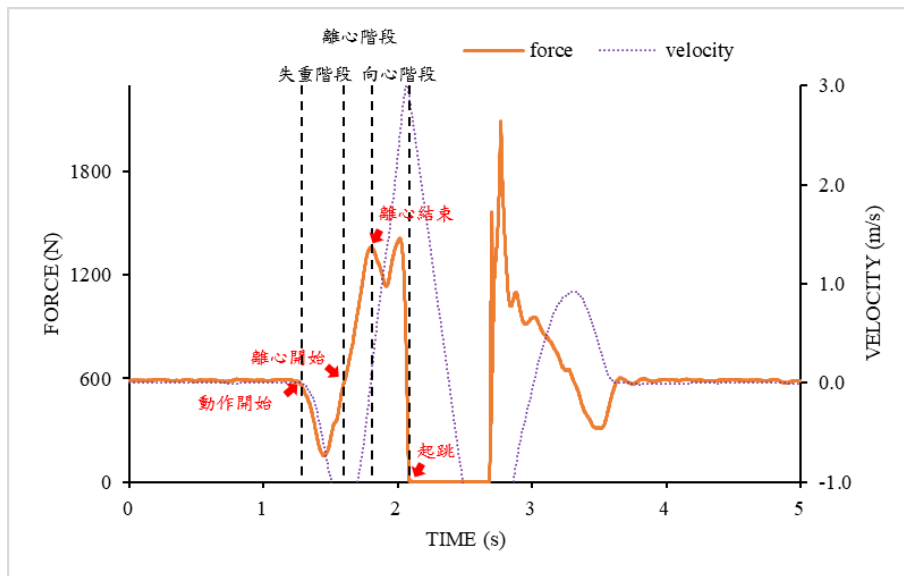


圖3-7. CMJ 動作階段分期示意圖

### 三、統計分析

- (一) 本研究將所蒐集到之參數以統計套裝軟體 SPSS 23.0 進行分析，分析後之數據將以描述性將以描述性統計 (平均數±標準差) 呈現。
- (二) 以 ICC 檢驗在受試者在進行 CMJ 測驗時 JH 的再測信度，並計算 CV。
- (三) 進行重複量數二因子變異數 (two-way repeated measured ANOVA) 考驗受試者在執行 HS 實驗處理過程中，執行重量、反覆次數、最快 MV、最慢 MV 與 VL 在 2 種不同實驗處理 (10% VL 或 20% VL) 與 3 個執行組 (第一組、第二組、第三組) 的差異。若達顯著水準，再以 Bonferroni 法做事後比較。
- (四) 進行重複量數二因子變異數 (two-way repeated measured ANOVA) 考驗受試者 CMJ 的各依變項 (JH、力量、速度、加速度、功率、發力率、衝量、動作時間) 在 2 種不同實驗處理與不同測驗時間 (前測、7 分鐘後測) 的差異。若達顯著水準，再以 Bonferroni 法做事後比較。
- (五) 重複量數 t 考驗受試者 CMJ 各依變項的前測與 7 分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理的差異。
- (六) 統計水準設定為  $\alpha = 0.5$ 。

## 第肆章 結果

### 第一節 受試者基本資料與實驗處理過程

#### 一、受試者基本資料

本研究共招募12名具有阻力訓練經驗之男性受試者，其基本資料如表4-1.所示。

表4-1.

受試者基本資料

|              |              |
|--------------|--------------|
| 年齡 (歲)       | 21.0 ± 0.8   |
| 身高 (公分)      | 175.1 ± 2.9  |
| 體重 (公斤)      | 70.9 ± 6.0   |
| HS 之1RM (公斤) | 168.8 ± 27.4 |
| HS 之相對1RM    | 2.4 ± 0.2    |

註：HS = 半蹲舉；1RM = 一次最大反覆次數

#### 二、1RM 測驗

HS 之1RM 測驗中，12人所測量之 LVP 如表4-2.所示。

表4-2.

受試者半蹲舉之負荷-速度關係

| 受試者編號 | HS 之 LVP                             | 決定係數 (R <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------------------------------|------------------------|
| 1     | $MV = -0.00762 \times \%1RM + 1.152$ | 0.99                   |
| 2     | $MV = -0.00766 \times \%1RM + 1.144$ | 0.96                   |
| 3     | $MV = -0.00679 \times \%1RM + 1.06$  | 0.98                   |
| 4     | $MV = -0.00683 \times \%1RM + 1.017$ | 0.94                   |
| 5     | $MV = -0.00962 \times \%1RM + 1.302$ | 0.99                   |
| 6     | $MV = -0.00889 \times \%1RM + 1.286$ | 0.99                   |
| 7     | $MV = -0.00639 \times \%1RM + 1.008$ | 0.95                   |
| 8     | $MV = -0.0119 \times \%1RM + 1.49$   | 0.99                   |
| 9     | $MV = -0.0091 \times \%1RM + 1.206$  | 0.98                   |
| 10    | $MV = -0.00749 \times \%1RM + 1.129$ | 0.97                   |
| 11    | $MV = -0.00778 \times \%1RM + 1.067$ | 0.99                   |
| 12    | $MV = -0.00702 \times \%1RM + 1.104$ | 0.98                   |

註：HS = 半蹲舉；LVP = 負荷-速度關係；MV = 半蹲舉在向心階段的槓鈴平均速度；%1RM = 相對強度

### 三、執行 3 組半蹲舉過程之資料

在實驗處理過程中 HS 所執行之重量與反覆次數如表4-3.所示，速度資料如表4-4.所示。以重複量數二因子變異數分析考驗 HS 之執行重量、執行反覆數、最快 MV、最慢 MV 與 VL 在2種實驗處理與3個執行組之差異。結果顯示，HS 之執行重量、反覆次數與最快 MV 在實驗處理與執行組之間無顯著差異；最慢 MV 在實驗處理之主效果達顯著差異 (10%VL vs. 20%VL,  $0.36 \pm 0.01$  vs.  $0.32 \pm 0.02$  m/s;  $F = 16.727, p < .01$ ); VL 在實驗處理之主效果達顯著差異 (10%VL vs. 20%VL,  $20.9 \pm 1.7$  vs.  $29.2 \pm 2.8$  % ;  $F = 4.784, p < .05$ )。

表4-3.

