

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育與運動科學系

博士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Doctoral Dissertation

速度依循阻力運動對垂直跳表現之影響

The Effect of Velocity-Based Training on Vertical Jump

Performance

鄭立夫

Li-Fu Cheng

指導教授：黃長福 博士

Advisor: Chen-Fu Huang, Ph.D.

中華民國 114 年 8 月

August 2025

# 速度依循阻力運動對垂直跳表現之影響

2025 年 8 月

研究生：鄭立夫

指導教授：黃長福

## 摘要

**目的：**探討高相對力量 (relative strength ratio, RSR) 水平者執行速度流失與傳統設計阻力運動的延遲性增能效果。**方法：**9 名年輕、有阻力訓練經驗男性 (18-30 歲)，RSR 需大於 2 以上。所有實驗參與者皆須執行 4 次實驗介入，以隨機交叉設計進行 4 次高強度 (80%1RM)、低訓練量的背蹲舉訓練：其中包括 2 種不同速度流失比例：速度流失 10% 組 (velocity loss of 10%, VL10)、20% 組 (velocity loss of 20%, VL20)；傳統低訓練量阻力運動組 (low volume resistance exercise, L-RE) 以及傳統中訓練量阻力運動組 (moderate volume resistance exercise, M-RE)，每次的實驗介入至少需間隔 72 小時以上。在每次實驗介入前與介入後 6 小時進行下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 以及深蹲跳 (squat jump, SJ) 測驗。二因子相依樣本 ANOVA (two-way repeated design ANOVA) 考驗實驗介入 × 時間因子的差異，顯著水準設定為  $\alpha = .05$ 。**結果：**M-RE 組在介入後 6 小時顯著改善 CMJ 跳躍高度 (+5.6%)、修正反應肌力指數 (+9.05%)、向心峰值速度 (+2.48%) 以及向心峰值功率 (+4.47%)。在 SJ 表現方面，M-RE 組在介入後 6 小時顯著改善了跳躍高度 (+6.38%)、峰值速度 (+2.86%)、峰值功率 (+4.57%) 以及衝量 (+3.39%)。**結論：**M-RE 組有助於在介入後 6 小時促進垂直跳能力。

**關鍵詞：**下蹲跳、速度流失、疲勞監控、負荷-速度關係、反應肌力

# The Effect of Velocity-Based Training on Vertical Jump Performance

August, 2025

Author: CHENG, Li-Fu

Advisor: HUANG, Chen-Fu

## Abstract

**Purpose:** This study aimed to compare the effect on delayed potentiation effect between velocity loss and traditional resistance training in high relative strength ratio (RSR) individual.

**Methods:** A total of 9 young men (18-30 years) with resistance training experience were recruited into this study. Participants had an RSR greater than 2 (high RSR). All participants were required to perform four high-intensity (80% 1RM) back squat interventions, implemented in a randomized crossover design. There are four resistance exercises, consisting of two different velocity loss ratios—velocity loss of 10% (VL10) and 20% (VL20)—and two different training volumes for traditional resistance exercises: low-volume resistance exercise (L-RE) and moderate-volume resistance exercise (M-RE). Each intervention were separated by at least 72 hours. Countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ) tests were performed before and 6 hours after each intervention. Two-way repeated design ANOVA examined the difference between 4 interventions x 2 times. The significance level was set at  $\alpha = .05$ . **Results:** The M-RE group demonstrated significant improvements in CMJ performance at 6 hours post-intervention, with increases in jump height (+5.6%), modified reactive strength index (+9.05%), peak concentric velocity (+2.48%), and peak concentric power (+4.47%). Similarly, in the SJ performance, significant enhancements were observed in jump height (+6.38%), peak velocity (+2.86%), peak power (+4.57%), and impulse (+3.39%). **Conclusion:** The M-RE group demonstrated enhanced vertical jump performance 6 hours after the intervention.

**Key words:** countermovement jump, velocity loss, fatigue monitoring, load-velocity profile, reaction strength

# 目次

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目次.....	iii
表次.....	v
圖次.....	vi

## 第壹章 緒論.....1

第一節 前言.....	1
第二節 研究重要性.....	5
第三節 研究目的.....	5
第四節 研究假設.....	5
第五節 研究範圍.....	6
第六節 研究限制.....	6
第七節 名詞操作性定義解釋.....	6

## 第貳章 文獻探討.....8

第一節 阻力動作速度特徵、負荷與速度關係.....	8
第二節 速度流失的急性反應.....	11
第三節 延遲性增能的影響因素.....	13
第四節 速度依循在延遲性增能的應用.....	18
第五節 本章總結.....	20

## 第參章 研究方法與步驟.....25

第一節 實驗參與者.....	25
第二節 實驗設計.....	26

第三節	實驗地點.....	26
第四節	實驗流程圖.....	27
第五節	實驗方法與步驟.....	28
第六節	依變項測驗.....	31
第七節	統計分析.....	34
<b>第肆章</b>	<b>結果.....</b>	<b>35</b>
第一節	實驗參與者基本資料與負荷-速度關係.....	35
第二節	背蹲舉之訓練參數.....	37
第三節	不同阻力運動對 CMJ 之影響.....	39
第四節	不同阻力運動對 SJ 之影響.....	42
<b>第伍章</b>	<b>討論.....</b>	<b>44</b>
第一節	負荷-速度關係與背蹲舉訓練參數.....	44
第二節	速度依循訓練與傳統阻力訓練對垂直跳之影響.....	45
<b>第陸章</b>	<b>結論與建議.....</b>	<b>49</b>
第一節	結論.....	49
第二節	建議.....	49
<b>參考文獻.....</b>		<b>50</b>

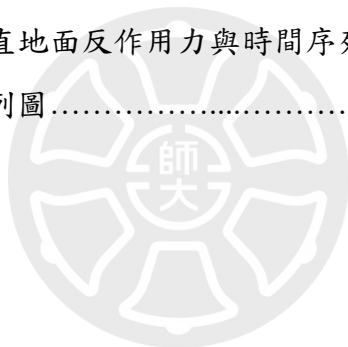
# 表 次

表 2-1.	阻力運動的延遲性增能效應.....	21
表 2-2.	速度依循阻力運動的延遲性增能效應.....	24
表 4-1.	實驗參與者基本資料.....	35
表 4-2.	實驗參與者之負荷速度關係.....	36
表 4-3.	各組在背蹲舉過程中之訓練重量、反覆次數與總訓練量.....	37
表 4-4.	背蹲舉之速度參數.....	38
表 4-5.	不同實驗處理對 CMJ 表現之影響.....	39
表 4-6.	不同實驗處理對 CMJ 向心階段之影響.....	40
表 4-7.	不同實驗處理對 CMJ 離心階段之影響.....	41
表 4-7.	不同實驗處理對 SJ 之影響.....	43



# 圖 次

圖 1-1. 負荷與速度關係圖.....	6
圖 2-1. 低、高強度仰臥推舉的速度、加速度曲線.....	9
圖 2-2. 負荷-速度迴歸圖.....	11
圖 2-3. 阻力訓練相對強度最大反覆次數關係圖.....	13
圖 3-1. 實驗流程圖.....	27
圖 3-2. 線性位移感測器.....	29
圖 3-3. 背蹲舉示意圖.....	29
圖 3-4. 實驗介入流程圖.....	30
圖 3-5. Kistler 測力板.....	31
圖 3-6. 下蹲跳與深蹲跳之垂直地面反作用力與時間序列圖.....	32
圖 3-7. 下蹲跳力量與時間序列圖.....	33



# 第壹章 緒論

## 第一節 前言

如何提升運動員賽場上的競技表現，一直以來都是運動科學的熱門研究領域之一。其中一個方式即是在賽前暖身時，給予運動員足夠的生理刺激，進而促進隨後爆發力表現。而文獻中常見的手段即是進行一回合的高強度阻力運動，並提升隨後的爆發性運動表現 (如：衝刺、跳躍)。值得注意的是，已有研究發現運動表現的提升還存在著第二個誘發時間點，在高強度、低訓練量的阻力運動後 3~48 小時提升爆發力表現 (肌肉力量、跳躍、衝刺)，這種現象被稱之為延遲性增能 (delayed potentiation effect)(Cook et al., 2014; Harrison et al., 2021; Mason et al. 2017; Raastad & Hallén, 2000; Tsoukos et al. 2018)。

一般的阻力運動處方設計中，最大反覆次數 (One-repetition maximum, 1RM) 的百分比是常見的強度設定方式 (Medicine, 2009; Nuzzo et al., 2023)，這種根據 1RM 進行強度設定被稱之為傳統百分比訓練法 (percentage based training)。然而，這種方式需要在整個訓練週期當中定期測量以保持訓練強度，但測驗 1RM 可能不是維持訓練強度的最佳做法，原因如下：1) 在 1RM 測驗時，受測者必須處在非疲勞的狀態才能有效測驗，但這通常會影響到訓練課表的安排；2) 受測者本身就處於非常疲勞的狀態；3) 可能影響後續的訓練表現。另外，1RM 並非恆定不變，除了日常的訓練可能會促進肌肉力量提升外，也會隨著每日的狀態的影響而浮動，Jovanović 與 Flanagan (2014) 就提出 1RM 的變動幅度最大可達 18%。因此，即使是使用傳統 1RM 測驗也難以精確的設定運動強度。

隨著近幾年來科技的進步，穿戴式科技儀器已被普遍應用在阻力運動的動作品質監控，當中包含線性位移感測器 (linear position transducer, LPT) 以及慣性感測器 (inertial measurement unit, IMU) 來量測槓鈴運動學參數，其中，動作的向心速度就可以用來設定訓練強度，這種訓練方式稱之為速度依循訓練 (velocity based training, VBT)。VBT 是在 1RM 測驗過程中使用 LPT 或是 IMU 來觀察動作速度與負荷之間的關係。其中，動作速度藉由 LPT、IMU 紀錄並從向心階段中分析出平均向心速度 (mean concentric velocity, MCV) 或平均推進速度 (mean propulsive velocity, MPV)，並建立起負荷-速度關係 (load-velocity profile, LVP) (Sánchez-Medina et al., 2017)。Sánchez-Medina 等 (2017) 即證實 1RM 相對強度 (%1RM) 與 MCV ( $R^2 = 0.955$ ) 以及 MPV ( $R^2 = 0.958$ ) 的變化與之間具

有高度的預測力。LVP 的預測力不受相對力量 (relative strength ratio, RSR。計算方式為 1RM/體重) 以及性別的影響， $R^2$  皆能夠穩定維持在 0.94 以上 (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017; Torrejón et al., 2018)。另外，González-Badillo 與 Sánchez-Medina (2010) 的研究發現，即使經過 6 週的阻力訓練，實驗參與者的 1RM 平均增加了 9.3%，但是相對強度 (30-100%1RM) 的 MPV 平均僅改變 0.00-0.01 (m/s)，顯示整個 LVP 的曲線即使經過長期訓練，仍不會有明顯的偏移。從相關研究證據可以得知，利用動作速度來推估訓練的相對強度，具有足夠的預測力以及穩定性。

另外，有研究結果顯示不同個體間，單組阻力運動的最大反覆次數的變異係數 (coefficient of variation, CV) 介於 16.8-23.5%，以 65%1RM 為例，實驗參與者平均可以執行 16.2 下，上、下限範圍為 12-22 下；而 85%1RM 平均為 4.9 下，上、下限為 4-8 下 (González-Badillo et al., 2017)。因此，若是按照傳統阻力運動模式以固定的反覆次數設計訓練處方，容易錯估個體間的訓練刺激以及疲勞反應。而 VBT 除了可以透過 LVP 推估當下的訓練強度，亦可以藉由設定每組阻力運動 MCV 或是 MPV 的速度流失 (velocity loss) 的比例來控制訓練量 (Weakley et al., 2020; Weakley et al., 2022)。先前的研究結果就指出背蹲舉 (back squat)、仰臥推舉 (bench press) 等動作的速度流失與血乳酸 (blood lactate) 有高度正相關 (背蹲舉： $r=0.97$ ；仰臥推舉： $r=0.95$ )，且能夠有效預測血氨濃度 (背蹲舉： $R^2=0.85$ ；仰臥推舉： $R^2=0.89$ ) (Rodríguez-Rosell et al., 2018; Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011)。另外，速度流失的比例也證實跟單組背蹲舉完成次數比例有高度預測力 ( $R^2=0.93$ )，如：背蹲舉 MPV 下降 10%、20% 大約等於完成 36%、50% 的最大反覆次數 (Rodríguez-Rosell et al., 2020)。因此，相關領域學者就提出 VBT 可取代傳統 1RM 做為一項監控每次訓練強度以及訓練量的有效方式 (Weakley et al., 2020; Weakley et al., 2022)。

高強度 (>80%1RM)、低訓練量的阻力運動已被證實能有效誘發延遲性增能 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。而這些文獻所設計的每組反覆次數介於 3~5 次之間，如 Saez Saez de Villarreal (2007) 採用 2 組 x 4 下 x 80% 1RM + 2 組 x 3 下 x 85% 1RM 的背蹲舉，在訓練後 5 分鐘、6 小時可以提升下蹲跳 (countermovement jump, CMJ)、落下跳 (drop jump, DJ) 的高度，而每組進行的反覆次數只達到 50% 的最大反覆次數 (最大反覆次數 [特定強度下，最多可執行的反覆次數]：80%1RM=8 下；85%1RM=6 下；90%1RM=4 下。Nuzzo et al., 2023)，其餘成功誘發延遲性增能的研究，反覆次數也都僅達到其設計相對

強度的 50% (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023)。相反的，Ekstrand 等 (2013) 採用背蹲舉至力竭 (85%1RM) 在 4 ~ 6 小時後沒有提升運動表現；而 Raeder 等 (2016) 執行 4 組 x 6 下 x 85%1RM 平行蹲舉以及 Bartolomei 等 (2016) 使用 8 組 x 3 下 x 90%1RM 背蹲舉則顯示在運動後 0.5 ~ 48 小時會導致 CMJ 表現下降，須注意的是，這些文獻單組進行的反覆次數已達到或是接近最大反覆次數 (Nuzzo et al., 2023)，表示承受了較高的代謝壓力與負荷，可能導致嚴重的急性疲勞並產生肌肉損傷進而造成運動表現下降。因此，綜合目前的實驗設計，要以高強度阻力運動做為延遲性增能的設計處方時，將單組反覆次數控制在最大反覆次數的 50% 以避免過度疲勞以及肌肉損傷產生。

進行阻力運動的同時可能也會伴隨著疲勞或是產生肌肉損傷，能有效控制運動強度與訓練量是平衡延遲性增能與疲勞反應的重要因素 (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2022)。由於 VBT 能穩定預測訓練相對強度 (%1RM) 並利用速度流失控制訓練量，就有學者提出 VBT 可能可以做為更有效率誘發延遲性增能的一種處方設計。目前僅有 Kalmus 等 (2021) 比較傳統阻力運動與 VBT 設計的延遲性增能效果，其研究讓 10 名男性青少年籃球員 ( $16 \pm 0.5$  歲) 分別進行 4 組 x 5 下 x 70%1RM x 速度流失 10% (VBT 組) 以及 2 組 x 10 下 x 70%1RM (傳統設計組) 的平行背蹲舉、握推、槓鈴臀推，在總訓練量 (組 x 反覆次數 x %1RM = 隨意單位 [arbitrary unit, AU]) 相同的情況下 (AU = 下肢：2800；上肢：1400)，VBT 組在 6 小時後 CMJ 高度 (+6.7%) 的上升明顯優於傳統設計組 (+2.4%)；並且明顯提升有反應者 (responders) 的數量 (VBT 組：n=7；傳統設計組：n=2)。需注意的是，青少年在進行阻力運動時的抗疲勞能力明顯優於成年人 (Tibana et al., 2012)，其實驗結果可能無法直接推論至成年人；另外，Kalmus 等 (2021) 的傳統設計組為 70%1RM 強度下進行 10 次反覆次數，已經接近最大反覆次數 (70%1RM 最大反覆次數為 12 下。Nuzzo et al., 2023)，這與先前成功誘發延遲增能的阻力運動設計不同，從本計畫彙整的研究結果顯示單組反覆次數需控制在最大反覆次數 50% 以內 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Harrison et al., 2019) 才能有效誘發延遲性增能。因此，VBT 設計是否能精準、有效的誘發延遲性增能，仍須進一步的研究去證實。

另外，以 VBT 設計相關研究大部分採用 20% 的速度流失百分比來控制單組訓練量 (González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; González-García et al., 2023; Pareja-Blanco et al., 2019)。然而，研究結果卻出現不一致的現象，González-García 等 (2021)

發現 2 組 x 80%1RM x 速度流失 20%之半蹲舉 (half squat)，在介入後 6 小時可以有效提升 CMJ 高度 (+6.7%)。然而，後續兩個研究使用相同的實驗設計 (2 組 x 80%1RM x 速度流失 20%之背蹲舉)，卻沒有觀察到運動表現明顯提升 (González-García et al., 2023; González-García et al., 2023)。值得注意的是，已有文獻證據證實力量水平高者 (RSR = 2.22)，較容易誘發延遲性增能的現象 (Nishioka & Okada, 2022; Seitz et al., 2014)。另外，Nishioka 與 Okada (2022) 的研究結果指出相對力量與 CMJ 高度變化率有顯著正相關 ( $r=0.612$ )。統整以 VBT 設計的文獻來看，González-García 等 (2021) 實驗參與者的相對力量 (RSR = 1.8) 高於相關文獻的 1.46 (Pareja-Blanco et al., 2019)、1.6 (González-García et al., 2023) 與 1.7 (González-García et al., 2023)，顯示速度流失設定在 20%，似乎不利於低 RSR 者產生延遲性增能。然而，目前僅 Kalmus 等 (2021) 採用 10%的速度流失閾值控制訓練量，並成功在 6 小時後觀察到 CMJ 高度上升，其實驗參與者 RSR = 1.55，這表示相對力量較弱的個體可能較適合採用速度流失 10%來誘發延遲性增能，須注意的一點是，此篇研究的實驗參與者為青少年籃球員。另外，採用速度流失 20%的文獻大部分都納入男女性，有鑑於性別以及成熟狀態皆會影響阻力運動期間的疲勞狀態 (Tibana et al., 2012; Yoon et al., 2007)；有相關研究證據顯示以速度流失 20%、40%進行長期阻力訓練，男性在速度流失 20%能有效促進爆發力表現 (Pareja-Blanco et al., 2017)；女性則是在速度流失 40%才提升爆發力 (Rissanen et al., 2022)，女性可能需要更高的速度流失比例才跟男性有相似的生理適應與刺激。因此，相關研究需要更加精準控制實驗參與者的生理條件 (性別、成熟程度)，目前不同速度流失 (10、20%) 閾值如何影響延遲性增能仍要進一步研究來釐清。