不同實驗處理在執行半蹲舉過程中之重量與反覆次數

|       | 執行重量 (公斤)        |                  | 反覆次數 (下)      |               |
|-------|------------------|------------------|---------------|---------------|
|       | 10% VL           | 20% VL           | 10% VL        | 20% VL        |
| 第 1 組 | $153.3 \pm 24.6$ | $154.4 \pm 26.0$ | $4.0 \pm 1.8$ | $4.5 \pm 1.2$ |
| 第 2 組 | $154.2 \pm 23.1$ | $153.3 \pm 23.8$ | $3.4 \pm 1.2$ | $3.4 \pm 1.5$ |
| 第 3 組 | $154.8 \pm 23.0$ | $154.0 \pm 23.5$ | $2.9 \pm 0.9$ | $4.1 \pm 1.6$ |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理

表4-4.

不同實驗處理在執行半蹲舉過程中之速度資料

|       | 最快 MV (m/s)     |                 | 最慢 MV (m/s)     |                 | VL (%)          |                         |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
|       | 10% VL          | 20% VL          | 10% VL          | 20% VL*         | 10% VL          | 20% VL <sup>&amp;</sup> |
| 第 1 組 | $0.46 \pm 0.06$ | $0.46 \pm 0.06$ | $0.37 \pm 0.05$ | $0.31 \pm 0.07$ | $19.8 \pm 9.4$  | $31.4 \pm 16.7$         |
| 第 2 組 | $0.46 \pm 0.06$ | $0.46 \pm 0.06$ | $0.35 \pm 0.05$ | $0.32 \pm 0.07$ | $23.7 \pm 7.3$  | $28.9 \pm 11.9$         |
| 第 3 組 | $0.45 \pm 0.06$ | $0.46 \pm 0.05$ | $0.37 \pm 0.06$ | $0.33 \pm 0.07$ | $19.0 \pm 10.1$ | $27.3 \pm 11.6$         |

註：MV = 半蹲舉在向心階段的槓鈴平均速度；VL = 速度流失；10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理；<sup>&</sup> $p < .05$ ，與 10% VL 相比；\* $p < .01$ ，與 10% VL 相比

## 第二節 不同實驗處理對下蹲跳表現之結果

### 一、跳躍高度

CMJ 的 JH 結果如圖4-1.所示，10%VL 實驗處理前測為 $42.7 \pm 6$ 公分，七分鐘後測為 $42 \pm 5.7$ 公分；20%VL 實驗處理前測為 $41.7 \pm 4.4$ 公分，七分鐘後測為 $41.1 \pm 5.4$ 公分。統計結果顯示實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異 (10%VL vs. 20%VL,  $-0.19 \pm 5.35$  vs.  $-1.91 \pm 7.22$  % ;  $t_{(11)} = 0.801, p > .05$ ) ; 以 ICC 分別檢驗實驗處理時，在前測中所執行的3次 CMJ 的 JH 的再測信度 (表4-5.)，結果呈現良好再測信度 (ICC 介於.946— .95,  $p < .01$ )，CV 值介於2.2%—2.6%。

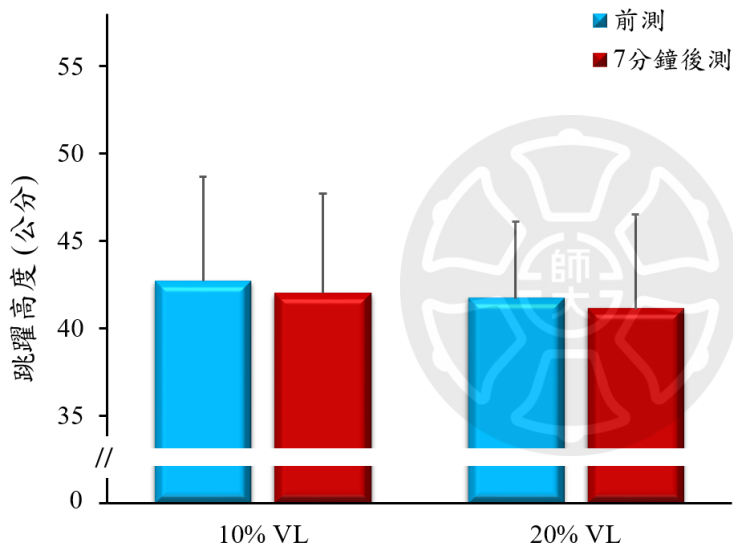


圖4-1. 不同實驗處理之前後測跳躍高度

表4-5.