需注意的是，先前研究已指出高力量水平者 (RSR > 2) 比較起低力量水平者 (RSR < 2)，有較佳的 PAP 效果且持續時間更長 (Seitz et al., 2014)。綜合目前的文獻，有效誘發延遲性增能的高強度阻力運動，所招募的實驗參與者大多都屬於高力量水平者 (Cook et al., 2014，背蹲舉 RSR = 1.93；Fry et al. 1995，背蹲舉 RSR = 2.2；Nishioka & Okada, 2022，半蹲舉 RSR = 2.22；Nishioka & Okada, 2022，半蹲舉 RSR = 2.14；Saez Saez de Villarreal et al., 2007，背蹲舉 RSR = 2.05；Raastad and Hallén, 2000，背蹲舉 RSR = 2.2；Tsoukos et al., 2018，背蹲舉 RSR = 2.01)。而從前一段的文獻討論可以知道，目前以 VBT 設計的研究，其實驗參與者的背蹲舉 RSR 介於 1.46 ~ 1.8 之間 (González-García et al., 2021、2023; Kalmus et al., 2021; Pareja-Blanco et al., 2019)。因此，高強度、不同速度流失的阻力運動在高力量水平者的延遲性增能效應仍不清楚。

綜合上述的文獻結果，本研究旨在探討高力量水平者 ( $RSR > 2$ ) 進行高強度 (80%1RM) VBT 設計以及傳統阻力運動的延遲性增能效果。藉由本研究探索，冀望提供教練、運動員在實際開立處方時，能夠有相關資訊參考使用。

## 第二節 研究重要性

如何提升運動表現不論在實務或是研究上，都是許多研究者在探索的議題。高強度阻力運動所誘發的延遲性增能效果，給予教練和運動員有更彈性的賽前準備方式。值得注意的是，雖然高強度、低訓練量的阻力運動已在不同文獻中被證實能提升 6 小時後的運動表現，但有效的研究結果大多發現在相對力量較高的個體。另外一方面，速度依循方法被認為能有效監控阻力運動的強度以及訓練量。而近年來，已有學者將此種方式運用至延遲性增能領域。然而，多數的研究設計僅納入訓練水平較低的實驗參與者，對於不同的速度流失比例在高力量水平者 ( $RSR > 2$ ) 的影響仍不明確。另外，速度依循方式與傳統阻力運動方法之間的比較，目前尚無相關文獻探討。而本計畫的研究成果可以將相關領域的知識缺口補上，另外，也可以供教練和運動員一個較為精準的阻力運動處方。

## 第三節 研究目的

本計畫研究目的為：探討高力量水平者 ( $RSR > 2$ ) 在進行速度依循阻力運動(速度流失 10%、20%) 以及傳統設計阻力運動 (低訓練量以及中訓練量) 介入後 6 小時，對於垂直跳表現 (CMJ、SJ) 的影響。

## 第四節 研究假設

本計畫研究假設為：高力量水平者 ( $RSR > 2$ ) 在進行完速度流失 20%、中訓練量之阻力運動後 6 小時，能有效提升垂直跳 (CMJ、SJ) 表現。

## 第五節 研究範圍

本研究以 9 名有阻力訓練經驗之健康男性為實驗參與者，年齡為 18-30 歲之間，需具備 1 年以上規律阻力訓練，每週進行 2 次以上的阻力訓練，且每週至少有一次訓練課表中需包含背蹲舉 (back squat) 項目。

## 第六節 研究限制

- 一、本研究招募之實驗參與者為成年男性，有鑑於生理成熟狀態、性別等因素皆會影響阻力訓練後的疲勞反應，因此，本研究結果無法推論至青少年、女性。
- 二、本研究阻力運動介入模式為高強度背蹲舉 (80%1RM)，因此，結果不適用於其他訓練動作 (如：仰臥推舉)、增強式訓練 (如：背槓跳)。

## 第七節 名詞操作性定義解釋

### 一、平均向心速度

阻力訓練動作向心階段的平均速度 (García-Ramos et al., 2018)。

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

在進行 1RM 期間可得到各個重量的最快執行速度，將執行的重量換算成相對強度 (%1RM)，與其對應之速度可以得到線性方程式，即為 LVP (Weakley et al., 2021)。

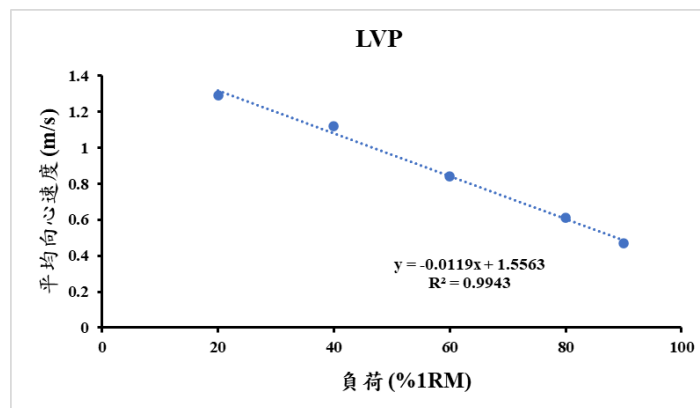


圖 1-1. 負荷-速度關係圖 (取自先前實驗參與者結果)

### 三、速度流失 (velocity loss, VL)

速度流失可使用阻力動作向心階段的平均向心速度或平均加速度進行計算，本研究採用背蹲舉的平均向心速度做為控制速度流失的變項 (Weakley et al., 2021)。

速度流失比例計算方式為: $VL = (1 - [\text{目前執行的動作速度} / \text{該組的最快動作速度}]) * 100\%$ 。

#### 四、高強度阻力運動

本研究設定 80%1RM 強度作為高強度阻力運動 (González-García et al., 2023)。動作為自由重量、平行背蹲舉 (蹲下時大腿平行地面)。

#### 五、傳統阻力運動

傳統阻力運動採用固定反覆次數進行訓練，本研究設計兩組傳統阻力組，分別為低訓練量組 (每組進行 3 下背蹲舉)、中訓練量組 (每組進行 4 下背蹲舉)。

#### 六、速度依循阻力訓練

速度依循阻力訓練係以動作向心階段速度流失比例控制訓練量，如設定 10% 速度流失，若當組最快速度為 0.5 m/s，當速度下降至超過 0.45 m/s 時即停止動作。本研究設計兩組速度流失設計組，分別為速度流失 10% 組、速度流失 20% 組。

#### 七、延遲性增能

目前相關研究觀察到在阻力運動後 3-48 小時可以觀察到延遲性增能的效果 (運動表現提升)。本研究採用阻力運動後 6 小時作為實驗觀察點 (González-García et al., 2023)。

## 第貳章 文獻探討

### 第一節 阻力動作速度特徵、負荷與速度關係

與阻力訓練動作相關的運動學 (kinematics) 與動力學 (kinetics) 被認為是神經肌肉適應刺激的關鍵 (Sanchez-Medina et al., 2010)，不同於等長 (isometric) 與等速 (isokinetic) 肌力測驗與運動員競技表現之間的低相關性，等慣性 (isoinertial) 肌肉力量測試更類似實際訓練與比賽的加速度以及減速，並且更適用追蹤於訓練後的力量變化。Sanchez-Medina 等 (2010) 首次分析了仰臥推舉 (Bench press) 向心階段的速度-時間的關係，在整個動作向心期可以發現包含了推進階段 (Propulsive phase) 以及煞車階段 (Braking phase)、加速期 (Accelerating phase) 以及減速期 (Decelerating phase) 的比例會隨著相對重量 (%1RM) 提升而有所改變。從圖 2 可以看到，仰臥推舉在 20%1RM 的強度時，加速期的占比為整個向心階段的 70%，而減速期為 30%；當強度提升至 80%1RM 時，加速期則佔比 88.3%、減速期佔 11.7%。另外，推進階段在強度 20%1RM 時佔比 72%、煞車階段 28%；儘管有個體差異，但強度提升至 76%1RM 時，推進階段的占比就達到 100% (Sanchez-Medina et al., 2010)。後續 Sánchez-Medina 等 (2017) 的實驗使用史密斯機器觀察全蹲舉 (full back squat) 的動作特性，發現隨著相對強度的提升，推進階段的佔比也同樣隨之提升，但與仰臥推舉不同的是，背蹲舉在 75%1RM 時的煞車階段仍佔比 7%，甚至到 95%1RM 時仍有 1% 的比例，到了最大重量 (100%1RM) 時，推進階段才達到 100% 的占比。而在相關研究當中，最常被使用來評估的參數有平均向心速度 (MCV) 以及平均加速度 (MPV)，兩者皆是從向心階段的動作速度中分析而來。其差異在於 MCV 為整個動作向心階段的平均速度；而 MPV 為向心階段的加速期速度平均而來 (圖 2-1，Sanchez-Medina et al., 2010; Sánchez-Medina et al., 2017)。

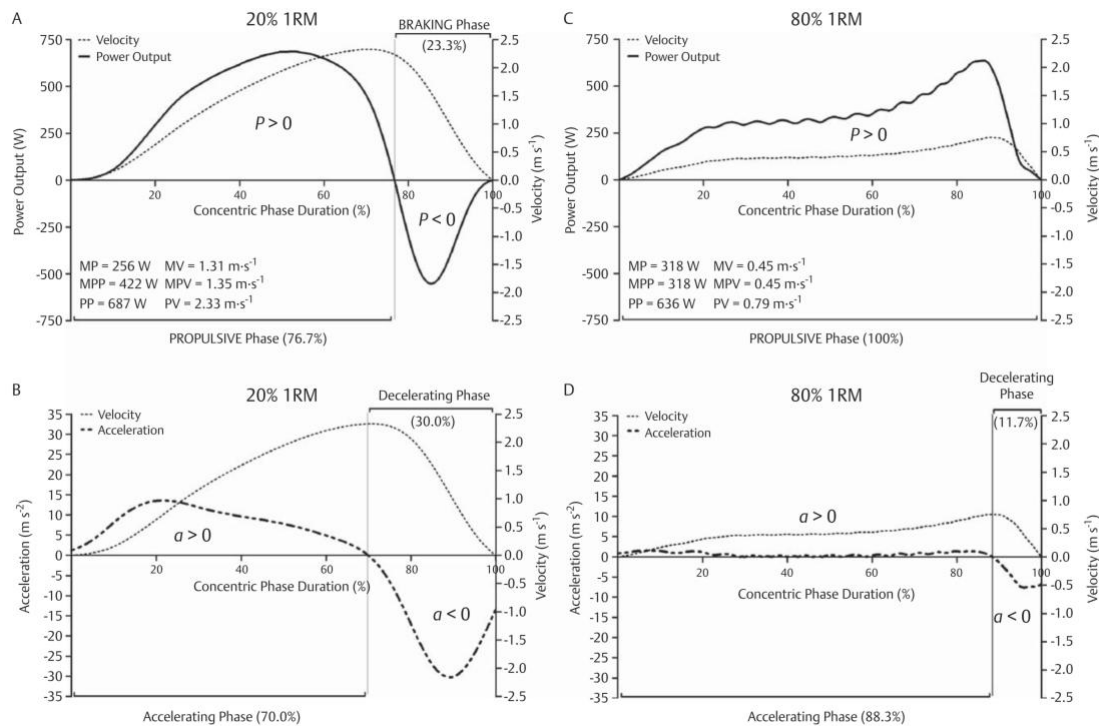


圖 2-1. 低、高強度仰臥推舉的速度、加速度曲線 (取自 Sanchez-Medina et al., 2010)

負荷-速度關係 (load-velocity profile, LVP) 已被提出可作為設定阻力訓練時，一種客觀監控和設定訓練強度的方式 (García-Ramos et al., 2018; Jovanovic & Flanagan, 2014; Sánchez-Medina et al., 2017)。相關的研究證據顯示，不論是上半身或是下半身的阻力訓練動作的 LVP 的相關性極高，且具備高度線性以及預測力 (García-Ramos et al., 2018; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017)。在 García-Ramos 等 (2018) 的經典研究中比較史密斯仰臥推舉 20%-100%1RM 與 MCV、MPV 之間的預測力以及變異性，結果顯示 MVC ( $R^2=0.969$ ) 與 MPV ( $R^2=0.957$ ) 皆有高度線性關係以及預測力，而實驗參與者內的變異係數 (coefficient of variation, CV) 則是 MCV (CV = 4.05%-4.93%) 低於 MPV (CV = 5.11%-6.03%)，因此，在進行仰臥推舉訓練時，MCV 被認為是最合適監控相對強度 (%1RM) 的指標。而在下肢的訓練動作方面，史密斯全蹲舉的%1RM 同樣與 MCV ( $R^2 = 0.955$ )、MPV ( $R^2 = 0.958$ ) 有高度線性關係，且標準誤差 (standard error of estimate, SEE) 分別為 4.02%、4.31%，上述的研究結果表明了 MVC、MPV 皆適用於背蹲舉動作 (Sánchez-Medina et al., 2017)。

需要注意的是，García-Ramos 等 (2018) 提出在低相對強度阻力訓練建議使用 MPV，而在高強度阻力訓練則是 MCV、MPV 兩者皆可。而會有這樣建議的原因如下：在執行低強度阻力訓練時會有比較高的加速度以及較大的峰值速度 (Peak velocity)，但是由於

人體解剖構造的特性，在動作結束之前速度會快速降低至零（停止狀態），因此，身體會產生較大且長的減速期，否則槓鈴會離開身體；而在執行高強度的重量時，減速期會隨著強度漸增而降低，減速度也跟著下降（Sánchez-Medina et al., 2017）。然而，先前有另外一篇文獻則指出，在執行史密斯深蹲時 MCV ( $R^2 = 0.955$ ) 及 MPV ( $R^2 = 0.958$ ) 皆能有效預測%1RM，且在低強度阻力時（40-60%1RM），MCV、MPV 量測平均速度的 95% 信賴區間都介於 0.03-0.04 之間（Sánchez-Medina et al., 2017）。造成兩篇研究的差異點在於，Sánchez-Medina 等（2017）允許實驗參與者在執行深蹲時腳跟離地，如此可以讓加速的時間被拉長（減少身體構造的限制）、降低減速度的幅度。

動作速度被推崇可作為監控訓練強度的原因之一是其穩定性高；其二是可應用的族群廣闊。González-Badillo 與 Sánchez-Medina (2010) 即針對 1596 個人進行仰臥推舉 1RM 測試來探討 MPV 與%1RM 的 LVP，發現到 MPV 與%1RM 呈現高度預測力 ( $R^2 = 0.98$ )；另外，這個研究從原本的樣本中抽出 56 位實驗參與者進行 6 週的阻力訓練（60-85%1RM），結果顯示訓練後 1RM 增加了 9.3%，但是相對強度（30-100%1RM）的 MPV 平均僅改變 0.00-0.01 (m/s)；從圖 2-2 可以看出此位實驗參與者在經過 6 週的訓練後，整個 LVP 曲線並無明顯的偏移，因此，透過此研究結果可以發現%1RM 可以透過 MPV 進行預測，而 LVP 曲線經過阻力訓練後的變異性不大（信度高）。值得注意的是，LVP 的預測力似乎不受相對力量（RSR）以及性別的影響（González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017; Torrejón et al., 2018），Sánchez-Medina 等（2017）將實驗參與者區分為低 RSR 組 (<1.3)、中 RSR 組 (1.3-1.5) 以及高 RSR 組 (>1.5)，發現三組全蹲舉的 MPV 與%1RM 皆呈現高度線性關係且預測力相似 ( $R^2$  分別為 0.955、0.958、0.961)；而三組的 MPV 在 40%-100%1RM 皆沒有明顯差異。在性別比較方面，儘管男性在低強度（30%1RM）的 MCV 優於女性、而女性在高強度（90-100%1RM）的 MCV 高於男性，但在負荷-速度關係之間皆存在高度的線性關係，且性別之間沒有差異（男性： $R^2 = 0.95$ ；女性： $R^2 = 0.94$ 。Torrejón et al., 2018）。

綜合本節的文獻結果，可以得知動作速度（MCV、MPV）是能穩定推估阻力訓練的相對強度（%1RM），且不受個體的力量水平、性別所影響，研究結果皆呈現出高度線性關係以及預測力 ( $R^2 > 0.94$ )。另外，Jovanović 與 Flanagan (2014) 也指出監控槓鈴速度與傳統%1RM 相比，能夠精準的控制訓練的強度刺激，因為體能會隨著每日的身體狀態浮動，而 1RM 最高可高達 18%。若是使用固定的%1RM，當狀況較好的時候可能刺激

不足 (當日 1RM 較佳)；當狀況較差時可能造成過度訓練 (當日 1RM 較差)。因此，用相對穩定的動作速度進行監控，可以有效的控制訓練強度。

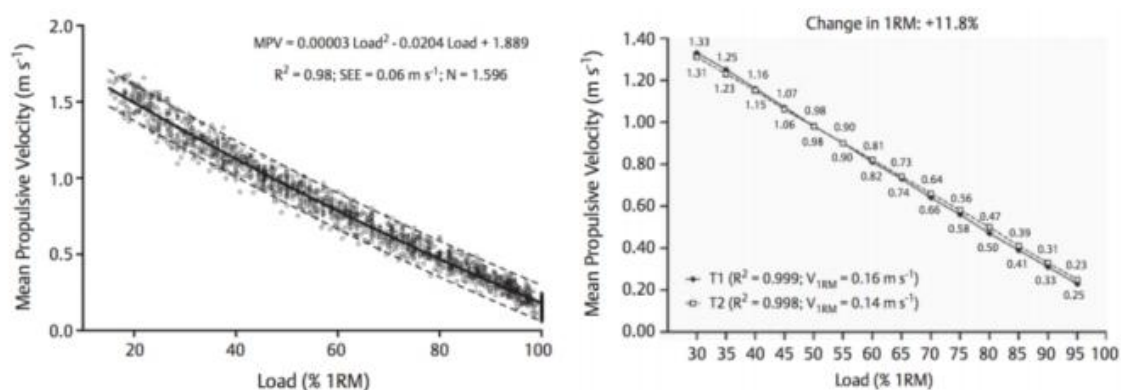


圖 2-2. 負荷-速度迴歸分析圖：左 仰臥推舉負荷-速度迴歸方程式；右 實驗參與者訓練六週前後之仰臥推舉負荷-速度關係 (取自 González-Badillo 與 Sánchez-Medina, 2010)

## 第二節 速度流失的急性反應

前面已提到阻力訓練的向心速度與%1RM 具有高度相關性 (Sánchez-Medina et al., 2017)，可以利用 LVP 得出線性關係，並回推出每個強度 (%1RM) 所需達到的速度以精準調控當下訓練強度。除了可以利用動作速度監控訓練強度之外，後續研究也發展出設定動作速度流失 (velocity loss) 比例做為監控阻力訓練量的方式，而這種使用速度來設計訓練強度、負荷的方法被稱之為速度依循訓練 (velocity-based training, VBT)(Weakley et al., 2020; Weakley et al., 2022)。VBT 其中一個關鍵要素即是使用向心速度 (MPV、MCV) 的流失比例來監控訓練時的外在壓力負荷，舉例來說：該組第一下動作速度為 1.00 m/s，第五下動作速度為 0.60 m/s，則速度流失為 $[1-(0.60/1)]*100\%=40\%$ ，所以若是該組訓練設定速度流失閾值為 40%，則該組做到第五下即停止動作；但若設定速度流失閾值為 45%，則需要再做第六下，直到超過 40%為止。

由於速度流失的比例與運動疲勞相關代謝物之間具有高度相關性，因此被認為可做為監控運動疲勞、避免過度訓練的有效方式 (Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011; Sánchez-Medina et al., 2017)。Sanchez-Medina 與 González-Badillo (2011) 的經典研究指出速度流失可做為神經肌肉疲勞的指標，其探討單次背蹲舉以及仰臥推舉 (bench press) 在不同強度 (70、75、80、85、90%1RM) 做 3 組不同次數 (4-12 下) 之後，探討速度流失與下蹲跳、乳酸以及氨的關係，結果顯示背蹲舉 3 組平均的速度流失與 CMJ 高度下

降比例具有高度正相關 ( $r = 0.92$ )；而背蹲舉 ( $r = 0.97$ ) 與仰臥推舉 ( $r = 0.95$ ) 的速度流失與血乳酸同樣具有高度正相關，且能夠有效預測血氨濃度 (背蹲舉： $R^2 = 0.85$ ；仰臥推舉： $R^2 = 0.89$ )。後續則是有研究探討背蹲舉在不同強度 (50、60、70、80%1RM) 搭配不同速度流失百分比 (10、20、30、45%) 的急性反應，同樣也發現速度流失越高、血乳酸濃度也隨之上升 ( $r = 0.69$ ) (Rodríguez-Rosell et al., 2018)。根據本段落的文獻結果可得知，速度流失是可以用來控制代謝壓力、疲勞的有效指標。

了解阻力運動導致的壓力負荷對於訓練刺激後的生理適應是至關重要的因素，而阻力運動處方有許多變項會影響訓練的急性反應，如：運動類型、訓練強度、反覆次數、組數、休息時間以及動作速度等 (McLeod et al., 2023)。單組訓練的動作次數會依據相對強度 (%1RM) 所對應的最大反覆次數來設計，例如 100%1RM 最多可以進行一次反覆；而 90%1RM 則可以完成 4 次反覆 (圖 2-3, Nuzzo et al., 2023)，然而，這種設計方式大多以固定的反覆次數給予訓練刺激。可以預期的是，在相同的%1RM 強度之下，個體間可以進行的最大反覆次數會存在差異性，相關研究探討了 50 ~ 85%1RM 的仰臥推舉進行至力竭，結果指出個體間可以完成的最大反覆次數的變異係數 (coefficient of variation, CV) 介於 16.8-23.5%，以 65%1RM 為例，實驗參與者平均可以執行 16.2 下，上、下限為 12-22 下；而 85%1RM 平均為 4.9 下，上、下限為 4-8 下 (González-Badillo et al., 2017)，根據前述的研究結果顯示若以固定次數來設計運動處方，個體間承受的相對神經疲勞以及代謝壓力容易被錯估，這可能會影響到短期的生理反應以及長期的訓練效益；值得注意的是，在同一篇文獻中，作者還探討了速度流失比例與反覆次數比例的關係，結果發現不同的相對強度 (50、55、60、65、70%1RM) 在相同的速度流失比例之下，完成的反覆次數比例差異不大；例如：設定速度流失 15% 時，平均可以完成 31.2% 的反覆次數 (範圍：29.8-32.1%， $CV = 2.7$ )，而在其他的速度流失比例 (20-75%) 也觀察到相似的研究結果，而後續的分析也指出速度流失比例與可完成的仰臥推舉次數百分比之間有高度預測力 ( $R^2 = 0.96-0.97$ )。另外，在下肢的阻力訓練動作 (背蹲舉) 也發現到類似的研究結果，Rodríguez-Rosell 等 (2020) 探討 4 種不同強度 (50、60、70、80%1RM) 背蹲舉做到力竭，發現每個強度可完成的最大反覆次數有明顯的個體差異 (50%1RM：15-44。60%1RM：10-31。70%1RM：5-18。80%1RM：4-10。)，但同樣發現速度流失的百分比可以有效預測當下背蹲舉次數的比例 ( $R^2 = 0.93$ )。

綜合此節的文獻結果，可以得知向心速度的流失比例與疲勞產物 (乳酸、氨) 有高度正相關，並且可有效預測阻力訓練的反覆次數百分比。因此若要精準監控訓練刺激，

以速度流失比例取代固定次數的設計，是較為有效率的方法。根據以上的研究證據，顯示 VBT 應用於阻力訓練是可以有效監控疲勞並提升訓練品質的精準方法。

%1RM	Maximal number of repetitions that can be completed
100	1
95	2
93	3
90	4
87	5
85	6
83	7
80	8
77	9
75	10
70	11
67	12
65	15

圖 2-3. 阻力訓練相對強度 – 最大反覆次數關係圖 (取自 Nuzzo et al., 2023)

### 第三節 延遲性增能的影響因素

執行完一回合高強度阻力運動，可以提升隨後的爆發力表現 (如：衝刺、跳躍)，這種現象被稱之為活化後表現提升 (Seitz et al., 2014)。目前對於神經肌肉表現變化的急性影響已經被廣泛地進行研究，在訓練後誘發運動表現上升的持續時間大約介於 3-20 分鐘之間 (Seitz et al., 2014; Tsoukos et al., 2021; Yuan et al., 2023)，雖然能有效在短時間內提升衝刺、跳躍等有利於體育競賽的體能表現，但也限制於其較短的觸發時間，導致在實際應用於賽場上時仍有其困難之處 (Harrison et al., 2019)。目前，已有相關研究證據指出在阻力運動刺激後 3~48 小時可以提升爆發力表現 (肌肉力量、跳躍、衝刺)，這種現象被稱之為延遲性增能效應 (delayed potentiation effect)(Cook et al., 2014; Harrison et al., 2021; Mason et al. 2017; Raastad & Hallén, 2000; Tsoukos et al. 2018)。而延遲性增能的誘發效果是由多重因素調節如：恢復時間的設定、強度、總訓練量、個體差異以及訓練經驗的影響 (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)，而本節接下來將統整各個影響變項。

## 一、恢復時間

根據目前的研究證據，延遲性增能的有效時間範圍大約在運動後 3 小時出現，最長可以持續到 48 小時 (Cook et al., 2014; Mason et al. 2017; Raastad & Hallén, 2000; Tsoukos et al. 2018)。而這種時序變化似乎是呈現雙向模式 (biphasic pattern)，Raastad & Hallén (2000) 的經典研究發現運動表現上升第一高峰大約出現在運動後 3-7 小時，並在 11 小時之後運動表現開始下降，隨後，在 22 小時後觀察到第二次運動表現的提升，並在第 33 小時回復至基準值 (baseline)。基於實務應用層面上，許多運動競賽會安排於下午或是傍晚時段，因此目前相關文獻大多數都會探討運動後 6 小時的延遲性增能效益 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; Kalmus et al., 2021; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)，並建議可以在早晨時段進行，可有助於提升後續的運動能力 (跳躍、衝刺、肌肉力量)，幫助比賽表現。

相關研究證實在背蹲舉 (80-95%1RM) 後 5 分鐘以及 6 小時能夠有效提升 CMJ 以及 DJ 高度 (Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。Cook 等 (2014) 也發現橄欖球員執行完 3 組 × 3 下 (80、90、100% 3RM) 的背蹲舉，在 6 小時後能增加 3RM 背蹲舉力量 (+4.2%)、CMJ 峰值功率 (+3.9%) 並提升 40 公尺衝刺表現。另外，在同一研究團隊的 3 篇相關文獻當中，使用相同的運動處方設計 (2 組 × 80%1RM × 速度流失 20% 的背蹲舉)，在 6 小時後皆發現 CMJ 高度上升 (González-García et al. 2021; González-García et al. 2023; González-García et al. 2023)。Saez Saez de Villarreal 等 (2007) 則提出兩個可能導致延遲性增能的可能生理機轉，第一點，高強度阻力運動會引起運動神經元的高頻率刺激，從而提升了運動神經元的興奮性，這被認為可以改善發力率 (rate of force development) 以及爆發力產生；第二點，動態暖身運動會增加肌肉溫度，這會減少肌肉僵硬度 (stiffness) 並改善力量-速度關係 (force-velocity relationship)。而 Harrison 等 (2019) 則認為 PAPE 與延遲性增能可能有相似的生理機轉，可以增加肌纖維對於鈣離子 (calcium ions,  $Ca^{2+}$ ) 的敏感性。另外，延遲性增能可能與早晨運動導致的賀爾蒙變化有關聯，尤其是游離睪固酮 (free testosterone) 與運動表現已被證實有正相關 (Crewther et al., 2012)，而游離睪固酮在清晨時最為高峰，隨著時間到下午時，濃度也會逐漸下降 (Cook et al., 2014)，而 Cook 等 (2014) 已證實高強度阻力運動可以有效維持 6 小時後的游離睪固酮濃度，同時運動表現 (CMJ 峰值功率、40 公尺衝刺、3RM 背蹲舉) 也有提升的現象，不過此篇作者也提到不清楚游離睪固酮濃度的維持是否為運動表現改善的直接原因，在此篇研究當中無法直接證實之間的因果關係。

另外，相關文獻指出延遲性增能可以持續至運動後 24~48 小時 (Kalmus et al., 2021; Nishioka & Okada, 2022、2023; Raastad & Hallén, 2000; Tsoukos et al. 2018)，這些研究結果可能有助於體能教練、運動選手在賽前 1~2 天的訓練課表安排。如 Raastad & Hallén (2000) 發現執行完 3 組 x 3 下背蹲舉與前蹲舉 (front squat)(大約 65%1RM) + 3 組 x 6 下膝伸展 (knee extensions)(大約 65%1RM)，在 33 小時後可顯著提升 CMJ 高度 (+5%)。而執行完 5 組 x 4 下的負重深蹲跳 (jump squat)(40%1RM)，介入後 24 小時發現 CMJ 高度(+5.1%)、DJ 的 RSI (+10.7%) 上升，而 CMJ 高度 (+ 3.0%) 在 48 小時之後仍顯著高於前測值 (Tsoukos et al. 2018)。而後續 Nishioka & Okada (2022、2023) 使用與 Tsoukos 等 (2018) 同樣的介入方法，在 24 小時後皆能觀察到 CMJ 高度上升。

總結本節相關文獻的研究證據，目前有效誘發下肢延遲性增能之誘發時間為阻力運動後 3~48 小時，而使用低強度、高速度的彈震式阻力訓練似乎有利於 24~48 小時的運動表現；而高強度阻力運動 (> 80%1RM) 則大多發現於 6 小時之後誘發延遲性增能效應。

## 二、阻力運動的訓練量與強度

與誘發 PAPE 效應相似，總訓練量是影響延遲性增能的重要因素 (總訓練量定義為：組數 x 反覆次數 x %1RM = 任意單位 [arbitrary units, AU]) (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)，尤其是過高的總訓練量可能產生高度的代謝壓力以及機械張力，導致運動後急性疲勞以及肌肉損傷進而影響延遲性增能的效果 (McCaulley et al., 2009)。因此，高強度 ( $\geq 80\%1RM$ )、低訓練量阻力運動被認為是有效的延遲性增能處方設計 (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)。統整目前的相關文獻當中，能明顯提升運動表現的總訓練量，大部分介於 480~1190 AU 之間 (表 2-1、2-2。Cook et al., 2014; Fry et al., 1995; González-García et al., 2021; Kalmus et al., 2021; Raastad & Hallén, 2000; Saez Saez de Villarreal et al., 2007; Tsoukos et al., 2018)。需要注意的是，既使總訓練量是其中關鍵因素，但延遲性增能的誘發效果仍會受到恢復時間以及阻力運動模式 (高強度或彈震式阻力運動) 的影響 (Nishioka & Okada, 2023; Saez Saez de Villarreal et al., 2007; Tsoukos et al., 2018)。另外，相關研究證據也已經證實單回合的阻力運動後所產生的疲勞與個體訓練經驗與力量水平有關係，並可能會影響後續延遲性增能的反應 (González-García et al., 2023; Nishioka & Okada, 2022)。

阻力運動的強度設定對於提升運動表現似乎是個重要的決定性因素 (Harrison et al.)，高強度的阻力運動 (> 80%1RM) 被證實能有效引起延遲性增能現象 (Cook et al.,

2014; Fry et al., 1995; González-García et al., 2021; Harrison et al., 2019; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。早期的經典文獻如：Fry 等 (1995) 發現 85%1RM 的爆發窄拉 (clean pulls)、爆發寬拉 (snatch pulls) 可以提升 5.5 小時後垂直跳 (vertical jump)、抓舉 (snatch) 以及挺舉 (clean and jerk) 的表現；Saez Saez de Villarreal 等 (2007) 的研究結果顯示排球運動員執行完 80~95%1RM 的背蹲舉，在訓練後 5 分鐘、6 小時可以提升 CMJ、DJ 的高度；而橄欖球員進行 80、90、100%3RM (大約 75、85、94%1RM) 的背蹲舉以及仰臥推舉，可以觀察到 6 小時後的 3RM 背蹲舉與仰臥推舉、40 公尺衝刺、CMJ 峰值功率皆有進步的現象 (Cook et al., 2014)；González-García 等 (2021) 同樣也發現 80%1RM 的半蹲舉 (half squat) 可提升 6 小時後的 CMJ 高度。

延遲性增能效應需要在疲勞、肌肉損傷以及運動表現的提升之間找到平衡點。因此，控制單組反覆次數以及總訓練量是有效提升運動表現的重要因素 (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)。目前的研究證據就顯示高強度阻力運動 (> 80%1RM) 需搭配低比例的反覆次數才能有效提升 6 小時後的運動表現 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。而這些研究的單組反覆次數設定介於 3~5 次之間，如 Saez Saez de Villarreal (2007) 採用 2 組 x 4 下 x 80% 1RM + 2 組 x 3 下 x 85% 1RM (1150 AU) 的背蹲舉，每組訓練執行了 50% 的反覆次數 (最大反覆次數：80%1RM = 8 下；85%1RM = 6 下；90%1RM = 4 下。Nuzzo et al., 2023)，其餘成功誘發延遲性增能的文獻，單組反覆次數也都僅達到其設計強度的 50%，如：Cook 等 (2014) 設計的 3 組 x 3 下 背蹲舉 (80%, 90%, 100% 3RM) + 3 組 x 3 下 仰臥推舉 (80%, 90%, 100% 3RM) (大約 762 AU)、González-García 等 (2021) 的 2 組 x 80%1RM x 速度流失 20% 半蹲舉 (1352 ± 658 AU)、以及 González-García 等 (2023) 的 2 組 x 80%1RM x 速度流失 20% 平行蹲舉 (大約 480-960 AU)。總結以上的實驗設計，可以發現將單組反覆次數控制在 50% 的同時也可以降低總訓練量，這可能避免誘發過多的疲勞以及機械壓力，才能成功誘發延遲性增能。

相反的，Ekstrand 等 (2013) 讓實驗參與者進行 1 組高強度背蹲舉 (85%1RM) 至力竭 (無法計算總訓練量)，在介入後 4~6 小時後沒有觀察到運動表現提升的現象；而 Raeder 等 (2016) 執行 4 組 x 6 下 x 85%1RM 平行蹲舉 (2040 AU)、Bartolomei 等 (2016) 使用 8 組 x 3 下 x 90%1RM (2160 AU) 以及 10 x 8 x 70%1RM (5600 AU) 的背蹲舉則發現在運動後 0.5~48 小時會損害 CMJ 表現，須注意的是，這些文獻單組進行的反覆次數已達到或是接近最大反覆次數 (Nuzzo et al., 2023)，且總訓練量大部分在 2000 AU 以上，

表示實驗參與者承受了較高的代謝壓力與機械張力，可能導致過高的急性疲勞並產生肌肉損傷進而造成運動表現持續下降。

綜合前面相關文獻的實驗設計，要以高強度 ( $> 80\%1RM$ ) 做為阻力運動的設計處方時，將單組反覆次數控制在最大反覆次數的 50% 以內，並且將總訓練量設計在 480 ~ 1350AU 似乎是有效誘發延遲性增能的處方。

### 三、力量水平對延遲性增能的影響

前面已提到設定高強度 ( $>80\%1RM$ ) 做為延遲性增能的處方時，必須使用低反覆次數 (50%最大反覆次數) 才能避免過度疲勞、產生肌肉損傷，而一般以提升力量、爆發力的阻力訓練處方其總訓練量大約為 3000 ~ 4000 AU (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)。目前有效誘發延遲性增能的高強度阻力運動，其總訓練量僅有 1/3 ~ 1/4，屬於相對較低的訓練總量，其範圍介於 480 ~ 1353 AU (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。然而，González-Badillo 等 (2016) 的總訓練量為 960AU (3 組  $\times$  4 下  $\times$  80% 1RM 背蹲舉)，卻沒有觀察到延遲性增能產生，這可能與實驗參與者的力量水平不同有關聯，尤其是高相對力量 (RSR) 的個體似乎更能夠產生增益的效果 (González-García et al., 2023; Nishioka & Okada, 2022)。統整目前有觀察到延遲性增能的文獻來說，實驗參與者的 RSR 水平普遍較高，如：Saez Saez de Villarreal 等 (2007) RSR 為 2.05 (背蹲舉 1RM = 158.3 公斤/體重 = 76.9 公斤)、Cook 等 (2014) 為 1.93 (背蹲舉 1RM = 168 公斤/體重 = 93.7 公斤)、González-García 等 (2021) 為 1.8 (半蹲舉 1RM = 139 公斤/體重 = 77 公斤) 以及 González-García 等 (2023) 的 1.7 (半蹲舉 1RM = 124 公斤/體重 = 75.3 公斤)；而沒有明顯延遲性增能現象的文獻，所招募的實驗參與者大部分為低 RSR 者，如：González-Badillo 等 (2016) 為 1.43 (背蹲舉 1RM = 108 公斤/體重 = 75.3 公斤)、Raeder 等 (2016) 為 1.5 (背蹲舉 1RM = 114 公斤/體重 = 77.4 公斤)。