測驗中跳躍高度之再測信度

|        | 10% VL | 20% VL |
|--------|--------|--------|
| ICC    | .95*   | .946*  |
| CV (%) | 2.6    | 2.2    |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理；ICC = 組內相關係數；CV = 變異係數；\* $p < .01$

## 二、速度與加速度表現

CMJ 的速度與加速度結果如表4-6.所示。各項速度與加速度表現之統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；ConMV (10% VL vs. 20% VL,  $0.26 \pm 2.84$  vs.  $-1.78 \pm 2.94$  % ;  $t_{(11)} = 2.771, p < .05$ )與 EccPA (10% VL vs. 20% VL,  $2.54 \pm 11.8$  vs.  $-4.62 \pm 7.16$  % ;  $t_{(11)} = 2.38, p < .05$ ) 的前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間達顯著差異。

表4-6.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的速度與加速度表現

|                           | 10% VL          |                 |                  | 20% VL          |                 |                       |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
|                           | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)     | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)          |
| PV (m/s)                  | $2.97 \pm 0.18$ | $2.97 \pm 0.19$ | $-0.30 \pm 2.09$ | $2.94 \pm 0.15$ | $2.91 \pm 0.17$ | $-0.97 \pm 2.67$      |
| ConMV (m/s)               | $1.69 \pm 0.11$ | $1.69 \pm 0.12$ | $0.26 \pm 2.84$  | $1.68 \pm 0.08$ | $1.65 \pm 0.10$ | $-1.78 \pm 2.94^{\&}$ |
| EccMA (m/s <sup>2</sup> ) | $8.36 \pm 1.65$ | $8.58 \pm 1.57$ | $3.98 \pm 14.2$  | $8.69 \pm 1.68$ | $8.31 \pm 1.29$ | $-3.53 \pm 6.98$      |
| EccPA (m/s <sup>2</sup> ) | $14.4 \pm 2.3$  | $14.7 \pm 2.2$  | $2.54 \pm 11.8$  | $14.8 \pm 2.0$  | $14.1 \pm 2.0$  | $-4.62 \pm 7.16^{\&}$ |
| ConMA (m/s <sup>2</sup> ) | $11.3 \pm 2.1$  | $11.5 \pm 2.1$  | $1.71 \pm 5.56$  | $11.5 \pm 1.8$  | $11.5 \pm 2.1$  | $-0.34 \pm 8.24$      |
| ConPA (m/s <sup>2</sup> ) | $15.8 \pm 1.8$  | $16.1 \pm 2.5$  | $1.63 \pm 6.60$  | $16.5 \pm 1.6$  | $16.2 \pm 2.0$  | $-1.49 \pm 8.83$      |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之百分比變化量；PV = 峰值速度；ConMV = 向心平均速度；EccMA = 離心平均加速度；EccPA = 離心峰值加速度；ConMA = 向心平均加速度；ConPA = 向心峰值加速度； $^{\&}p < .05$ ，與10% VL相比

## 三、力量表現

CMJ 的力量表現結果如表4-7.所示，各項力量表現之統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；各項表現的前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異。

表4-7.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的力量表現

|            | 10% VL          |                 |                 | 20% VL          |                 |                  |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|            | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)    | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)     |
| PF (BW)    | 2.61 $\pm$ 0.19 | 2.64 $\pm$ 0.25 | 1.09 $\pm$ 4.13 | 2.67 $\pm$ 0.17 | 2.65 $\pm$ 0.19 | -0.86 $\pm$ 5.30 |
| EccMF (BW) | 1.85 $\pm$ 0.17 | 1.87 $\pm$ 0.16 | 1.49 $\pm$ 6.50 | 1.89 $\pm$ 0.17 | 1.85 $\pm$ 0.13 | -1.86 $\pm$ 3.40 |
| ConMF (BW) | 2.15 $\pm$ 0.21 | 2.17 $\pm$ 0.18 | 0.89 $\pm$ 2.88 | 2.17 $\pm$ 0.18 | 2.17 $\pm$ 0.21 | -0.16 $\pm$ 4.47 |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之百分比變化量；PF = 峰值力量；EccMF = 離心平均力量；ConMF = 向心平均力量；BW = 體重

#### 四、功率表現

CMJ 的功率表現結果如表4-8.所示，各項功率表現之統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；各項表現的前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異。

表4-8.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的功率表現

|              | 10% VL          |                 |                 | 20% VL         |                |                  |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
|              | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)    | 前測             | 7分鐘後測          | $\Delta$ (%)     |
| PP (W/kg)    | 61.8 $\pm$ 6.96 | 62.2 $\pm$ 6.40 | 0.71 $\pm$ 2.66 | 61.5 $\pm$ 5.1 | 61.3 $\pm$ 6.3 | -0.47 $\pm$ 4.75 |
| ConMP (W/kg) | 32.9 $\pm$ 4.4  | 33.1 $\pm$ 4.4  | 0.94 $\pm$ 4.37 | 32.8 $\pm$ 2.9 | 32.4 $\pm$ 4.0 | -1.41 $\pm$ 6.02 |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之百分比變化量；PP = 峰值功率；ConMP = 向心平均功率

## 五、發力率表現

CMJ 發力率之結果如所示，統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；各項表現的前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異。

表4-9.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的發力率表現

|                | 10% VL      |            |              | 20% VL      |             |              |
|----------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                | 前測          | 7分鐘後測      | $\Delta$ (%) | 前測          | 7分鐘後測       | $\Delta$ (%) |
| EccmRFD (BW/s) | 9.12 ± 2.88 | 9.56 ± 2.8 | 8.61 ± 24.0  | 9.69 ± 2.27 | 9.12 ± 2.02 | -4.9 ± 12.0  |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之百分比變化量；EccmRFD = 離心平均發力率

## 六、衝量表現

CMJ 的衝量表現結果如表 4-10.所示，各項衝量表現之統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；各項表現的前測與7分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異。

表4-10.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的衝量表現

|            | 10% VL       |              |              | 20% VL       |              |              |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|            | 前測           | 7分鐘後測        | $\Delta$ (%) | 前測           | 7分鐘後測        | $\Delta$ (%) |
| EccI (N·s) | 97.9 ± 13.9  | 97.4 ± 15.5  | -0.65 ± 6.95 | 97.7 ± 17.1  | 94.3 ± 16.4  | -3.29 ± 5.35 |
| ConI (N·s) | 202.9 ± 20.8 | 202.4 ± 19.9 | -0.19 ± 2.62 | 200.9 ± 22.3 | 199.8 ± 21.1 | -1.46 ± 3.64 |

註：10% VL = 10%速度流失之實驗處理；20% VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之變化量；EccI = 離心衝量；ConI = 向心衝量



## 七、動作時間表現

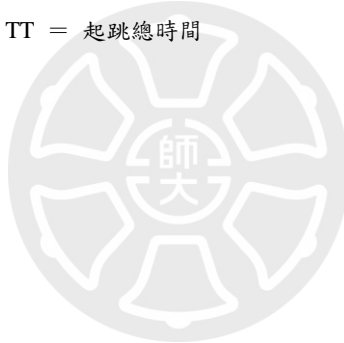
CMJ 的動作時間表現結果如表 4-10.所示，各項衡量表現之統計結果顯示，實驗處理與測驗時間之間無交互作用，在實驗處理與測驗時間之主效果亦無顯著差異；各項表現的前測與 7 分鐘後測之百分比變化量在不同實驗處理間亦無顯著差異。

表4-11.