而 RSR 影響延遲性增能的潛在生理機制可能與肌纖維組成有關係。人體實驗已經證實肌肉中含有高比例 II 型肌纖維者會有較佳的 PAPE 增益效果 (Hamada et al., 2000)；一般來說，RSR 較高者與阻力訓練經驗豐富的運動員中有較高比例的 IIa 型肌纖維 (Fry et al., 2003)，另外，Chiu 等 (2004) 則觀察到肌凝重鏈蛋白 IIa (myosin heavy chain IIa, MHC IIa) 表達較高者，在一回合高強度阻力運動後 4~6 小時，發力率的恢復速度較快，這或許是高 RSR 者能有效誘發延遲性增能的原因。需注意的是，先前文獻已指出高 RSR 者 (背蹲舉重量  $> 2$  倍體重) 比較起低 RSR 者 (背蹲舉重量  $< 2$  倍體重)，有較佳的

PAPE 效果且持續時間更長 (Seitz et al., 2014)。目前僅一篇文獻探討不同 RSR 水平對延遲性增能的影響 (Nishioka & Okada, 2022)，Nishioka 與 Okada (2022) 將實驗參與者分為高 RSR 組 (2.22)、低 RSR 組 (1.76)，兩組皆執行 5 組 x 4 下 x 40%1RM 背槓跳，僅有高 RSR 組在 24 小時後提升 CMJ 高度 (+3.62%)，另外，RSR 與 24 小時後的 CMJ 高度變化率有顯著正相關 ( $r = 0.612, p = 0.004$ )。然而，González-García 等 (2023) 讓實驗參與者進行 2 組 x 80%1RM x 速度流失 20% 的平行蹲舉，發現 6 小時後 CMJ 的變化率與平行蹲舉 1RM 有顯著正相關 ( $r = 0.47, p = 0.042$ )，且當 1RM > 140 公斤時，CMJ 才有提升的現象，但是此篇研究卻與 RSR 沒有顯著的相關性，需注意的是，此篇研究的實驗參與者 RSR 平均為 1.6，是屬於力量水平相對較弱的個體；另外，14 名實驗參與者當中有 4 名女性，以上兩點可能是導致研究結果不一致的原因。總結此段的文獻探討，可以得知高 RSR 者可能較容易誘發延遲性增能。

#### 第四節 速度依循在延遲性增能的應用

VBT 已廣泛應用於阻力運動之中，主要是利用 LVP 以及監控速度流失比例控制訓練時的強度、訓練量 (Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011; Pareja-Blanco et al., 2019)。根據前述的文獻探討，我們可以知道相同強度 (%1RM) 下，可完成的最大反覆次數具有個體差異 (González-Badillo et al., 2017)，且可以執行的最大重量會隨著每天的狀態不同而上下浮動 (Jovanović & Flanagan, 2014)，而延遲性增能會受到運動後急性疲勞以及肌肉損傷影響，若是以傳統阻力運動的設計方式 (固定強度以及次數)，會容易錯估強度以及訓練量。因此，VBT 被相關領域學者認為是較為精準的方式 (González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Kalmus et al., 2021)。

前述已提到在設計高強度運動的阻力運動時，單組的反覆次數以及總訓練量扮演著舉足輕重的角色。目前設計速度流失比例來控制訓練量的研究，有顯著誘發延遲性增能的速度流失比例為 10% 以及 20% (González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Kalmus et al., 2021)，換算成反覆次數的比例，大約是進行了 36%、50% 的反覆次數 (Rodríguez-Rosell et al., 2020)，這與先前觀察到延遲性增能的實驗設計相似 (Cook et al., 2014; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。值得注意的是，相對力量 (RSR) 以及絕對力量 (1RM) 水平可能影響了相關文獻的研究結果。目前有 4 篇文獻採用了 20% 的速度流失比例，其中僅有 González-García 等 (2021) 在 6 小時有顯著提升 CMJ 高度，其實驗參

與者半蹲舉 RSR 為 1.8 (半蹲舉 1RM = 139 公斤/體重 = 77 公斤)；其餘 3 篇則分別為 Pareja-Blanco 等 (2019) 的 1.46 (半蹲舉 1RM = 111 公斤/體重 = 76 公斤)、González-García 等 (2023) 1.6 (平行蹲舉 1RM = 125 公斤/體重 = 73 公斤) 以及 González-García 等 (2023) 1.7 (平行蹲舉 1RM = 124 公斤/體重 = 75 公斤)，這些文獻納入的實驗參與者除了皆屬於低 RSR 之外 ( $< 1.7$ )，其平均的 1RM 力量皆低於 140 公斤，顯示 20% 的速度流失比例可能不利於相對力量以及絕對力量較低的個體。須注意的是，除了 Pareja-Blanco 等 (2019) 之外，其餘 3 篇文獻的實驗參與者皆納入男性與女性。而先前研究已證實女性具有更好的抗疲勞能力 (Yoon et al., 2007)；另外，相關文獻也指出同樣進行 8 週的阻力訓練，男性使用速度流失 20% 能有效提升爆發力 (Pareja-Blanco et al., 2017)，而女性則是在速度流失 40% 才能觀察到爆發力表現提升 (Rissane et al., 2022)。這些研究證據表明不同性別在相同速度流失比例可能會有相異的生理刺激以及適應。可以想見的是，本段統整的相關文獻可能會因為性別的先天差異，混淆了最終的研究結果。

目前僅有 1 篇研究採用速度流失 10%，Kalmus 等 (2021) 觀察到青少年籃球員 (16 歲) 在執行完 4 組 x 5 下 x 70%1RM x 速度流失 10% 的平行蹲舉、槓鈴臀推，CMJ 表現在運動後 6、24 小時皆有提升。然而，研究證據已指出青少年在進行阻力運動時的恢復以及抗疲勞能力皆優於成年人 (Tibana et al., 2012)，Kalmus 等 (2021) 的結果並無法直接應用於成年人上。總結目前的文獻，研究結果可能受到性別、生理成熟狀態的因素所干擾，執行高強度阻力運動時搭配 10~20% 速度流失控制對於延遲性增能的效應仍須進一步嚴謹的實驗設計來驗證。另外，目前以 VBT 做為實驗設計之研究，其實驗參與者 RSR 介於 1.46 ~ 1.8，對於高 RSR 者 ( $> 2$ ) 在不同速度流失比例 (10%、20%) 控制下的延遲性增能效果仍不清楚。

## 第五節 本章總結

根據以上的文獻整理以及分析可以得出以下結論：

- 一、動作速度 (MCV、MPV) 是能穩定推估阻力訓練的相對強度 (%1RM)，且不受個體的力量水平、性別所影響，皆呈現出高度線性關係以及預測力 ( $R^2 > 0.94$ )。
- 二、速度流失比例與疲勞產物 (乳酸、氨) 呈現高度正相關，且與阻力訓練單組完成的反覆次數百分比之間具有高度預測力。
- 三、高強度 (> 80%1RM)、低訓練量 (單組反覆次數設定 50%內、總訓練量 450 ~ 1190AU 之間) 阻力運動能有效提升 6 小時後的運動表現。
- 四、速度流失比例控制在 10~20%似乎可以有效誘發延遲性增能，但是研究結果可能受到性別、成熟程度的影響。因此，仍需要將性別、成熟程度獨立出來進行探討。
- 五、大部分研究並沒有將速度依循與傳統阻力運動設計做比較。因此，以速度依循阻力運動的設計處方是否有較佳的延遲性增能效應仍需要進一步研究釐清。
- 六、使用速度依循方式設計的相關研究中，所招募的實驗參與者，皆屬於低力量水平者 ( $RSR < 2$ )。高力量水平者 ( $RSR > 2$ ) 的延遲性增能效果目前仍不清楚。



表 2-1. 阻力運動的延遲性增能效應

作者 (年分)	實驗參與者 N (男) : N (女)	訓練經驗、年齡、體重、力量水平	實驗介入 組 x 次數 x 強度 (總訓練量)	後測時間點	結果
Fry et al. (1995)	19 : 0	國家級舉重選手 (17.3 ± 1.9 歲, 72.8 ± 14.1 公斤)。 背蹲舉 1RM = 163.7 (2.2 倍體重)	5 x 3 x 85% 窄拉 (clean pulls) + 3 x 3 x 85% 寬拉 (snatch pulls) (2040 AU)	5.5 小時	有反應者 (N=6) : CMJ 高度 ↑ (+4.5%) 無反應者 (N=13) : CMJ 高度 N.S. (-1.5%)
Raastad & Hallén (2000)	10 : 0	8 舉重選手、1 標槍選手、1 溜冰選手, 27.5 ± 1.4 歲、84.5 ± 4.2 kg)。 背蹲舉 1RM = 169 ± 3 kg (2.15 倍體重)	3 x 3 x 100% 3RM 背蹲舉、前蹲舉 + 3 x 6 100% 6RM 膝伸展 (2367 AU) 3 x 3 x 70% 3RM 背蹲舉、前蹲舉 + 3 x 6 x 76% 6RM 膝伸展 (1755 AU)	15 分 3、7、11、22、26、30、33 小時	15 分 : CMJ 高度 ↓ (-12%) 11、22 小時 : CMJ 高度 ↓ 33 小時 : CMJ 高度 ↑ (+5%)
Saez Saez de Villarreal et al. (2007)	12 : 0	排球選手 (22.8 ± 2.6 歲、76.9 ± 8.0 kg) 背蹲舉 1RM = 158.3 ± 24.8 kg (2.05 倍體重)	3 x 5 x 30-40% 1RM 背槓跳 (450-600 AU) 2 x 4 x 80% 1RM 背蹲舉 + 2 x 3 x 85% 1RM 背蹲舉 (1150 AU) 2 x 4 x 80% 1RM 背蹲舉 + 2 x 2 x 90% 1RM 背蹲舉 + 2 x 1 x 95% 1RM 背蹲舉 (1190 AU) 3 x 5 x 30% 1RM 背蹲舉 (450 AU)	5 分、6 小時	5 分 : CMJ 高度 ↑ (+4%)、DJ 高度 ↑ (+4.18%) 6 小時 : DJ 高度 ↑ 5 分 : CMJ 高度 ↑ (+5.01%)、DJ 高度 ↑ (+2.98%) 6 小時 : DJ 高度 ↑ 5 分 : CMJ 高度 ↑ (+4.59%)、DJ 高度 ↑ (+5.47%) 6 小時 : DJ 高度 ↑ 5 分 : N.S. 6 小時 : N.S.
Ekstrand et al. (2013)	8 : 6	標槍選手 (20.7 ± 2.5 歲、95.1 ± 26.9 kg)	1 x 85% 1RM 背蹲舉至力竭、1 x 100% 4RM 爆發上擲 (總訓練量無法計算)	4-6 小時	4-6 小時 : BOST ↑ (+2.6%)
Cook et al. (2014)	18 : 0	橄欖球選手 (22 ± 1 歲, 93.7 ± 8.3 公斤)。 背蹲舉 3RM = 168 kg (1.93 倍體重)	3 × 3 背蹲舉 (80%, 90%, 100% 3RM)、3 × 3 仰臥推舉 (80%, 90%, 100% 3RM) (762 AU)	6 小時	6 小時 : CMJ 峰值功率 ↑ (+3.9%)、3RM 背蹲舉 ↑ (+4.2%)、40 公尺衝刺 ↑ (+1.3%)
González-Badillo et al. (2016)	9 : 0	有規律阻力訓練經驗 (23.3 ± 3.9 歲, 75.3 ± 9.2 公斤)。 1RM 背蹲舉 = 108.7 kg (1.43 倍體重)。 1RM 仰臥推舉 = 88.4 kg (1.17 倍體重)	3 × 4 × 80% 1RM 背蹲舉 + 3 × 4 × 80% 1RM 仰臥推舉 (上/下肢皆 960 AU) 3 × 8 × 80% 1RM 背蹲舉 + 3 × 8 × 80% 1RM 仰臥推舉 (上下肢皆 1920 AU)	6、24、48 小時	6、24、48 小時 : CMJ 高度 (N.S.) 6 小時 : CMJ 高度 ↓ (-8.5%) 24 小時 : CMJ 高度 ↓ (-6.1%) 48 小時 : CMJ 高度 ↓ (-4.4%)

Howatson et al. (2016)	6 : 4	男性菁英田徑運動員 (28.0 ± 2 歲, 81.2 ± 12.5 公斤) 1RM 背蹲舉 = 190 kg (2.3 倍體重) 女性菁英田徑運動員 (26 ± 5 歲, 60 ± 3.7 公斤) 1RM 背蹲舉 = 107.5 kg (1.8 倍體重)	4 × 5 背蹲舉、4 × 5 分腿蹲、4 × 5 借力推、30% 1RM、RPE 16-17/20 (無法計算)	24 小時	24 小時 : CMJ 高度 (+3.4%)	N.S.
Russell et al. (2016)	15 : 0	菁英橄欖球員 (24 ± 3 歲, 98.2 ± 8.3 公斤)	5 x 10 x 75%1RM 仰臥推舉 (3750)	5 小時	5 小時 : CMJ 高度 (N.S.)	
Raeder et al. (2016)	15 : 0	專項運動員 (足球、手球與網球) 23.1 ± 1.9 歲, 77.4 ± 8 公斤。平行蹲舉 1RM = 114 公斤 (1.5 倍體重)	4 x 6 x 85%1RM 平行蹲舉 (2040 AU)	30 分 24、48 小時	30 分 : CMJ 高度 ↓ (-13.3%) 24 小時 : CMJ 高度 ↓ (-6.3%) 48 小時 : CMJ 高度 ↓ (-5.3%)	
Bartolomei et al. (2016)	12 : 0	有規律阻力訓練 (24.5 ± 4.2 歲, 82.3 ± 8.4 公斤) 1RM 背蹲舉 = 173.4 公斤 (2.1 倍體重)	8 x 3 x 90%1RM 背蹲舉 (2160 AU) 10 x 8 x 70%1RM 背蹲舉 (5600 AU)	30 分 24、48 小時	30 分 : CMJ power ↓ (-5.5%) 30 分 : CMJ power ↓ (-15.9%) 24 小時 : CMJ power ↓ (-9.6%) 48 小時 : CMJ power ↓ (-7.8%)	
Mason et al. (2017)	13 : 0	國家級橄欖球員 (18.5 ± 0.5 歲, 98.2 ± 16.9 公斤)	4 x 3 空槓 (20 kg) + 彈力帶 (46.8 kg) 背蹲舉 4 x 3 空槓 (20 kg) + 彈力帶 (46.8 kg) 仰臥推舉	1.75 小時	1.75 小時 : CMJ power、CMJ 峰值速度、CMJ 峰值力量 (N.S.)	
Tsoukos et al. (2018)	17 : 0	國家級爆發項目、團體運動員 (22.7 ± 5.5 歲, 80.7 ± 8.6 公斤) 半蹲舉 1RM = 163 公斤 (2.01 倍體重)	5 x 4 x 40%1RM 下蹲跳 (800 AU)	24、48 小時	24 小時 : CMJ 高度 ↑ (+5.1%)、DJ RSI ↑ (+10.7) 48 小時 : CMJ 高度 ↑ (+3.0%)	
Harrison et al. (2021)	15 : 0	有阻力訓練經驗 (23.8 ± 3.6 歲, 83.9 ± 10.2 公斤) 半蹲舉 1RM = 139 kg (1.66 倍體重)	高強度組 : 1 x 3 x 67%1RM + 1 x 3 x 77%1RM + 2 x 2 x 87%1RM (780 AU) 中強度組 : 4 x 3 x 65%1RM (780 AU)	8、24、32 小時	8 小時 : SJ 高度 ↑ (+4.5%) 32 小時 : CMJ 高度 ↑ (+6.1%)、SJ 高度 ↑ (+6.5%)	

Nishioka & Okada (2022)	20 : 0	有阻力訓練經驗 (22.4 ± 1.5 歲, 71.3 ± 7.4 公斤)。 半蹲舉 1RM = 142.5 公斤 (1.99 倍體重)	高力量水平組 (半蹲舉 1RM 2.22 倍體重[1.93-2.67]) 5 x 4 x 40%1RM 下蹲跳 (800 AU) 低力量水平組 (半蹲舉 1RM 1.76 倍體重[1.37-1.92]) 5 x 4 x 40%1RM 下蹲跳 (800 AU)	24 小時	24 小時:CMJ 高度↑(+3.62%) 24 小時:CMJ 高度 (N.S.)
Nishioka & Okada (2023)	10 : 0	有阻力訓練經驗 (21.9 ± 1.8 歲, 69.6 ± 7.4 公斤)。 半蹲舉 1RM = 149 kg (2.14 倍體重)	5 x 4 x 40%1RM 背槓跳 (800 AU) 1 x 2 x 60%1RM + 3 x 2 x 85%1RM 半蹲舉 (630AU)	24 小時	24 小時:CMJ 高度↑(+3.62%) 24 小時:CMJ 高度 (N.S.)
Harrison et al. (2024)	15 : 0	有阻力訓練經驗 (24.9 ± 2.9 歲, 80.7 ± 7.0 公斤), 背蹲舉 1RM = 130kg (1.6 倍體重)	4 x 3 x 20%1RM 背槓跳 (240AU) 4 x 3 秒 x 100%1RM 等長背蹲舉	3、27 小時	3、27 小時:CMJ 高度 (N.S.) 3、27 小時:CMJ 高度 (N.S.)

↑ = 表示有顯著提升, ↓ = 表示顯著下降, N.S. = 未達統計顯著 (not significant), AU = 隨意單位 (arbitrary unit), BOST = 藥球越頭投擲 (Backward overhead shot throw), CMJ = 下蹲跳 (countermovement jump), DJ = 落下跳 (drop jump), RSI = 反應肌力指數 (reactive strength index), SJ = 深蹲跳 (squat jump), 1RM = 最大反覆次數 (one repetition maximum)。

表 2-2. 速度依循阻力運動後的延遲性增能效應

作者 (年分)	實驗參與者 N (男): N (女)	訓練經驗、年齡、體重、力量水平	實驗介入 組 x 次數 x 強度 (總訓練量)	後測時間點	結果
Pareja-Blanco et al. (2019)	15 : 0	有阻力訓練經驗 (23.6 ± 3.6 歲, 76.2 ± 10.9 公斤)。 全蹲舉 1RM = 111.4 公斤 (1.46 倍體重)	3 x 60%1RM x 速度流失 20% (大約 1278 AU) 3 x 60%1RM x 速度流失 40% (大約 2160 AU) 3 x 80%1RM x 速度流失 20% (大約 768 AU) 3 x 80%1RM x 速度流失 40% (大約 1296 AU)	6、24、48 小時	6 小時: CMJ 高度 ↓ (-7.8%) 24 小時: CMJ 高度 ↓ (-6.9%) 6 小時: CMJ 高度 ↓ (-8.1%) 24 小時: CMJ 高度 ↓ (-7.1%) 6 小時: CMJ 高度 N.S. (-4.5%) 24 小時: CMJ 高度 N.S. (-4.5%) 6 小時: CMJ 高度 N.S. (-3.5%) 24 小時: CMJ 高度 N.S. (-3.6%)
González-García et al. (2021)	10 : 1	有阻力訓練經驗 (24.6 ± 4.1 歲, 77 ± 8.9 公斤)。 半蹲舉 1RM = 139 公斤 (1.8 倍體重)	2 x 60.9 ± 5.8%1RM x 速度流失 20% 半蹲舉 (2111 ± 617AU) 2 x 80%1RM x 速度流失 20% 半蹲舉 (大約 728 AU)	6 小時	6 小時: CMJ 高度 (N.S.) 6 小時: CMJ 高度 ↑ (+6.5%)
Kalmus et al. (2021)	10 : 0	青少年籃球員 (16 ± 0.5 歲, 79 ± 16 公斤)。 背蹲舉 1RM = 123 公斤 (1.55 倍體重)。 仰臥推舉 1RM = 70 公斤 (0.87 倍體重)。 臀推 1RM = 177 公斤 (2.21 倍體重)	4 x 5 x 70%1RM x 速度流失 10%。背蹲舉、仰臥推舉、槓鈴臀推。 下肢: 70%1RM x 40 = 2800 (AU) 上肢: 70%1RM x 20 = 1400 (AU) 2 x 10 x 70%1RM。背蹲舉、仰臥推舉、槓鈴臀推。 下肢: 70%1RM x 40 = 2800 (AU) 上肢: 70%1RM x 20 = 1400 (AU)	6、24 小時	6 小時: CMJ 高度 ↑ (+6.7%), 有反應者 n = 7 24 小時: CMJ 高度 ↑ (+2.0%), 有反應者 n = 2 6 小時: CMJ 高度 ↑ (+2.4%), 有反應者 n = 2 24 小時: CMJ 高度 N.S. (-2.4%)
González-García et al. (2023)	10 : 4	(24.9 ± 3.7 歲, 73.2 ± 13.4 公斤)。 平行蹲舉 1RM = 125 公斤 (1.6 倍體重)	2 x 80%1RM x 速度流失 20% 平行蹲舉 (大約 480-960 AU)	6 小時	6 小時: CMJ 高度 ↑, 有反應者 n = 4
González-García et al. (2023)	9 : 2	有阻力訓練經驗 (25.0 ± 4.7 歲, 75.3 ± 8.9 公斤)。 半蹲舉 1RM = 124 公斤 (1.7 ± 0.1 倍體重)	2 x 80%1RM x 速度流失 20% 半蹲舉 (大約 740 AU)	6 小時	6 小時: CMJ 高度 ↑, 有反應者 n = 4

↑ = 表示有顯著提升, ↓ = 表示顯著下降, N.S. = 未達統計顯著 (not significant), AU = 隨意單位 (arbitrary unit), CMJ = 下蹲跳 (countermovement jump), 1RM = 最大反覆次數 (one repetition maximum)

# 第參章 研究方法與步驟

## 第一節 實驗參與者

本研究收取樣本數依據 González-García 等 (2021) 的研究結果，CMJ 高度在介入後 6 小時效果量 (effect size,  $ES = 0.537$ ) 並設定  $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.8$  以及相關係數  $r = 0.5$ ，使用 G-Power 軟體 (G-Power software, v.3.1.9.7) 計算出至少需要 8 名實驗參與者，考慮到可能中途退出的風險，最終預計招募 9 名實驗參與者。

根據上述的計算以及說明，本研究招募 9 名有規律阻力訓練之年輕男性 (年齡：18-30 歲)，實驗參與者相對力量水平 (RSR) 須達到 2 以上，RSR 設定 2 倍做為分際線的原因，先前研究指出背蹲舉可達 2 倍以上者，有較好的運動後增益效果 (Seitez et al., 2016)。實驗參與者納入條件及排除條件如下說明。

### 一、實驗參與者納入條件：

- (一) 須具有 1 年以上規律阻力訓練 (每週 2 次)，且過去半年有進行背蹲舉訓練 (每週 1 次)。
- (二) 能進行自由重量背蹲舉動作。
- (三) 背蹲舉可達體重 2 倍重量。

### 二、實驗參與者排除條件：

- (一) 過去半年有下肢重大傷害、手術，且嚴重影響動作實施。
- (二) 有酗酒及抽菸者。
- (三) 有服用運動增補品者 (如：肌酸)。

實驗正式開始前，先給予「研究對象須知及參與同意書」，並向實驗參與者說明本研究目的、實驗步驟、實驗中須配合事項與可能產生的風險，研究對象若無疑問且同意參與本研究，再請研究對象簽署同意書，成為本研究合格對象

## 第二節 實驗設計

本研究採取隨機、重複測量設計 (repeated-measures design) 探討在不同阻力運動後對於垂直跳表現的影響。實驗參與者皆須進行 4 次實驗介入，實驗順序使用隨機方式決定。4 次阻力運動皆使用高強度背蹲舉 (80%1RM) 做為延遲性增能的誘發方式，其中包括 2 種不同速度流失比例之阻力運動：速度流失 10%組 (velocity loss of 10%, VL10)、20%組 (velocity loss of 20%, VL20)；以及 2 種不同訓練量之傳統阻力運動：低量阻力運動組 (low volume resistance exercise, L-RE) 以及中量阻力運動組 (moderate volume resistance exercise, M-RE)，每次的實驗介入至少需間隔 72 小時以上，在實驗期間，實驗參與者被禁止參與激烈的身體活動。在實驗前 24 小時禁止攝取含有酒精以及咖啡因的飲品及食物。實驗介入當天 (早上訓練結束至 6 小時後測之間)，實驗參與者可自由離開實驗室覓食，而每次的介入必須在相同時間點攝取相似的營養成分以及液體攝入量。本研究運動表現測驗項目包含：下蹲跳 (CMJ)、深蹲跳 (SJ)，所有垂直跳測驗皆在阻力運動介入前 (pre) 以及介入後 6 小時 (post-6h) 進行。所有阻力運動皆在同一間實驗室進行，溫度控制在 20~22°C、濕度介於 20~60%，實驗介入皆在早上 8~10 點之間完成，為了避免晝夜節律影響運動表現，同一名實驗參與者被要求在每次實驗皆必須於相同時間點進行介入。

## 第三節 實驗地點

實驗地點：國立臺灣師範大學公館校區運動生理學以及運動生物力學實驗室。

## 第四節 實驗流程圖

本計畫的實驗流程圖如下：

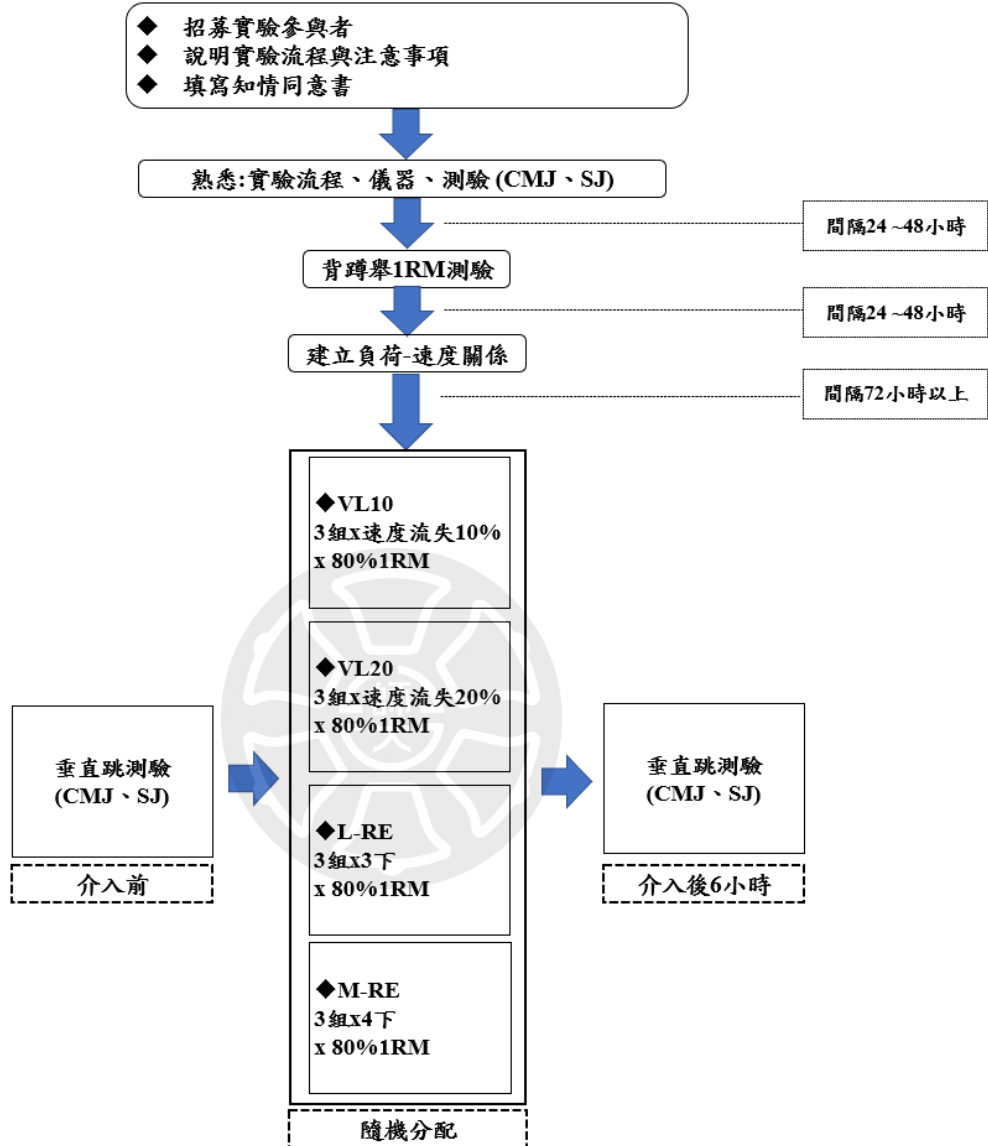


圖 3-1. 實驗流程圖

## 第五節 實驗方法與步驟

### 一、實驗熟悉期

所有實驗參與者在進行正式實驗前，皆需要進行 1 次實驗熟悉期、1 次背蹲舉 1RM 測驗以及 1 次負荷-速度關係建立。實驗參與者第一次到實驗室後，被告知本研究目的、實驗步驟、實驗中須配合事項與可能產生的風險，實驗參與者若無疑問且同意參與本研究，再行簽署同意書。隨後，測量身高、體重並記錄年齡，並進行 CMJ、SJ 測驗。第二、三次到實驗室則分別測驗背蹲舉 1RM 重量、負荷-速度關係。每次造訪實驗室的時間皆間隔 24~48 小時。

### 二、背蹲舉 1RM 測量以及建立 LVP

本研究背蹲舉使用自由重量並以平行蹲動作進行，全程使用 20 公斤槓鈴以及線性位移感測器 (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) 進行測驗，而線性位移感測器每次皆黏貼於槓鈴中心點右方 65 公分處，以避免出現誤差現象。在正式測驗前，實驗參與者皆須進行固定的暖身動作：1) 5 分鐘腳踏車 (強度：60W)、2) 5 分鐘下肢動態暖身。而本研究 1RM 測驗則是參考 Weekley 等 (2022) 的建議執行，實驗參與者依序進行預估 1RM 的 20% (3 下)、40% (3 下)、60% (3 下)、80% (1 下) 以及 90% (1 下) 的重量，每組之間休息 2 分鐘。隨後，進行 1RM 測驗，若實驗參與者測驗成功，則下次測驗增加 0.5-2.5 公斤的重量，取最後一次成功的重量做為 1RM，最大重量測試應在 5 次之內完成，最大重量測量之間休息 3 分鐘，在整個測驗過程中，實驗人員口頭鼓勵實驗參與者”盡全力、盡最快速度”。

在 1RM 測驗後 24~48 小時，實驗參與者將進行一次遞增負荷測驗以確立負荷-速度關係，將根據先前 1RM 測驗得出的重量，依序進行 1RM 20% (3 下)、40% (3 下)、60% (3 下)、80% (1 下) 以及 90% (1 下) 的測驗，而不收取最大重量的速度的原因在於，先前研究結果指出 1RM 20-90% 所得出的平均速度 (MCV) 才具有足夠的信效度 (Banyard et al., 2018)。測驗期間都會以線性位移感測器收取向心階段的 MCV 用以建立負荷-速度關係，1RM20%、40%、60% 取 3 下裡面速度最快的一次做為數據分析。



圖 3-2. 線性位移感測器

### 三、阻力運動介入

在負荷-速度關係測驗結束後 1 週進行正式實驗介入，每次運動介入須間隔 72 小時以上，介入順序以隨機方式分配。而在每次介入前 48 小時禁止進行任何運動與激烈身體活動、前 12 小時禁止攝取咖啡因、酒精以及任何運動增補品。而 5 種介入順序以隨機方式進行，介入方式如下說明：

- (一) 速度流失 10%組 (VL10)：進行 3 組 x 80%1RM 背蹲舉。每組進行到 MCV 下降 10%即停止。
- (二) 低量阻力運動組 (L-RE)：進行 3 組 x 3 下 x 80%1RM 背蹲舉。每組反覆次數根據速度流失 10%約等於進行最大反覆次數  $36\% \times 80\%1RM$  最大反覆次數  $(8) = 0.36 \times 8 \approx 3$ 。
- (三) 速度流失 20%組 (VL20)：進行 3 組 x 80%1RM 背蹲舉。每組進行到 MCV 下降 20%即停止。
- (四) 中量阻力運動組 (M-RE)：進行 3 組 x 4 下 x 80%1RM 背蹲舉。每組反覆次數根據速度流失 20%約等於進行最大反覆次數  $50\% \times 80\%1RM$  最大反覆次數  $(8) = 0.5 \times 8 = 4$ 。



圖 3-3. 背蹲舉示意圖。左：起始動作；右：結束動作 (大腿平行地面)

每次運動介入前皆進行一般暖身 (5 分鐘腳踏車+5 分鐘下肢動態伸展)，一般暖身結束後 3 分鐘依照平衡次序 (Counter balance order) 進行垂直跳表現測驗 (CMJ、SJ)，每個跳躍測驗之間間隔 3 分鐘；每個跳躍測驗皆進行 3 次嘗試，每次嘗試之間休息 45 秒。VL10 組、VL20 組、L-RE 組以及 M-RE 組在垂直跳表現測驗完畢 4 分鐘後，進行專項熱身 (8 下 50%1RM、6 下 60%1RM、4 下 70%1RM 背蹲舉，每組間隔 2 分鐘 [Pareja-Blanco et al., 2017])，在專項熱身完 4 分鐘後即進行阻力運動介入。阻力運動介入完 6 小時後測驗垂直跳表現。

4 種阻力運動的組間休息設定為 3 分鐘。L-RE 組、M-RE 組、VL10 組以及 VL20 組皆進行 3 組背蹲舉，但為了實驗參與者每次皆保持在相同的強度下訓練，所做的重量會根據前測得來的負荷-速度關係進行調整，例如 80%1RM 對應的 MCV 為 0.55 m/s，若當組第一下速度與目標速度誤差達到  $\pm 0.06$  m/s (0.49-0.61m/s)，則馬上停止該組訓練，並  $\pm 2.5 \sim 5\%$  的 1RM 重量使速度能回復到 %1RM 所對應的速度 (Weekley et al., 2022)，在停止後約 30 ~ 60 秒再重新執行該組訓練。在訓練期間，所有實驗參與者都會接收到口頭鼓勵”盡全力並盡最快速度”，且每下的背蹲舉都會得到平均速度的回饋以確保實驗參與者盡最大努力 (Pareja-Blanco et al., 2017)。而每次的阻力運動介入時，皆會收取動作速度資料，並從中分析速度流失比例、最快速度、最慢速度以及平均速度。

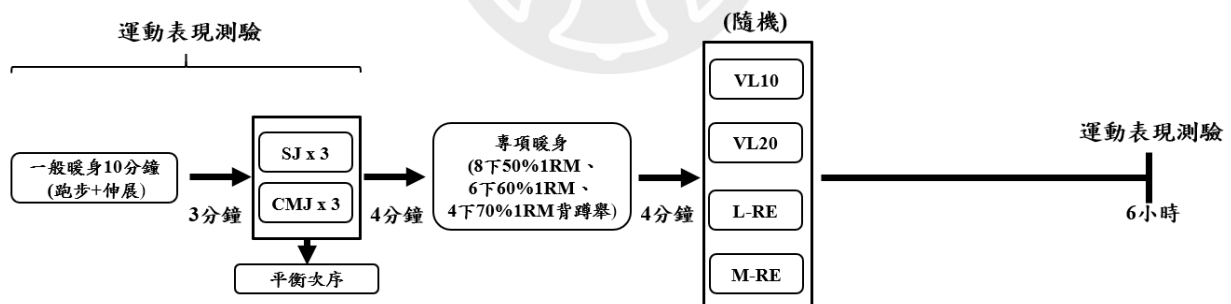


圖 3-4. 實驗介入流程圖。CMJ = 下蹲跳；SJ = 深蹲跳；L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10%組；VL20 = 速度流失 20%組

## 第六節 依變項測驗

### 一、CMJ 測驗

在進行 CMJ 時，實驗參與者站立於 Kistler 測力板 ((Type: 9260AA6: 60x50 cm<sup>2</sup>, Switzerland, 擷取頻率：1000 Hz)，身體呈現直立動作、雙手叉腰以避免手臂出現擺動的現象。聽到實驗人員的口令後以最快速度下蹲至自覺最合適的膝關節角度，並以最快速、最大力量垂直向上跳躍，測驗時避免向前或往後跳躍，落地時雙腳皆須落在測力板上。所有實驗參與者皆須進行 3 次測驗，每次測驗間隔 30 秒，以表現最佳當次 (跳躍高度) 做為後續統計分析數據 (Tsoukos et al., 2018)。並從中分析出修正反應肌力 (reactive strength index modified, RSI<sub>mod</sub>)、發力率 (rate of force development)。並分析向心以及離心階段的峰值力量 (peak force)、峰值速度 (peak velocity)、峰值功率 (peak power) 以及衝量 (impulse)。