不同實驗處理之 CMJ 前後測的動作時間表現

|          | 10%VL           |                 |                  | 20%VL           |                 |                  |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|          | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)     | 前測              | 7分鐘後測           | $\Delta$ (%)     |
| EccT (s) | $0.17 \pm 0.03$ | $0.16 \pm 0.02$ | $-3.21 \pm 10.7$ | $0.16 \pm 0.03$ | $0.16 \pm 0.2$  | $0.85 \pm 7.76$  |
| ConT (s) | $0.26 \pm 0.05$ | $0.26 \pm 0.05$ | $-1.61 \pm 4.55$ | $0.25 \pm 0.05$ | $0.25 \pm 0.05$ | $-0.36 \pm 7.40$ |
| TT (s)   | $0.76 \pm 0.10$ | $0.75 \pm 0.13$ | $-0.95 \pm 4.65$ | $0.74 \pm 0.10$ | $0.74 \pm 0.09$ | $0.45 \pm 1.1$   |

註：10%VL = 10%速度流失之實驗處理；20%VL = 20%速度流失之實驗處理； $\Delta$  = 前測與7分鐘後測之變化量；EccT = 離心時間；ConT = 向心時間；TT = 起跳總時間



## 第五章 討論

### 第一節 不同速度流失對執行半蹲舉之影響

#### 一、半蹲舉之速度－負荷關係

本研究使用 VBT 方式進行高強度的 HS 並控制 VL 以誘發 PAP，透過 HS 的速度去確認實驗處理過程中的強度負荷，因此在實驗處理前進行 1RM 測驗以獲取受試者個人的 LVP，再透過 LVP 所得出的一元線性迴歸方程式計算出個人的 90%1RM 之目標 MV，以作為執行 HS 重量之依據，確保可以達到實驗所需之強度負荷。本研究所測得的個人之 LVP 如表 4-2.所示，個人的 HS 之 LVP 呈現高度負相關，具有高決定係數( $R^2 = .94-.99$ )，與過去使用自由重量的蹲舉研究相符，LVP 呈現高度線性關係 ( $r$  與  $R^2 = .93-.99$ ) (Banyard, Nosaka, Vernon, & Haff, 2018; Spitz, Gonzalez, Ghigiarelli, Sell, & Mangine, 2019; Thompson et al., 2021)。

#### 二、半蹲舉之速度流失與反覆次數

本研究在誘發 PAP 的實驗處理中，藉由不同的 VL 去決定受試者 HS 的反覆次數，受試者 MV 降低至超過所設定之 VL，便停止該組的動作，接著休息 3 分鐘後再執行下一組，共執行 3 組。而實驗處理的結果發現，受試者實際的 VL 在不同實驗處理間達顯著差異，事後比較在 20%VL 處理顯著高於 10%VL 處理，但 10%VL 處理的實際 VL 在第一與第二組平均高於 20%，遠高於所設定之 10% (表 4-4.)；除此之外，也發現所執行的反覆次數在兩種實驗處理之間並未達顯著差異 (表 4-3.)，因此使用 10%VL 與 20%VL 並不能夠有效地執行出不同的訓練量。造成此結果推測是由於本實驗採用之強度為 90%1RM，是很具高度的負荷，在越接近 1RM 的負荷時會對神經肌肉系統產生高度負擔，動作過程可能會快速產生周邊神經與中樞的疲勞 (Babault, Desbrosses, Fabre, Michaut, & Pousson, 2006; Zajac, Chalimoniuk, Gołaś, Lngfort, & Maszczyk, 2015)，使身體產生力量與速度的能力快速下降，因此可能造成了每下反覆間的 VL 過大，因此當動作 MV 降低至

超過實驗所設定的 VL 時候，實際 VL 會超出許多，同時也造成了 10% 與 20% VL 處理的反覆次數之間並無顯著差別。因此在使用 90% 1RM 之 HS 時，似乎較難有效地區分 10% VL 與 20% VL 的反覆次數與訓練量，以及使實際的 VL 符合目標 VL。建議未來可以嘗試使用較低強度（例如 80% 或 85% 1RM），可能可避免快速產生疲勞使動作速度快速下降而產生過大的反覆間 VL，使之能更好地控制 VL 以符合所設定之目標值，然後再搭配將所設定的 VL 間隔加大（例如 10% VL 與 30% VL），使執行反覆數可以有效地產生區隔。