### 二、SJ 測驗

首先，實驗參與者站立於測力板上，在測驗開始球被要求蹲至膝關節角度 90° 位置 (誤差範圍  $\pm 5^\circ$ )，大約維持 2 秒後，聽到口令以最快速、最大力向上跳起，在跳躍時須避免任何預先下蹲的情況出現，若有預先下蹲、身體歪斜或踩踏出力板之情況，則須重新測驗一次。所有實驗參與者皆須進行 3 次測驗，每次測驗間隔 30 秒，以表現最佳當次 (跳躍高度) 做為後續統計分析數據。並從中分析出發力率 (RFD)、峰值力量、峰值速度、峰值功率以及衝量。

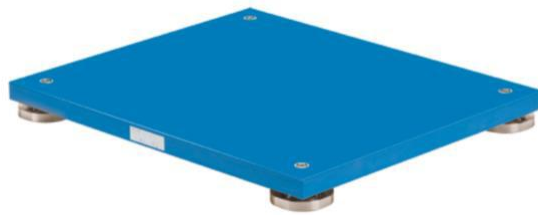


圖 3-5. Kistler 測力板

### 四、垂直跳數據分析

Kistler 測力板可收取垂直跳動作過程中的垂直對地反作用力，使用 Kistler 測力板之套裝軟體 BioWare 輸出垂直對地反作用力之數據至 (Excell Microsoft Office 2019, Redmond, USA)，並加以分析出以下數據 (Shyam Chavda et al., 2018)：

## 一、跳躍高度 (jump height, JH)

JH(單位:m) 可以直接代表下肢爆發力的表現,而計算方式是利用跳躍中的騰空時間來計算,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,公式為 $\frac{1}{2}g(\frac{t}{2})^2$ ,其中 t 為騰空時間(單位:s),g 為重力加速度(單位:9.81 m/s<sup>2</sup>)(Moir, 2008)。

## 二、發力率 (RFD)

RFD(單位:N/s) 為在跳躍動作中擷取單位時間內力量的變化值(地面反作用力 [vertical ground reaction force, VGRF] 與時間序列的斜率值),計算公式為 $\Delta VGRF/\Delta t$ 。在 CMJ 的測驗當中,RFD 的計算是從力量回復至體重(c 點)至離心階段結束(d)的斜率;在 SJ 的部分,RFD 是計算從 a 點後 VGRF 變化超過 10N 至垂直地面反作用力峰值(peak of vertical ground reaction force, PVGRF)的斜率(圖 3-6)。

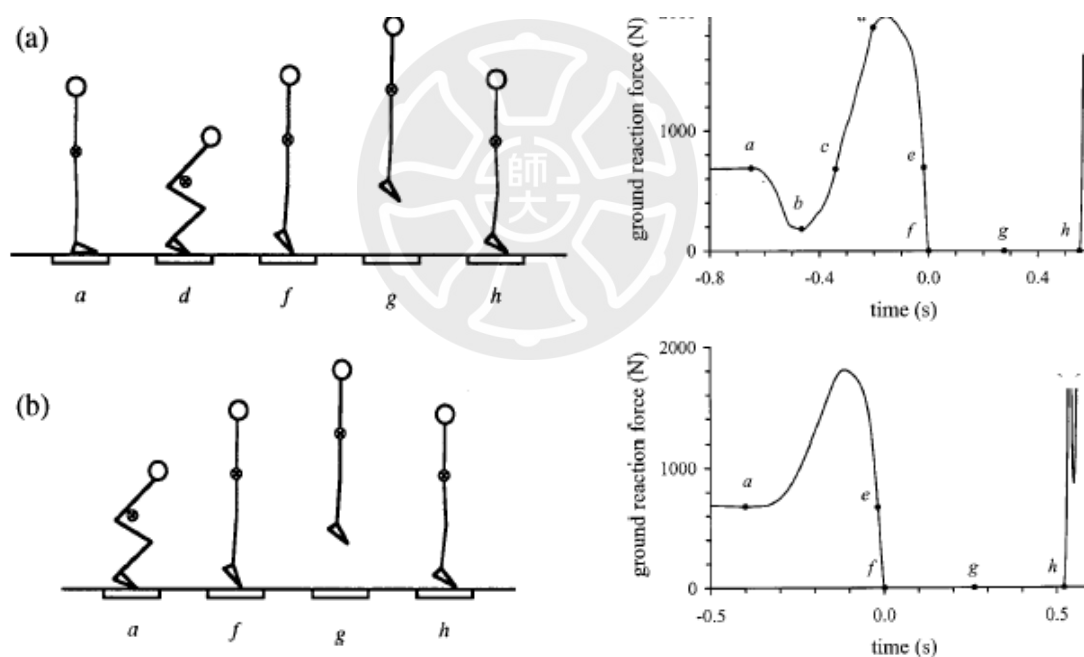


圖 3-6. 下蹲跳與深蹲跳之垂直地面反作用力與時間序列圖 (取自 Linthorne, 2011)

## 三、峰值力量 (peak force)

跳躍過程中垂直對地作用力的最大值。

## 四、峰值速度 (peak velocity)

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,而峰值速度即為跳躍過程中速度的最大值。

### 五、峰值功率 (peak power)

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，跳躍過程中功率輸出最大值。而峰值功率即為跳躍過程中輸出最大值。

### 六、衝量 (impulse)

跳躍衝量 (單位：N·s) 主要是計算在跳躍的過程中 VGRF 與時間序列下的面積，但需扣除體重的作用才，而公式為  $\int_{t_2}^{t_1} (F_{VGRF} - mg) dt$ ，其中  $t_1$  為 VGRF 扣除體重後大於 10N 時的時間點，而  $t_2$  為 VGRF 扣除體重後小於 10N 時的時間點 (Linthorne, 2001)。過去文獻就指出 NVI 與 CMJ 的跳躍高度呈現高度正相關 ( $R^2$  分別為 0.922 和 0.934)，所以可以透過 NVI 來代表下肢爆發力的指標。

### 七、CMJ 之修正反應肌力指標 (RSImod)

CMJ 之 RSImod 計算公式為跳躍高度/動作時間 (圖 3-7)。

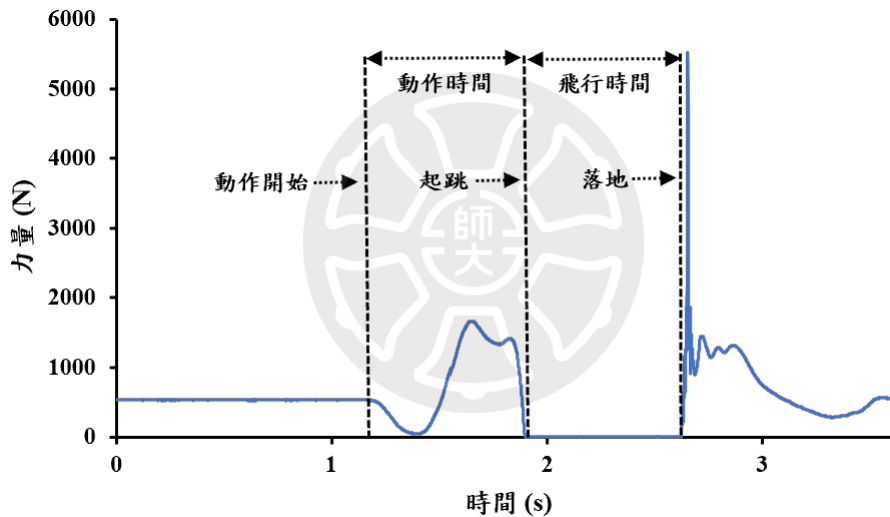
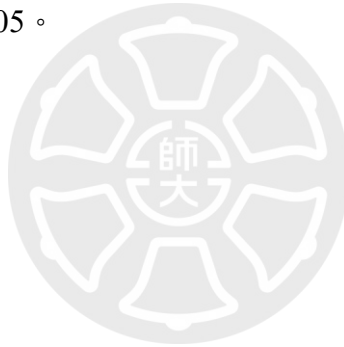


圖 3-7. 下蹲跳動作時間序列圖 (取自實驗數據)

## 第七節 統計分析

本研究使用 SPSS 23.0 版本統計軟體進行分析。

- 一、描述性統計數據結果以平均數  $\pm$  標準差表示。
- 二、單因子相依樣本 ANOVA (one-way repeated design ANOVA) 比較背蹲舉訓練參數 (訓練重量、總反覆次數以及總訓練量) 以及速度參數 (平均速度、最快速度、最慢速度以及速度流失) 的差異。若出現顯著差異，進一步使用 Bonferroni method 進行事後比較。
- 三、二因子相依樣本 ANOVA (two-way repeated design ANOVA) 考驗處理因子 (4)  $\times$  時間因子 (2) 的差異。若交互作用出現顯著差異，進一步使用 Bonferroni method 進行事後比較。
- 四、效果量 (effect sizes, ES) 使用 Cohen's d 比較介入前、後的差異。根據 Cohen (1988) 文獻記載，ES 可定義為小 ( $d=0.2$ )、中 ( $d=0.5$ )、大 ( $d=0.8$ ) 效果量。
- 五、信心水準設定為  $\alpha = .05$ 。



## 第肆章 結果

### 第一節 實驗參與者基本資料與負荷-速度關係

#### 一、實驗參與者基本資料

本研究 9 名自願參與且背蹲舉 1RM 為體重 2 倍以上的健康年輕男性做為本實驗參與者。實驗參與者基本資料如表 4-1 所示，數據以平均數 ± 標準差呈現。

表 4-1. 實驗參與者基本資料 (n = 9)

項目	(平均數 ± 標準差)
年齡 (yrs)	24.8 ± 3.5
身高 (cm)	174.64 ± 3.75
體重 (kg)	73.28 ± 5.57
背蹲舉 1RM (kg)	150.00 ± 11.40
1RM/體重	2.07 ± 0.08

註：1RM = 最大反覆次數。



## 二、實驗參與者背蹲舉之負荷-速度關係

本研究 LVP 係以 20%、40%、60%、80%以及 90%背蹲舉 1RM 所對應之平均向心速度得出一元線性迴歸方程式,9 名實驗參與者 LVP 之決定係數 ( $R^2$ ) 介於.97-.99 之間,每位參與者之迴歸方程式以及決定係數如表 4-2 表示。

表 4-2. 實驗參與者之負荷-速度關係

編號	LVP	決定係數 ( $R^2$ )
1	$MCV = -0.0118 \times \%1RM + 1.5043$	.98
2	$MCV = -0.0109 \times \%1RM + 1.4698$	.99
3	$MCV = -0.0126 \times \%1RM + 1.6369$	.99
4	$MCV = -0.01 \times \%1RM + 1.4633$	.99
5	$MCV = -0.0116 \times \%1RM + 1.5588$	.99
6	$MCV = -0.0141 \times \%1RM + 1.7735$	.99
7	$MCV = -0.0114 \times \%1RM + 1.598$	.98
8	$MCV = -0.0119 \times \%1RM + 1.4781$	.98
9	$MCV = -0.0105 \times \%1RM + 1.3535$	.97

註： LVP = 負荷-速度關係；MCV = 平均向心速度；%1RM = 1RM 相對強度。



## 第二節 背蹲舉之訓練參數

### 一、背蹲舉訓練重量、反覆次數與總訓練量

實驗過程中各組背蹲舉的訓練重量、反覆次數與總訓練量如表 4-3 所示。經由單因子相依樣本變異數分析，結果顯示各組的平均訓練重量無顯著差異 ( $F=0.532, p=.665, \eta^2=.056$ )。在總計反覆次數的比較方面，統計結果指出各組有顯著差異 ( $F=16.977, p<.001, \eta^2=.654$ )，事後比較顯示 L-RE 組明顯低於 M-RE 組 ( $p=.019$ )、VL20 組 ( $p<.001$ )；而 M-RE 組 ( $p=.005$ )、VL10 組 ( $p<.001$ ) 顯著少於 VL20 組。在訓練量的總計方面，統計分析指出有顯著差異 ( $F=16.977, p<.001, \eta^2=.654$ )，進行事後比較發現 L-RE 組顯著低於 M-RE 組 ( $p=.019$ )、VL20 組 ( $p<.001$ )；而 M-RE 組 ( $p=.005$ )、VL10 組 ( $p<.001$ ) 顯著少於 VL20 組。

表 4-3. 各組在背蹲舉過程中之訓練重量、反覆次數與總訓練量 (n=9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
訓練重量 (kg)				
第一組	117.6 ± 10.0	116.5 ± 10.0	115.4 ± 12.1	116.9 ± 7.4
第二組	117.6 ± 10.7	116.3 ± 10.6	117.7 ± 9.6	115.9 ± 6.6
第三組	116.2 ± 9.8	115.0 ± 10.2	117.5 ± 9.6	113.6 ± 6.0
平均	117.1 ± 10.0	115.9 ± 10.1	116.9 ± 10.3	115.5 ± 6.4
反覆次數 (reps)				
第一組	3	4	4.0 ± 0.6	5.3 ± 1.5
第二組	3	4	3.7 ± 1.6	4.8 ± 1.1
第三組	3	4	3.6 ± 0.9	5.4 ± 1.1
總計	9 <sup>M·20</sup>	12 <sup>L·20</sup>	11.3 ± 2.7 <sup>20</sup>	15.5 ± 3.3 <sup>L·M·10</sup>
總訓練量 (AU)				
第一組	240	320	320.0 ± 50.6	424.0 ± 118.9
第二組	240	320	296.0 ± 124.2	384.0 ± 86.2
第三組	240	320	288.0 ± 73.3	432.0 ± 89.1
總計	720 <sup>M·20</sup>	960 <sup>L·20</sup>	904.0 ± 214.8 <sup>20</sup>	1240.0 ± 265.9 <sup>L·M·10</sup>

註：AU = 任意單位；L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10% 組；VL20 = 速度流失 20% 組；<sup>L</sup> = 與 L-RE 組有顯著差異；<sup>M</sup> = 與 M-RE 組有顯著差異；<sup>10</sup> = 與 VL10 組有顯著差異；<sup>20</sup> = 與 VL20 組有顯著差異。

## 二、背蹲舉速度資料

實驗過程中各組背蹲舉所執行之速度參數如表 4-4 所示。經過單因子 ANOVA 分析後，結果顯示各組的平均速度有顯著差異 ( $F = 4.678, p = .009, \eta^2 = .346$ )，事後比較顯示 L-RE 組 ( $p = .013$ )、M-RE 組 ( $p = .031$ ) 顯著高於 VL20 組。單因子變異數分析後，各組的最快速度沒有明顯差異 ( $F = 0.316, p = .814, \eta^2 = .034$ )。最慢速度方面，結果顯示各組有明顯差別 ( $F = 26.398, p < .001, \eta^2 = .746$ )，事後比較顯示 L-RE 組顯著優於 VL10 組 ( $p = .003$ )、VL20 組 ( $p < .001$ )，M-RE 組 ( $p < .001$ )、VL10 組 ( $p < .001$ ) 顯著優於 VL20 組。各組的速度流失經過統計分析後發現有顯著差異 ( $F = 41.796, p < .001, \eta^2 = .823$ )，事後比較結果指出 L-RE 組速度流失明顯少於 VL10 組 ( $p < .001$ ) 以及 VL20 組 ( $p < .001$ )，M-RE 組同樣明顯低於 VL10 組 ( $p = .049$ ) 以及 VL20 組 ( $p < .001$ )，而 VL10 組與 VL20 組之間也發現到有顯著差異 ( $p < .001$ )。

表 4-4. 背蹲舉之速度參數 (n=9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
平均速度 (m/s)				
第一組	0.59 ± 0.06	0.58 ± 0.06	0.59 ± 0.04	0.55 ± 0.07
第二組	0.57 ± 0.08	0.56 ± 0.06	0.56 ± 0.05	0.54 ± 0.07
第三組	0.58 ± 0.07	0.58 ± 0.06	0.55 ± 0.09	0.53 ± 0.07
平均	0.58 ± 0.07 <sup>20</sup>	0.57 ± 0.05 <sup>20</sup>	0.57 ± 0.06	0.54 ± 0.06 <sup>L·M</sup>
最快速度 (m/s)				
第一組	0.61 ± 0.06	0.60 ± 0.06	0.63 ± 0.04	0.61 ± 0.07
第二組	0.60 ± 0.06	0.61 ± 0.07	0.59 ± 0.06	0.60 ± 0.07
第三組	0.61 ± 0.06	0.61 ± 0.05	0.59 ± 0.09	0.59 ± 0.07
平均	0.60 ± 0.06	0.61 ± 0.06	0.60 ± 0.06	0.60 ± 0.06
最慢速度 (m/s)				
第一組	0.58 ± 0.06	0.55 ± 0.07	0.55 ± 0.06	0.47 ± 0.07
第二組	0.56 ± 0.08	0.53 ± 0.07	0.52 ± 0.05	0.46 ± 0.06
第三組	0.57 ± 0.08	0.56 ± 0.06	0.49 ± 0.10	0.44 ± 0.09
平均	0.57 ± 0.07 <sup>10·20</sup>	0.55 ± 0.06 <sup>20</sup>	0.52 ± 0.06 <sup>L·20</sup>	0.46 ± 0.06 <sup>L·M·10</sup>
速度流失 (%)				
第一組	3.8 ± 3.5	7.7 ± 6.8	11.9 ± 4.0	22.8 ± 3.6
第二組	5.5 ± 5.3	11.8 ± 6.5	12.5 ± 5.0	22.1 ± 6.2
第三組	6.4 ± 7.1	9.2 ± 6.6	18.7 ± 6.8	24.6 ± 11.6
平均	5.2 ± 4.2 <sup>10·20</sup>	9.5 ± 5.0 <sup>10·20</sup>	14.3 ± 3.1 <sup>L·M·20</sup>	23.2 ± 5.5 <sup>L·M·10</sup>

註：L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10%組；VL20 = 速度流失 20%組；<sup>L</sup>=與 L-RE 組有顯著差異；<sup>M</sup>=與 M-RE 組有顯著差異；<sup>10</sup>=與 VL10 組有顯著差異；<sup>20</sup>=與 VL20 組有顯著差異。

### 第三節 不同阻力運動對 CMJ 之影響

#### 一、CMJ 表現參數之影響

如表 4-5 所呈現，本研究使用二因子相依樣本變異數分析比較處理因子 (L-RE、M-RE、VL10、VL20) 以及時間因子 (前測、介入後 6 小時) 對 CMJ 表現參數的影響。

統計結果指出 CMJ 跳躍高度有顯著交互作用 ( $F = 3.070, p = .047, \eta^2 = .277$ )。經過事後比較發現，M-RE 組在介入後 6 小時的跳躍高度提升 5.6% ( $p = .002$ )，其餘組別在介入後則沒有明顯變化。

儘管 RSImod 在時間因子方面沒有顯著差異 ( $F = 0.007, p = .936, \eta^2 = .001$ )，但結果指出處理因子 ( $F = 4.019, p = .019, \eta^2 = .334$ ) 以及交互作用 ( $F = 4.353, p = .014, \eta^2 = .352$ ) 有達到顯著水準。經過事後比較發現僅 M-RE 組在訓練後有顯著變化 (+9.05%,  $p = .011$ )。而 M-RE 組以及 VL20 組在介入後 6 小時具有組間差異 ( $p = .034$ )。

發力率部分，在交互作用 ( $F = 0.430, p = .733, \eta^2 = .041$ )、處理因子 ( $F = 0.429, p = .733, \eta^2 = .041$ ) 沒有觀察到顯著水準，而時間因子 ( $F = 5.454, p = .042, \eta^2 = .353$ ) 有顯著差異。

表 4-5. 不同實驗處理對 CMJ 表現之影響 (n = 9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
高度 (cm)				
前測	44.4 ± 4.3	44.4 ± 3.7	44.5 ± 3.8	44.8 ± 3.8
介入後 6 小時	45.1 ± 3.9	46.2 ± 3.2*	45.8 ± 4.5	43.8 ± 2.2
Δ (%)	1.06 ± 5.61	5.60 ± 3.17	3.24 ± 9.2	-2.31 ± 5.94
ES	0.08	0.649	0.323	-0.385
RSImod (m/s)				
前測	0.569 ± 0.061	0.573 ± 0.051	0.590 ± 0.063	0.569 ± 0.086
介入後 6 小時	0.587 ± 0.083	0.624 ± 0.073* <sup>20</sup>	0.626 ± 0.096	0.565 ± 0.061 <sup>M</sup>
Δ (%)	3.06 ± 8.99	9.05 ± 8.1	6.00 ± 10.51	0.077 ± 9.51
ES	0.245	0.815	0.441	-0.063
發力率 (N/s)				
前測	5869.4 ± 2686.1	6135.2 ± 2436.9	6078.1 ± 3028.7	5729.4 ± 3482.6
介入後 6 小時	6799.7 ± 3133.1	6872.7 ± 3177.8	6310.0 ± 3197.9	6279.6 ± 2979.4
Δ (%)	11.45 ± 14.3	11.83 ± 40.43	20.3 ± 66.5	23.62 ± 46.12
ES	0.320	0.260	0.167	0.170

註：CON = 控制組；L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10%組；VL20 = 速度流失 20%組；RSImod = 修正反應肌力指數；ES = 效果量；Δ = 前測與測驗後 6 小時之變化量百分比；\* = 與測驗前有顯著差異。<sup>M</sup> = 與 M-RE 組有顯著差異；<sup>20</sup> = 與 VL20 組有顯著差異。

## 二、不同實驗處理對 CMJ 向心階段參數之影響

如表 4-6 所呈現，統計分析結果顯示，向心峰值力量在交互作用 ( $F=0.549, p=.654, \eta p^2=.064$ ) 與時間因子 ( $F=2.493, p=.153, \eta p^2=.238$ ) 皆未達統計顯著水準；但處理因子則觀察到顯著差異 ( $F=3.858, p=.022, \eta p^2=.325$ )。

二因子變異數分析結果指出向心峰值速度達顯著交互作用 ( $F=3.145, p=.044, \eta p^2=.282$ )。事後比較顯示僅 M-RE 組在介入後 6 小時有明顯變化 (+2.48%,  $p<.0001$ )，

在向心峰值功率方面，二因子分析結果顯示無顯著交互作用 ( $F=2.464, p=.087, \eta p^2=.235$ )。進一步主要效果分析顯示，處理因子未達顯著水準 ( $F=0.942, p=.436, \eta p^2=.105$ )；而時間因子則達顯著差異 ( $F=9.793, p=.014, \eta p^2=.550$ )，事後比較發現 M-RE 組 (+4.47%,  $p=.022$ ) 與 VL10 組 (+4.77%,  $p=.008$ ) 峰值功率皆有顯著提升。

最後，二因子分析顯示向心衝量未觀察到處理因子達顯著水準 ( $F=0.044, p=.987, \eta p^2=.005$ )。交互作用 ( $F=2.569, p=.078, \eta p^2=.243$ ) 以及時間因子 ( $F=4.804, p=.060, \eta p^2=.375$ ) 則達邊緣顯著。

表 4-6. 不同實驗處理對 CMJ 向心階段之影響 (n=9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
向心峰值力量 (N)				
測驗前	1952.0 ± 207.3	1901.9 ± 170.0	1975.8 ± 184.6	1970.5 ± 209.4
測驗後 6 小時	2016.0 ± 215.5	1966.1 ± 174.4	2018.9 ± 154.9	1969.9 ± 221.7
Δ (%)	3.36 ± 5.14	3.41 ± 2.98	2.39 ± 4.23	0.14 ± 6.65
ES	0.303	0.373	0.253	-0.003
向心峰值速度 (m/s)				
測驗前	3.07 ± 0.15	3.06 ± 0.12	3.08 ± 0.11	3.09 ± 0.12
測驗後 6 小時	3.08 ± 0.12	3.13 ± 0.11*	3.12 ± 0.4	3.05 ± 0.07
Δ (%)	0.33 ± 2.58	2.48 ± 1.2	1.43 ± 4.1	-1.08 ± 2.69
ES	0.061	0.622	0.329	-0.344
向心峰值功率 (W)				
測驗前	4711.9 ± 533.0	4697.1 ± 508.0	4668.3 ± 603.0	4708.4 ± 515.1
測驗後 6 小時	4722.5 ± 476.1	4883.3 ± 482.6*	4921.9 ± 560.2*	4898.1 ± 594.0
Δ (%)	2.92 ± 3.73	4.47 ± 2.81	4.77 ± 5.71	0.15 ± 4.55
ES	0.243	0.329	0.386	0.007
向心衝量 (N·s)				
測驗前	227.23 ± 26.36	226.18 ± 26.42	227.20 ± 24.89	229.72 ± 26.61
測驗後 6 小時	229.70 ± 26.48	232.18 ± 24.46	231.35 ± 22.14	228.02 ± 25.94
Δ (%)	0.86 ± 2.56	2.69 ± 1.58	2.22 ± 4.01	-0.4 ± 2.98
ES	0.071	0.232	0.200	-0.038

註：CON = 控制組；L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10% 組；VL20 = 速度流失 20% 組；ES = 效果量；Δ = 前測與測驗後 6 小時之變化量百分比；\* = 與測驗前有顯著差異。

### 三、不同實驗處理對 CMJ 離心階段參數之影響

如表 4-7 所呈現，本研究使用二因子相依樣本變異數分析比較處理因子 (L-RE、M-RE、VL10、VL20) 以及時間因子 (前測、介入後 6 小時) 對 CMJ 離心階段參數的影響。

統計結果顯示離心峰值力量 ( $F = 1.569, p = .223, \eta^2 = .164$ )、離心峰值速度 ( $F = 0.250, p = .861, \eta^2 = .030$ )、離心峰值功率 ( $F = 0.297, p = .828, \eta^2 = .036$ ) 以及離心衝量 ( $F = 0.165, p = .919, \eta^2 = .020$ ) 皆沒有交互作用存在。

後續進行主要效果比較，結果顯示在時間因子方面，離心峰值速度 ( $F = 0.089, p = .773, \eta^2 = .011$ )、離心峰值功率 ( $F = 0.361, p = .564, \eta^2 = .043$ ) 以及離心衝量 ( $F = 0.007, p = .934, \eta^2 = .001$ ) 以及離心峰值力量 ( $F = 1.324, p = .283, \eta^2 = .142$ ) 沒有觀察到顯著差異。

在處理因子的主要效果方面，離心峰值力量 ( $F = 0.703, p = .559, \eta^2 = .081$ )、離心峰值速度 ( $F = 0.096, p = .962, \eta^2 = .012$ )、離心衝量 ( $F = 0.137, p = .937, \eta^2 = .017$ ) 以及離心峰值功率 ( $F = 1.647, p = .0205, \eta^2 = .171$ ) 同樣沒有觀察到顯著差異。

表 4-7. 不同實驗處理對 CMJ 離心階段之影響 (n=9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
離心峰值力量 (N)				
測驗前	1899.1 ± 259.8	1834.4 ± 200.6	1890.6 ± 220.0	1900.4 ± 284.5
測驗後 6 小時	1953.7 ± 299.8	1916.4 ± 209.4	1890.8 ± 192.6	1877.0 ± 248.9
Δ (%)	2.74 ± 6.5	4.56 ± 5.08	0.29 ± 6.79	-0.65 ± 7.91
ES	0.193	0.399	-0.002	-0.084
離心峰值速度 (s)				
測驗前	1.54 ± 0.26	1.52 ± 0.24	1.53 ± 0.25	1.55 ± 0.32
測驗後 6 小時	1.55 ± 0.30	1.52 ± 0.24	1.53 ± 0.20	1.52 ± 0.23
Δ (%)	0.30 ± 4.93	0.24 ± 7.3	0.58 ± 10.14	-1.00 ± 10.363
ES	0.035	0.013	-0.016	-0.124
離心峰值功率 (W)				
測驗前	1702.3 ± 437.6	1684.0 ± 372.5	1698.5 ± 435.0	1672.6 ± 471.3
測驗後 6 小時	1732.7 ± 491.8	1708.7 ± 406.8	1727.1 ± 359.6	1596.0 ± 334.6
Δ (%)	1.42 ± 10.21	4.10 ± 14.58	4.87 ± 18.06	1.82 ± 19.30
ES	0.072	0.143	0.089	-0.064
離心衝量 (N·s)				
測驗前	109.71 ± 21.69	108.67 ± 17.06	109.61 ± 20.54	111.43 ± 22.49
測驗後 6 小時	110.71 ± 23.75	110.09 ± 18.76	108.97 ± 18.02	109.09 ± 17.49
Δ (%)	0.39 ± 4.90	1.03 ± 6.77	0.15 ± 10.33	0.35 ± 9.4
ES	0.031	0.063	-0.038	-0.033

註：CON = 控制組；L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10%組；VL20 = 速度流失 20%組；ES = 效果量；Δ = 前測與測驗後 6 小時之變化量百分比

#### 第四節 不同阻力運動對 SJ 之影響

如表 4-8 所呈現，本研究使用二因子相依樣本變異數分析比較處理因子 (L-RE、M-RE、VL10、VL20) 以及時間因子 (前測、介入後 6 小時) 對 SJ 表現的影響。

二因子變異數分析後，SJ 的跳躍高度 ( $F=0.977, p=.420, \eta^2=.109$ ) 沒有交互作用存在。主要效果分析顯示處理因子 ( $F=0.667, p=.581, \eta^2=.077$ ) 沒有達顯著水準；而時間因子則發現有達顯著 ( $F=6.984, p=.030, \eta^2=.466$ )，事後比較顯示僅 M-RE 組在介入後 6 小時有顯著變化 ( $p=.005$ )。

而發力率在交互作用 ( $F=0.453, p=.718, \eta^2=.054$ )、處理因子 ( $F=0.200, p=.895, \eta^2=.024$ ) 皆沒有發現到顯著水平；時間因子則有顯著 ( $F=5.470, p=.047, \eta^2=.406$ )。

峰值力量方面，交互作用 ( $F=0.451, p=.719, \eta^2=.053$ ) 以及處理因子 ( $F=0.480, p=.699, \eta^2=.057$ ) 皆未觀察到顯著差異。而時間因子有達到顯著水平 ( $F=6.407, p=.035, \eta^2=.445$ )。事後比較顯示 L-RE 組在介入後 6 小時有顯著提升 ( $p=.042$ )。

二因子變異數結果顯示峰值速度沒有交互作用存在 ( $F=0.891, p=.460, \eta^2=.100$ )，而處理因子同樣未達顯著水準 ( $F=6.23, p=.607, \eta^2=.072$ )。而時間因子有觀察到顯著差異 ( $F=7.578, p=.025, \eta^2=.486$ )，事後比較顯示 M-RE 組在介入後 6 小時有顯著變化 ( $p=.005$ )。

峰值功率同樣在交互作用 ( $F=0.530, p=.666, \eta^2=.062$ ) 以及處理因子 ( $F=.924, p=.444, \eta^2=.103$ ) 沒有顯著差異。時間因子有達到顯著水準 ( $F=8.739, p=.018, \eta^2=.522$ )，事後比較顯示 M-RE 組介入後 6 小時有顯著變化 ( $p=.0004$ )。

衡量 ( $F=0.755, p=.530, \eta^2=.086$ ) 沒有顯著交互作用存在。主要效果方面，處理因子 ( $F=0.116, p=.950, \eta^2=.014$ ) 未達顯著水準；而時間因子 ( $F=12.437, p=.008, \eta^2=.609$ ) 有發現到明顯差別，事後比較發現 M-RE 組在訓練後 6 小時顯著提升 ( $p=.0006$ )。

表 4-8. 不同實驗處理對 SJ 之影響 (n = 9)

	L-RE	M-RE	VL10	VL20
<b>跳躍高度 (cm)</b>				
測驗前	39.1 ± 0.05	38.62 ± 0.04	39.9 ± 0.04	38.7 ± 0.03
測驗後 6 小時	39.9 ± 0.04	40.93 ± 0.03*	40.7 ± 0.03	39.0 ± 0.03
Δ (%)	2.55 ± 6.29	6.38 ± 5.47	0.84 ± 10.94	1.16 ± 7.84
ES	0.175	0.545	0.018	0.088
<b>發力率 (N/s)</b>				
測驗前	4658.7 ± 1247.4	4897.9 ± 1519.2	5006.6 ± 1784.6	4971.5 ± 2035.9
測驗後 6 小時	5678.2 ± 2731.4	5669.0 ± 2376.4	5352.0 ± 1879.4	5797.3 ± 3176.3
Δ (%)	17.74 ± 29.75	15.16 ± 26.69	8.98 ± 26.18	12.92 ± 18.49
ES	0.480	0.387	0.189	0.310
<b>峰值力量 (N)</b>				
測驗前	1984.1 ± 206.3	2027.8 ± 221.2	1988.4 ± 216.6	2001.8 ± 216.3
測驗後 6 小時	2045.3 ± 242.6*	2052.7 ± 198.6	2055.3 ± 264.9	2033.1 ± 242.6
Δ (%)	2.97 ± 3.65	1.42 ± 3.12	3.36 ± 7.02	1.55 ± 3.90
ES	0.272	0.123	0.278	0.140
<b>峰值速度 (s)</b>				
測驗前	2.89 ± 0.17	2.87 ± 0.16	2.87 ± 0.14	2.87 ± 0.13
測驗後 6 小時	2.91 ± 0.15	2.95 ± 0.13*	2.88 ± 0.13	2.88 ± 0.12
Δ (%)	1.07 ± 2.83	2.86 ± 2.36	0.44 ± 4.80	0.44 ± 3.53
ES	0.175	0.543	0.068	0.083
<b>峰值功率 (W)</b>				
測驗前	4659.6 ± 638.8	4585.2 ± 667.9	4725.6 ± 655.6	4643.9 ± 609.4
測驗後 6 小時	4783.1 ± 646.1	4783.5 ± 605.1*	4822.5 ± 643.5	4707.8 ± 572.7
Δ (%)	2.74 ± 4.18	4.57 ± 2.71	2.36 ± 8.75	1.55 ± 4.64
ES	0.193	0.311	0.149	0.107
<b>衝量 (N·s)</b>				
測驗前	205.24 ± 28.81	202.71 ± 29.70	204.91 ± 27.89	204.81 ± 27.77
測驗後 6 小時	208.77 ± 28.79	209.64 ± 27.77*	206.52 ± 23.40	207.12 ± 27.38
Δ (%)	1.78 ± 2.83	3.39 ± 2.15	1.13 ± 5.29	1.21 ± 3.91
ES	0.123	0.226	0.063	0.084

註： L-RE = 低量阻力運動組；M-RE = 中量阻力運動組；VL10 = 速度流失 10%組；VL20 = 速度流失 20%組；ES = 效果量；Δ = 前測與測驗後 6 小時之變化量百分比；\* = 與測驗前有顯著差異。

## 第五章 討論

### 第一節 負荷-速度關係與背蹲舉訓練參數

本研究主要目的為比較傳統阻力訓練與 VBT 方式對延遲性增能的影響，為確保各組於實驗當天皆在相同的訓練強度下 (80% 1RM) 進行介入，實驗前透過 1RM 與 LVP 測驗獲取每位參與者在 20、40、60、80、90%1RM 所對應之動作速度 (MCV)，並進一步透過一元線性迴歸計算出個人的 80%1RM 之目標速度，作為背蹲舉介入時的負荷依據，確保達到實驗所需之強度負荷。先前研究使用背蹲舉的 LVP 決定係數 ( $R^2$ ) 為.96 (Conceicao et al., 2016)；本研究採用自由重量執行背蹲舉，其 LVP 決定係數範圍落於.97-.99 之間，顯示本研究之 LVP 同樣具有良好的預測能力，能有效依據實驗當天的 MCV 調整負荷重量，確保訓練強度控制精準。

由於先前文獻指出個體 1RM 的日間變動幅度可達 18% (Jovanović & Flanagan, 2014)，因此本研究中的傳統阻力訓練組 (L-RE、M-RE) 亦採用 LVP 方式於實驗當天調整訓練強度，以確保參與者能在最佳狀態下進行訓練。根據表 4-3 的結果，4 組實驗處理的訓練重量並無顯著差異 (L-RE：117.1 ± 10.0 公斤；M-RE：115.9 ± 10.1 公斤；VL10：116.9 ± 10.3 公斤；L-RE：115.5 ± 6.4 公斤)，且各組於背蹲舉的最快速度皆介於 0.60~0.61m/s 之間 (表 4-4)，顯示參與者每次實驗時的訓練狀態穩定，未受日間波動所影響。

延遲性增能同時受到訓練所誘發的增益效應及疲勞累積的影響；當增益效應超過疲勞累積時，即可能觀察到運動表現的提升，反之則可能導致運動表現下降。除了訓練強度之外，先前文獻亦指出單組動作的反覆次數可能是影響延遲性增能的重要因素之一 (Harrison et al., 2019)。因此，本研究設計了固定反覆次數的傳統阻力訓練組 (L-RE 組每組 3 次，M-RE 組每組 4 次) 以及透過速度流失比例來控制訓練量的組別 (VL10 組設定 MCV 下降 10%時停止，VL20 組設定 MCV 下降 20%時停止)。先前研究指出，個體能夠完成的最大反覆次數之變異係數極大 (16.8-23.5%。González-Badillo et al., 2017)，此現象容易導致訓練量與生理壓力的誤估。而透過速度流失比例可有效預測實際反覆次數，例如在 80% 1RM、速度流失 20%的情況下，可完成約 51.6%的最大反覆次數 ( $R^2=0.93$ ；Rodríguez-Rosell et al., 2020)。本研究的 VL10 組平均每組完成 3.8 次，範圍為 2 至 5 次；