## 第二節 不同速度流失之高強度半蹲舉對下蹲跳表現之影響

本研究欲探討 VBT 之高強度阻力運動在不同 VL 的處理下，是否能有效誘發 PAP 以增進爆發力表現。本研究執行了 3 組 90% 1RM 之 HS，並分成 10% VL 與 20% VL 之處理，比較此兩種處理在休息 7 分鐘後的 CMJ 表現。CMJ 是評估下肢爆發力表現常見的測驗動作，其測驗過程時間短，動作單純且疲勞度較低，是一個簡單、可靠且有效的下肢爆發力測量方法，因此 CMJ 過程中的各項表現參數可以有效反應出 PAP。而本研究結果發現，無論 10% VL 或 20% VL 處理均無法有效提升 7 分鐘後的 CMJ 各項表現，包括：JH、速度（PV 與 ConMV）、加速度（EccMA、EccPA、ConMA、ConPV）、力量（PF、EccMF、ConMF）、功率（PP、ConMP）、發力率（EccmRFD）、衝量（EccI 與 ConI）、動作時間（EccT、ConT、TT），顯示此兩種實驗處理均無法有效促進隨後的爆發力表現。過去許多文獻提及有許多因素會影響 PAP 現象的誘發，包括：強度、訓練量、恢復時間與個體差異等等，都會影響誘發後的運動表現成效，以下對可能影響本實驗結果之因素進行探討。

### 一、執行訓練量

本研究結果與 Krzysztofik 等 (2021) 的研究結果相似，其研究對 16 名女性排球運動員，進行 1 組 80% 1RM 之蹲舉並控制 10% VL 以誘發 PAP，並檢測隨後 2 到 10 分鐘的 CMJ 表現，發現相對於控制處理並不能顯著提升 JH 和功率輸出。Krzysztofik 在文章指出只有執行 1 組 80% 1RM，10% VL（平均反覆  $4.1 \pm 1.3$  下）的訓練量可能無法誘發足夠 PAP 以提升後續表現。

然而本實驗採用更多執行組數 (3組) 且更高的強度刺激 (90%1RM) 並分成10%VL 或 20%VL 處理，仍未觀察到7分鐘後的 CMJ 表現有所提升。Kilduff 等 (2008) 招募20名職業橄欖球運動員進行3組3下，87%1RM 的蹲舉，能夠提升在恢復後第8分鐘 CMJ 的 JH、RFD 與 PP；West 等 (2013) 同樣對36名橄欖球選手進行3組3下，87%1RM 的蹲舉，能夠提升隨後第8分鐘 CMJ 的功率表現。相比之下，本研究10%VL 實驗處理的3組平均反覆數為 $3.4 \pm 0.2$  下，20%VL 處理為 $4 \pm 0.3$ 下，本研究所執行之強度與訓練量均較 Kilduff 等 (2008) 與 West 等 (2013) 還要高，因此相對的可能累積了比較高的疲勞程度，進而無法有效誘發 PAP 以影響隨後的 CMJ 表現。雖然本研究欲控制阻力運動過程中每組的 VL 去控制疲勞，但本實驗發現，雖然10%VL 與20%VL 處理的3組平均 VL 達顯著差異，但在執行反覆數與訓練量上並無顯著差別，這意味著兩種處理因訓練量而累積的疲勞程度可能相似，而且對於受試者可能過高，導致無法有效提升後續運動表現；除此之外，本研究也發現20%VL 處理的 ConMV (10%VL vs. 20%VL,  $0.26 \pm 2.84$  vs.  $-1.78 \pm 2.94$  %) 與 EccPA (10%VL vs. 20%VL,  $2.54 \pm 11.8$  vs.  $-4.62 \pm 7.16$  %) 的前後測變化量顯著小於10%VL 處理，可能也是受到疲勞因素所影響，雖然在整體訓練量上兩種處理之間並無統計差異，但在20%VL 有顯著較低的最慢 MV (10%VL vs. 20%VL,  $0.36 \pm 0.01$  vs.  $0.32 \pm 0.02$  m/s) 與較高的實際 VL (10%VL vs. 20%VL,  $20.9 \pm 1.7$  vs.  $29.2 \pm 2.8$  %)，因此相對來說可能有較久的高負荷下動作時間，因而累積額外的疲勞，對 CMJ 的離心減速能力與向心動作速度表現較為不利。

因此若要誘發 PAP，可能是需要降低訓練量的，Evetovich 等 (2015) 的研究發現進行1組3下的90%1RM 蹲舉可以提升8分鐘恢復後的 CMJ 高度，Seitz 等 (2015) 的研究則發現1組3下的90%1RM 蹲舉可以提升7分鐘恢復後的20公尺衝刺成績。所以使用90%1RM 的強度進行 PAP 的誘發時，建議可以降低執行組數，以避免疲勞的過度累積才比較有可能提升後續的表現。

## 二、恢復時間

阻力運動後的恢復時間也是影響隨後表現的一項因素。阻力運動後，氫離子濃度的上升、代謝產物的累積、肌纖維結構的破壞與能源物質的消耗等等導致肌肉收縮能力的下降而造成疲勞，因此需要一定的恢復時間去補充能源物質與清除代謝產物使疲勞消散，才有辦法有效

誘發 PAP 現象使表現有所增加。Wilson 等 (2013) 的統合分析研究指出，恢復時間在7到10分鐘有最好的效果量，而 Seitz 與 Haff (2016) 的統合分析研究則是表示是5到7分鐘的時間。本研究根據此兩篇統合分析做為參考依據，將恢復時間選定為7分鐘以期待有最佳的 PAP 誘發，而 Kilduff 等 (2008) 與 West 等 (2013) 則發現8分鐘的恢復時間可以有最好的 PAP 現象，但本實驗的3組90%1RM 之 HS 進行10%VL 與20%VL 處理對受試者所造成的疲勞可能是需要更多的恢復時間，在於本實驗所執行之強度與訓練量均為較高。Tsoukos 等 (2021) 對11位男性受試者進行1組80%1RM 之 BP 並且控制不同 VL(10%與30%) 以進行 PAP 的誘發，檢測隨後不同恢復時間的 BPT 表現。10%VL 之 BP 在恢復後的第4分鐘能顯著提升 BPT 的平均推進速度且顯著優於控制處理，然而30%VL 之仰臥推舉則需要恢復至10分鐘才能提升 BPT 的平均推進速度，作者表示這可能是由於30%VL 之 BP 所執行之訓練量顯著高於10%VL，所累積的疲勞相對較高，因此需要更多的恢復時間使疲勞消退才可讓 BPT 表現有所提升。因此可以知道 PAP 現象的產生所需要的恢復時間可能會因為執行阻力運動的訓練量的不同而有所改變，尤其是具有較高訓練量時，需要的時間要更長。然而本實驗相對於 Kilduff 等 (2008) 與 West 等 (2013) 誘發 PAP 執行的強度與訓練量均為較高，因此可能就需要更長的恢復時間使疲勞消散才能使 PAP 現象最有效地出現，然而本實驗只有針對恢復後的第7分鐘進行 CMJ 的檢測，並沒有檢驗其他恢復時間的表現，未來進行相關實驗時建議可以多檢驗不同的時間點以獲取可誘發最佳 PAP 表現的恢復時間。

### 三、個體與族群特徵

先前有研究指出 PAP 與個體或運動族群之間可能有所關聯，個體之肌肉纖維的組成可能是一項要素。Hamada, Sale, MacDougall 與 Tarnopolsky (2000) 曾對20名男性受試者用1組10秒的膝伸肌最大自主等長收縮的方式進行 PAP 的誘發，並分別檢驗具有最高 PAP 組與最低 PAP 組的4名男性進行股外側肌的穿刺檢驗，研究發現最高 PAP 組的受試者具有較高的 typeII 肌纖維與較短達到峰值扭矩的時間，這是因為 typeII 肌纖維的 RLC 有更大的磷酸化、ATP/PCr 儲存較多、神經傳導速度較快等等優勢的特點，因此有較高比例 typeII 肌纖維者較易誘發更高 PAP。除此之外，運動員也比較可能誘發出比較高的 PAP，Chiu 等 (2003) 招募7名爆發性

項目之運動員與17名休閒訓練者進行5組1下，90%1RM之蹲舉，研究結果發現負重 SJ 與負重 CMJ 的 PP 增益程度，爆發性項目的運動員顯著高過於休閒訓練者。而本研究所招募之受試者為具有規律阻力訓練者，並無特別限定是爆發性運動員，但有6位受試者是大專田徑運動員，其餘6位為休閒組力訓練者，然而 Kilduff 等 (2008) 與 West 等 (2013) 所招募之受試者皆為橄欖球運動員，因此在受試者整體平均的 PAP 增益反應可能比本實驗來要高，因此可能也造成研究結果的差異；除此之外本研究並無法得知受試者之肌纖維組成，肌纖維組成比例的差異可能也會影響 PAP 的誘發效果，造成隨後 CMJ 表現無顯著進步。

#### 四、阻力運動的動作型態

除此之外，阻力運動的動作型態也有可能是影響 PAP 誘發程度的因素之一。Esformes 與 Bampouras (2013) 比較了不同下蹲深度的蹲舉對 PAP 表現的影響，其實驗招募27位半職業賽的男子橄欖球運動員，進行1組3下，強度為3RM的蹲舉或四分之一蹲舉 (quarter squat)，檢測在恢復5分鐘後的 CMJ 之 JH、PP、衝量與飛行時間。研究結果發現無論蹲舉或四分之一蹲舉皆可以顯著提升隨後的 CMJ 各項表現，但是在各項表現的進步幅度，蹲舉顯著高過四分之一蹲舉，意味著蹲舉可能可以誘發更大程度的 PAP，更大助益於 CMJ 的表現。作者表示，這可能是因為下蹲深度較深的蹲舉更能夠有效地徵招與活化臀大肌 (Caterisano et al., 2002)，增加肌肉的興奮性並增強 CMJ 的表現。跳躍為下肢的爆發三關節伸展動作，髖伸肌群的參與對此動作扮演重要的角色 (Fukashiro & Komi, 1987)，而本研究之阻力運動採用動作幅度較短的 HS，因此推測對於髖伸肌群的徵招與活化較為有限，對於 CMJ 的 PAP 的誘發相對不足，因此未來進行相關研究則建議可以嘗試使用下蹲深度較深的蹲舉進行 PAP 的誘發，可能可以有較好的效果。

### 第三節 結論

本研究之目的在於探討使用 VBT 方式的高強度阻力運動在不同 VL 的控制之下去進行 PAP 的誘發，對隨後 CMJ 表現的影響。本研究發現，執行3組90%1RM 的 HS，並控制10%VL 或20%VL 之實驗處理，未發現能有效增進休息7分鐘後的 CMJ 表現，其中原因可能與10%VL 或20%VL 處理無法有效控制90%1RM 之 HS 的訓練量與疲勞，並且所執行的訓練量對於受試者過高因此累積較高疲勞，因此無法獲得誘發 PAP 所帶來之益處，而使 CMJ 的運動表現無法提升。

### 第四節 建議

使用阻力運動進行 PAP 誘發會受多因素的影響，包括強度、訓練量、恢復時間、個體差異與動作型態等，因此建議未來的研究可以嘗試不同阻力強度下，搭配不同 VL 的控制與執行組數，以及檢驗不同恢復時間的表現，以找到能夠有效誘發 PAP 的最佳劑量反應；除此之外，也可以針對不同動作幅度對 PAP 表現進行比較，以找出合適的動作型態。在實驗中，也建議可以增加肌電設備與 RPE 自覺努力量表或 RIR 反覆保留次數量表，能更詳細了解受試者的肌肉活化狀況、自主努力程度與疲勞狀況。

## 參考文獻

- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M. S., Michaut, A., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology*, *100*(3), 780-785.
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Vernon, A. D., & Haff, G. G. (2018). The reliability of individualized load-velocity profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(6), 763-769.
- Blazevich, A. J., & Babault, N. (2019). Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: Historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Frontiers in Physiology*, *10*, 1359.
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., & Veligekas, P. (2017). Improvement of long-jump performance during competition using a plyometric exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(2), 235-240.
- Caterisano, A., Moss, R. E., Pellingier, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W., & Khadra, T. (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *16*(3), 428-432.
- Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., & Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *21*(4), 1278-1281.
- Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *17*(4), 671-677.
- Clemente, F. M., Akyildiz, Z., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Validity and reliability of the inertial measurement unit for barbell velocity assessments: A systematic review. *Sensors*, *21*(7), 2511.
- 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.

Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cook, C. J., Middleton, M. K., Bunce, P. J., & Yang, G. Z. (2011). The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(12), 3319-3325.

De Villarreal, E. S. S., González-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology*, 100(4), 393-401.

Docherty, D., Robbins, D., & Hodgson, M. (2004). Complex training revisited: A review of its current status as a viable training approach. *Strength and Conditioning Journal*, 26(6), 52-57.

Ebben, W. P. (2002). Complex training: A brief review. *Journal of Sports science & Medicine*, 1(2), 42.

Esformes, J. I., & Bampouras, T. M. (2013). Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 2997-3000.

Evetovich, T. K., Conley, D. S., & McCawley, P. F. (2015). Postactivation potentiation enhances upper-and lower-body athletic performance in collegiate male and female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(2), 336-342.

Fukashiro, S., & Komi, P. V. (1987). Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 8(1), 15-21.

Fukutani, A., Takei, S., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2014). Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2236-2243.

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(05), 347-352.

Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training principles for power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2-12.

- Haff, G. G., Whitley, A., & Potteiger, J. A. (2001). A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength and Conditioning Journal*, 23(3), 13-25.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of applied physiology*, 88(6), 2131-2137.
- Hanson, E. D., Leigh, S., & Mynark, R. G. (2007). Acute effects of heavy-and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1012-1017.
- Harrison, P. W., James, L. P., McGuigan, M. R., Jenkins, D. G., & Kelly, V. G. (2019). Resistance priming to enhance neuromuscular performance in sport: evidence, potential mechanisms and directions for future research. *Sports Medicine*, 49(10), 1499-1514.
- Hirst, G. D., Redman, S. J., & Wong, K. (1981). Post-tetanic potentiation and facilitation of synaptic potentials evoked in cat spinal motoneurons. *The Journal of Physiology*, 321(1), 97-109.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.
- James, L. P., Haff, G. G., Kelly, V. G., & Beckman, E. M. (2016). Towards a determination of the physiological characteristics distinguishing successful mixed martial arts athletes: A systematic review of combat sport literature. *Sports Medicine*, 46(10), 1525-1551.
- Jensen, R. L., & Ebben, W. P. (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 345-349.
- Johnson, M., Polgar, J., Weightman, D., & Appleton, D. (1973). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles: an autopsy study. *Journal of the Neurological Sciences*, 18(1), 111-129.
- Jones, P., & Lees, A. (2003). A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 694-700.
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., ... & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal

recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1134.

Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Owen, N. J., West, D. J., Bracken, R. M., & Cook, C. J. (2011). Effect of postactivation potentiation on swimming starts in international sprint swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2418-2423.

Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 26(8), 795-802.

Krzysztofik, M., Matykiewicz, P., Celebanska, D., Jarosz, J., Gawel, E., & Zwierzchowska, A. (2021). The acute post-activation performance enhancement of the bench press throw in disabled sitting volleyball athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3818.

Mahlfeld, K., Franke, J., & Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*, 29(4), 597-600.

Maloney, S. J., Turner, A. N., & Fletcher, I. M. (2014). Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: a review of the literature and practical applications. *Sports Medicine*, 44(10), 1347-1359.

Mangus, B. C., Takahashi, M., Mercer, J. A., & Holcomb, W. R. (2006). Investigation of vertical jump performance after completing heavy squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 597-600.

Manning, D. R., & Stull, J. T. (1982). Myosin light chain phosphorylation-dephosphorylation in mammalian skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 242(3), C234-C241.

McBride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 893-897.

McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (1999). A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters, and sprinters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(1), 58-66.

- Mitchell, C. J., & Sale, D. G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(8), 1957-1963.
- Mola, J. N., Bruce-Low, S. S., & Burnet, S. J. (2014). Optimal recovery time for postactivation potentiation in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(6), 1529-1537.
- Orange, S. T., Metcalfe, J. W., Marshall, P., Vince, R. V., Madden, L. A., & Liefieith, A. (2020). Test-retest reliability of a commercial linear position transducer (GymAware PowerTool) to measure velocity and power in the back squat and bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(3), 728-737.
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., ... & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(7), 724-735.
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(2), 453-458.
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Medina, L., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2020). Relationship between velocity loss and repetitions in reserve in the bench press and back squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(9), 2537-2547.
- Ruf, L., Chéry, C., & Taylor, K.-L. (2018). Validity and reliability of the load-velocity relationship to predict the one-repetition maximum in deadlift. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *32*(3), 681-689.
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *30*(3), 138-143.
- 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.
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J., Perez, C., & Pallarés, J. (2014). Velocity-and power-

load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(03), 209-216.

Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(02), E80-E88.

Sanchez-Medina, L., Perez, C., & Gonzalez-Badillo, J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123-129.

Scott, S. L., & Docherty, D. (2004). Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 201-205.

Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 706-715.

Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2016). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(2), 231-240.

Stone, M. H., Moir, G., Glaister, M., & Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? *Physical Therapy in Sport*, 2(3), 88-96.

Suchomel, T. J., Lamont, H. S., & Moir, G. L. (2016). Understanding vertical jump potentiation: A deterministic model. *Sports Medicine*, 46(6), 809-828.

Suchomel, T. J., Sato, K., DeWeese, B. H., Ebben, W. P., & Stone, M. H. (2016). Potentiation following ballistic and nonballistic complexes: The effect of strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1825-1833.

Susheela, A. K., & Walton, J. N. (1969). Note on the distribution of histochemical fibre types in some normal human muscles: A study on autopsy material. *Journal of the Neurological Sciences*, 8(2), 201-207.

Sygulla, K. S., & Fountaine, C. J. (2014). Acute post-activation potentiation effects in NCAA division II female athletes. *International Journal of Exercise Science*, 7(3), 212.

- Szczesna, D., Zhao, J., Jones, M., Zhi, G., Stull, J., & Potter, J. D. (2002). Phosphorylation of the regulatory light chains of myosin affects Ca<sup>2+</sup> sensitivity of skeletal muscle contraction. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1661-1670.
- Thompson, S. W., Rogerson, D., Ruddock, A., Banyard, H. G., & Barnes, A. (2021). Pooled versus individualized load–velocity profiling in the free-weight back squat and power clean. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(6), 825-833.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166.
- Trimble, M. H., & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 933-941.
- Tsoukos, A., Brown, L. E., Terzis, G., Veligeas, P., & Bogdanis, G. C. (2021). Potentiation of bench press throw performance using a heavy load and velocity-based repetition control. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35, S72-S79.
- Tsoukos, A., Brown, L. E., Veligeas, P., Terzis, G., & Bogdanis, G. C. (2019). Postactivation potentiation of bench press throw performance using velocity-based conditioning protocols with low and moderate loads. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 81-98.
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31-49.
- Weakley, J., McLaren, S., Ramirez-Lopez, C., García-Ramos, A., Dalton-Barron, N., Banyard, H., ... & Jones, B. (2020). Application of velocity loss thresholds during free-weight resistance training: Responses and reproducibility of perceptual, metabolic, and neuromuscular outcomes. *Journal of Sports Sciences*, 38(5), 477-485.
- Weber, K. R., Brown, L. E., Coburn, J. W., & Zinder, S. M. (2008). Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 726-730.
- West, D., Cunningham, D., Bevan, H., Crewther, B., Cook, C., & Kilduff, L. (2013). Influence of active recovery on professional rugby union player's ability to harness postactivation potentiation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(2), 203-208.

- West, D. J., Cunningham, D. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2013). Influence of ballistic bench press on upper body power output in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2282-2287.
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., ... & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 854-859.
- Young, W. B., Jenner, A., & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 82-84.
- Zajac, A., Chalimoniuk, M., Gołasz, A., Lngfort, J., & Maszczyk, A. (2015). Central and peripheral fatigue during resistance exercise—A critical review. *Journal of Human Kinetics*, 49(1), 159-169.



## 附錄一 受試者同意書

本研究目的在探討「調控速度流失之高強度阻力運動誘發增能作用對下蹲跳表現之影響」。每位受試者需進行3組90%RM之半蹲舉運動，並分成兩種不同速度流失之處理，在半蹲舉運動之前與之後的7分鐘需要進行下蹲跳測驗。為了保護受試者權益，研究人員隨時回答受試者提出的問題。受試者如據實回答健康情況調查表，經研究人員篩選出來的實驗參與者，在整個實驗操作過程應無安全上之顧慮。本實驗所得之所有資料與數據，僅供學術研究之用，絕不外流。受試者如臨時改變意願拒絕參加實驗或遭遇受傷之風險，應立即通知研究人員，並可隨時退出實驗而不受任何限制。參與實驗的受試者必須了解並同意下列事項：

1. 實驗期間請規律作息及飲食習慣。
2. 測驗期間，禁止飲酒、抽菸與使用藥物。
3. 實驗當天在指定的時間穿著運動服裝。
4. 實驗期間務必完全遵循研究人員的指示並全力完成測驗，勿保留實力。

本研究需要您的合作與參與，才能順利達成。您的健康情形已合乎參與本研究的要求，如您願意參加本研究，請在本同意書的右下角姓名欄上簽名，表示同意並願意遵守受試者須知與同意書內所列之各項規定。表示同意並願遵守受試者須知與同意書內所列之各項規定。因受試者未滿法定年齡（20歲以下），須經法定代理人（監護人）之同意，方可參與本實驗，如您願意讓貴子女參與本研究，請在同意書之監護人欄位簽名，以表示同意並願意遵守相關須知與同意書內所列之各項規定。

監護人簽名：\_\_\_\_\_

受試者簽名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_



## 附錄二 健康情況與運動習慣調查表

本資料表旨在幫助您了解自己身體的健康狀況，並提供研究人員在施測前，評估受試者健康情況是否適合參與測驗。因此，請據實填寫下列各項資料。本表填寫之個人資料只提供本實驗參考用，絕對保密不外流，請放心填寫。

姓名: \_\_\_\_\_ 身高: \_\_\_\_\_ 體重: \_\_\_\_\_  
 緊急連絡人: \_\_\_\_\_ 電話: \_\_\_\_\_ 關係: \_\_\_\_\_

| 是 | 否 | 過去病史                |
|---|---|---------------------|
|   |   | 過去一年是否曾經住院？         |
|   |   | 是否有腸胃道疾病？           |
|   |   | 是否有心臟血管疾病？          |
|   |   | 是否有貧血？              |
|   |   | 是否有呼吸系統疾病？          |
|   |   | 是否有其他慢性疾病？          |
|   |   | 是否有其他疾病？            |
|   |   | 是否有心律不整？            |
|   |   | 是否有頭痛、頭暈現象？         |
|   |   | 是否有正在進行減重節食計劃？      |
|   |   | 近六個月內是否有運動傷害？ 受傷部位： |

阻力訓練經驗： \_\_\_\_\_ 年；每週阻力訓練頻率： \_\_\_\_\_ 次/週  
 是否為專項運動員？ 運動專項： \_\_\_\_\_ ，訓練年資： \_\_\_\_\_ 年