VL20 組則為 5.2 次，範圍 3 至 7 次，由此顯示，本研究透過設定速度流失比例，控制參與者間反覆次數的個體差異。

## 第二節 速度依循訓練與傳統阻力訓練對垂直跳之影響

本研究主要目的為探討高相對力量水平 ( $RSR > 2$ ) 個體進行高強度阻力運動介入後 6 小時，對於垂直跳表現 (CMJ、SJ) 的延遲性增能效應。在本研究當中，比較了傳統阻力訓練 (L-RE、M-RE 組) 以及速度依循訓練 (VL10、VL20 組) 不同處方設計的效果差異。

在 CMJ 的運動表現指標方面 (跳躍高度、RSImod、發力率)，M-RE 組於介入後 6 小時顯著提升了跳躍高度 (+5.6%) 與修正反應力量指數 (RSImod; +9.05%)。本研究亦進一步分析阻力訓練介入對 CMJ 向心及離心階段參數的影響，結果顯示 M-RE 組改善了向心峰值速度 (+2.48%) 及向心峰值功率 (+4.47%)，而 VL10 組也觀察到向心峰值功率有明顯提升 (+4.77%)。相較之下，各組在離心階段的參數均未有顯著變化，顯示本研究採用的阻力訓練處方對向心與離心階段的刺激效果有所差異。在 SJ 表現方面，M-RE 組於介入後 6 小時顯著改善跳躍高度 (+6.38%)、峰值速度 (+2.86%)、峰值功率 (+4.57%) 以及衝量 (+3.39%)，而 L-RE、VL10 及 VL20 組皆未觀察到顯著改善的現象。綜合以上結果可知，M-RE 組相較於其他三個訓練介入組，更能有效提升 CMJ 與 SJ 的運動表現。

本研究的主要目的為比較不同阻力訓練設計對於延遲性增能的效應，與原先研究假設 (M-RE 組、VL20 組會提升運動表現) 不同的是，僅有 M-RE 組的垂直跳表現在介入後 6 小時明顯改善。須注意的是，總訓練量是運動表現能否提升的重要因素 (總訓練量計算方式：組數  $\times$  反覆次數  $\times$  %1RM = 任意單位 [arbitrary units, AU]) (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)，過高的總訓練量可能產生較大的代謝壓力與肌肉損傷，導致急性疲勞並降低肌肉力量與爆發力，這種疲勞可能持續至訓練後 6 至 48 小時 (Bartolomei et al., 2016; Ekstrand et al., 2013; McCaulley et al., 2009; Raeder et al., 2016)。相反地，較低的訓練量通常能促進較快的恢復甚至引發超補償 (Supercompensation) 效應，提升後續運動表現 (Harrison et al., 2019; Holmberg et al., 2023)。已有數篇文獻探討高強度、低訓練量的阻力訓練對提升運動表現的效果 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; González-García et al., 2023; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。例如，Saez

Saez de Villarreal 等 (2007) 讓排球員進行總訓練量為 1150 AU 的背蹲舉; Cook 等 (2014) 則讓橄欖球員執行約 762 AU 的背蹲與仰臥推舉, 這些研究皆觀察到介入後 6 小時垂直跳表現明顯提升; 而 Raeder 等 (2016) 執行 2040 AU 的平行蹲舉、Bartolomei 等 (2016) 則使用 2160 AU、5600 AU 的背蹲舉, 發現在運動後 0.5~48 小時會損害 CMJ 表現。此外, 在 Harrison 等 (2019) 的綜評性回顧建議高強度 (>80%1RM) 阻力訓練適合的總反覆次數為 9-14 下、總訓練量介於 760-1190 AU 之間。本研究 M-RE 組總反覆次數為 12 次、總訓練量 960 AU, VL20 組則為  $15.5 \pm 3.3$  次、 $1240.0 \pm 265.9$  AU, 後者的較高訓練量可能導致更明顯的疲勞, 抵銷延遲性增能效果。另一方面, L-RE 組的總訓練量 (720 AU) 雖接近建議下限, 但亦未能產生有效的延遲性增能, 顯示此訓練量可能仍不足以刺激本研究對象產生明顯的增益。

根據相關文獻證據, 延遲性增能效果通常出現於運動後 3 至 48 小時內 (Cook et al., 2014; Mason et al. 2017; Raastad & Hallén, 2000; Tsoukos et al. 2018)。多項研究指出在介入後 6 小時會出現明顯的延遲性增能效益 (Cook et al., 2014; González-García et al., 2021; Kalmus et al., 2021; Saez Saez de Villarreal et al., 2007)。實務上, 許多運動賽事安排於下午或傍晚, 於早晨進行高強度低訓練量的阻力訓練, 有助於午後運動表現的提升 (跳躍、衝刺、肌肉力量)。本研究因此以介入後 6 小時作為觀察時間點, 但僅發現 M-RE 組表現有顯著提升。過往文獻指出延遲性增能的第一次高峰可能介於運動後 3 至 7 小時內 (Raastad & Hallén, 2000)。Ekstrand 等 (2013) 也發現標槍選手執行 1 x 85%1RM 背蹲舉至力竭、1 x 100%4RM 爆發上搏可以有效提升 4-6 小時後的上肢爆發力表現。此外, 近期研究亦觀察到高強度低訓練量的半蹲舉能在 8 小時後有效提升 SJ 表現 (Harrison et al., 2021)。總結上述的結果, 高強度阻力運動後 3-8 小時似乎都有可能出現延遲性增益的現象。由於本研究的各組間總訓練量不同, 疲勞產生程度以及增益效果可能不盡相同, 推測 L-RE 組、VL10 組以及 VL20 組可能在其他時間點才可能出現延遲性增益的現象, 不過目前相關的研究證據仍不完整, 需要進一步的實驗來釐清不同時間點 (3-8 小時) 的增益效果。

此外, 具備較高力量水平 ( $RSR > 2$ ) 的個體似乎更易產生延遲性增能效果 (González-García et al., 2023; Nishioka & Okada, 2022), 這可能與高肌力者具備最佳的抗疲勞能力有關 (Suchomel et al., 2016)。已有研究指出, 高力量水平的個體在面對相同訓練刺激時, 其疲勞程度較低, 且能更早、更顯著地提升運動表現 (Seitz et al., 2014)。目前僅有一篇研究探討不同 RSR 水平對延遲性增能的影響, Nishioka 與 Okada (2022) 將

實驗參與者分為高 RSR 組 (2.22)、低 RSR 組 (1.76)，兩組皆執行 5 組 x 4 下 x 40%1RM 背槓跳，僅有高 RSR 組在 24 小時後提升 CMJ 高度 (+3.62%)，然而，該研究使用的是低強度、爆發性的訓練動作，且並未探討更短時間 (例如 6 小時後) 的效果。而 González-Badillo 等 (2016) 招募低力量水平者 (RSR = 1.43) 執行 3 組 x 4 下 x 80% 1RM 背蹲舉，但未觀察到介入後 6 小時垂直跳表現有所提升，本研究的 M-RE 組則採用了與 González-Badillo 等 (2016) 完全相同的阻力訓練處方 (3 組 x 4 次 x 80%1RM 背蹲舉)，發現在介入後 6 小時可顯著提升垂直跳表現。綜合本研究與 González-Badillo 等 (2016) 的研究結果推論，透過高強度阻力訓練誘發延遲性的運動表現提升，高力量水平者 (RSR > 2) 可能更容易受益。然而，此推論僅建立在有限的實驗結果比較上，仍需後續研究釐清高、低力量水平個體在延遲性增能效果上的差異。

本研究另外一個目的為探討高力量水平者 (RSR > 2) 於不同速度流失比例 (10%、20%) 控制下的延遲性增能效果，與原本的研究假設 (即 VL20 組能有效提升表現) 不同，本研究未觀察到兩組在介入後 6 小時有運動表現的提升。值得注意的是，先前的相關研究皆使用相同的阻力訓練處方 (2 組 x 80%1RM x 速度流失 20%，動作為背蹲舉) 來觀察延遲性增能效果 (González-García et al., 2021; González-García et al., 2023)。這些研究發現，當參與者 RSR 介於 1.6-1.7 之間時，垂直跳躍表現並未顯著變化；然而，當 RSR 達到 1.8 時，介入後 6 小時的 CMJ 跳躍高度則明顯提升。儘管已有研究證據指出，力量水平較高的個體具有較佳的抗疲勞能力，且能較快恢復並提升運動表現 (Suchomel et al., 2016; Nishioka & Okada, 2022)。但本研究實驗參與者 (RSR = 2.07) 以速度流失 20% 進行介入卻未能明顯提升垂直跳表現。此現象可能與實驗設計的差異有關，本研究採取的設計為 3 組的阻力訓練處方，而先前的研究則進行 2 組。因此，本研究 VL20 組的總訓練量 (1240 AU) 高於 González-García 等 (2021, 2023) 研究中的 728-740 AU。此外，既使控制了相同的速度流失比例 (20%)，本研究 VL20 組平均可以執行 4.8-5.4 下，亦高於 González-García 等 (2021、2023) 的 4.4-4.7 下。綜合上述推論，雖然本研究招募對象為高力量水平者，較高的總訓練量與每組反覆次數仍可能導致較多的疲勞累積，影響運動表現的恢復，從而抵銷延遲性增能效果。

另一方面，儘管 VL10 組 (904 AU) 與 M-RE 組 (960 AU) 之間的總訓練量未達統計上的差異 (表 4-3)，但與 M-RE 組不同的是，VL10 組在介入後 6 小時並未觀察到垂直跳表現的顯著提升。值得注意的是，VL10 組的實際速度流失比例為 14.3%，明顯高於 M-RE 組的 9.5%，且兩組的差異達到統計顯著性。過往研究已證實速度流失與血乳酸濃

度具有高度的正相關性 ( $r = 0.69-0.97$  ; Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011; Rodríguez-Rosell et al., 2018)，推測在相似的總訓練量下，VL10 組可能因較高的速度流失比例而產生更多的疲勞。先前的研究亦指出，高強度阻力運動介入後的 3-8 小時內可能出現運動表現提升的情形 (Harrison et al., 2021; Ekstrand, 2013; Raastad & Hallén, 2000)。因此，本研究僅能確定 VL10 與 VL20 組在介入後 6 小時尚未觀察到延遲性增能效應，而其他時間點是否能促進運動表現提升，仍需未來進一步的研究進行探討與驗證。



## 第陸章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究旨在探討高力量水平者進行 4 種高強度、低總量的阻力訓練設計 (L-RE、M-RE、VL10、VL20) 後，對短期運動表現 (介入後 6 小時) 的影響。研究結果顯示，僅 M-RE 組在介入後 6 小時明顯提升了垂直跳表現。其他組別未觀察到顯著改善，可能與總訓練量或恢復時間點設定有關。上述結果可提供競技賽場之教練與體能訓練師作為實務參考，應用於賽前約 6 小時的暖身與準備策略設計

### 第二節 建議

延遲性增能受多項因素影響，如訓練強度、總訓練量、恢復時間點與個體差異等。未來研究建議進一步探討上述變項之交互作用，以釐清有效的訓練量與最佳恢復時程，進而完善訓練處方之設計。此外，建議後續研究可結合心理問卷與運動自覺量表，作為即時監控運動狀態與訓練負荷之依據，提升訓練的個別化與科學化程度。

## 參考文獻

- Bartolomei, S., Sadres, E., Church, D. D., Arroyo, E., Gordon, J. A., III, Varanoske, A. N., Wang, R., Beyer, K. S., Oliveira, L. P., Stout, J. R., & Hoffman, J. R. (2017). Comparison of the recovery response from high-intensity and high-volume resistance exercise in trained men. *European Journal of Applied Physiology*, 117(7), 1287-1298. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3598-9>
- 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. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0610>
- Cohen, J. (1988). In: Statistical power analysis for the behavioral sciences. New York, NY: Routledge. 20-27.
- Crewther, B. T., Cook, C. J., Gaviglio, C. M., Kilduff, L. P., & Drawer, S. (2012). Baseline strength can influence the ability of salivary free testosterone to predict squat and sprinting performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 261-268. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182185158>
- Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A. N., ... & Mundy, P. D. (2018). Force-time characteristics of the countermovement jump: Analyzing the curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 67-77. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000353>
- Chiu, L. Z., Fry, A. C., Schilling, B. K., Johnson, E. J., & Weiss, L. W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 385-392. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1144-z>
- Cook, C. J., Kilduff, L. P., Crewther, B. T., Beaven, M., & West, D. J. (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 317-321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2013.04.016>
- Ekstrand, L. G., Battaglini, C. L., McMurray, R. G., & Shields, E. W. (2013). Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 101-106. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182510886>
- Fry, A. C., Stone, M. H., Thrush, J. T., & Fleck, S. J. (1995). Precompetition training sessions enhance competitive performance of high anxiety junior weightlifters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(1), 37-42.
- Fry, A. C., Schilling, B. K., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., & Thrush, J. T. (2003). Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 746-754.

- 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. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., ... & 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(03), 217-225. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120324>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1273-1279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>
- González-García, J., Aguilar-Navarro, M., Giráldez-Costas, V., & Romero-Moraleda, B. (2023). Time course of jump recovery and performance after velocity-based priming and concurrent caffeine intake. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(3), 655-667. <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2041162>
- González-García, J., Giráldez-Costas, V., Ruiz-Moreno, C., Gutiérrez-Hellín, J., & Romero-Moraleda, B. (2021). Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss. *European Journal of Sport Science*, 21(12), 1617-1627. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1845816>
- González-García, J., Latella, C., Aguilar-Navarro, M., & Romero-Moraleda, B. (2023). Effects of resistance priming exercise on within-day jumping performance and its relationship with strength level. *International Journal of Sports Medicine*, 44(01), 38-47. <https://doi.org/10.1055/a-1898-4888>
- Howatson, G., Brandon, R., & Hunter, A. M. (2016). The response to and recovery from maximum-strength and-power training in elite track and field athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 356-362. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0235>
- 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. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01136-3>

- Holmberg, P. M., Harrison, P. W., Jenkins, D. G., & Kelly, V. G. (2023). Factors Modulating the Priming Response to Resistance and Stretch-Shortening Cycle Exercise Stimuli. *Strength and Conditioning Journal*, 45(2), 188-206. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000728>
- Jovanović, M., & Flanagan, E. P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(2), 58-69.
- Kalmus, O. E., Viru, M., Alvar, B., & Naclerio, F. (2021). Impact of low volume velocity-controlled vs. repetition to failure resistance training session on measures of explosive performance in a team of adolescents basketball players. *Sports*, 9(8), 115. <https://doi.org/10.3390/sports9080115>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12(4), 207-218. <https://doi.org/10.1080/10913670802349766>
- Medicine, A. C. o. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Makaruk, H., & Sacewicz, T. J. B. O. S. (2011). The effect of drop height and body mass on drop jump intensity. *Biology of Sport*, 28(1), 63-67.
- McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C., & Travis Triplett, N. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 105, 695-704. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0951-z>
- Mason, B. R., Argus, C. K., Norcott, B., & Ball, N. B. (2017). Resistance training priming activity improves upper-body power output in rugby players: implications for game day performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 913-920. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001552>
- Mcleod, J. C., Currier, B. S., Lowisz, C. V., & Phillips, S. M. (2023). The influence of resistance exercise training prescription variables on skeletal muscle mass, strength, and physical function in healthy adults: An umbrella review. *Journal of Sport and Health Science*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.06.005>
- Nishioka, T., & Okada, J. (2022). Influence of strength level on performance enhancement using resistance priming. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 37-46. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004169>
- Nishioka, T., & Okada, J. (2023). Ballistic exercise versus heavy resistance exercise protocols: Which resistance priming is more effective for improving neuromuscular performance on the following day?. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(10), 1939-1946. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004512>

- Pareja-Blanco, F., Sánchez-Medina, L., Suárez-Arrones, L., & González-Badillo, J. J. (2017). 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>
- Pareja-Blanco, F., Villalba-Fernández, A., Cornejo-Daza, P. J., Sánchez-Valdepeñas, J., & González-Badillo, J. J. (2019). Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. *Sports*, 7(3), 59. <https://doi.org/10.3390/sports7030059>
- Raastad, T., & Hallén, J. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high-and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 206-214. <https://doi.org/10.1007/s004210050673>
- Russell, M., King, A., Bracken, R. M., Cook, C. J., Giroud, T., & Kilduff, L. P. (2016). A Comparison of Different Modes of Morning Priming Exercise on Afternoon Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 763-767. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0508>
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M. P., Fernandez-Fernandez, J., de Paula Simola, R. A., Kellmann, M., ... & Ferrauti, A. (2016). Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 953-965. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001181>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Torres-Torrelo, J., Mora-Custodio, R., Marques, M. C., & González-Badillo, J. J. (2018). Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(8), 2139-2153. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002629>
- 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 and Conditioning Research*, 34(9), 2537-2547. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002881>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., & González-Badillo, J. J. (2021). Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 31(8), 1621-1635. <https://doi.org/10.1111/sms.13967>
- Rissanen, J., Walker, S., Pareja-Blanco, F., & Häkkinen, K. (2022). Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations?. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1269-1280. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04925-3>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123-129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- 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(2), E80-E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>
- Saez Saez de Villarreal, E., Gonzalez-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. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0440-9>
- 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 and Conditioning Research*, 28(3), 706-715. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3>
- Torrejón, A., Balsalobre-Fernández, C., Haff, G. G., & García-Ramos, A. (2018). The load-velocity profile differs more between men and women than between individuals with different strength levels. *Sports Biomechanics*, 18(3), 245-255. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1433872>
- Tibana, R. A., Prestes, J., da Cunha Nascimento, D., Martins, O. V., De Santana, F. S., & Balsamo, S. (2012). Higher muscle performance in adolescents compared with adults after a resistance training session with different rest intervals. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1027-1032. <http://10.1519/JSC.0b013e31822dfefb>
- Tsoukos, A., Veligeas, P., Brown, L. E., Terzis, G., & Bogdanis, G. C. (2018). Delayed effects of a low-volume, power-type resistance exercise session on explosive performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 643-650. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001812>
- 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 and Conditioning Research*, 35, 72-79. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003633>
- Weakley, J., McLaren, S., Ramirez-Lopez, C., García-Ramos, A., Dalton-Barron, N., Banyard, H., Mann, B., Weaving, D., & 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 Science*, 38(5), 477-485. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706831>
- Weakley, J., Munteanu, G., Cowley, N., Johnston, R., Morrison, M., Gardiner, C., Pérez-Castilla, A., & García-Ramos, A. (2023). The Criterion Validity and Between-Day Reliability of the Perch for Measuring Barbell Velocity During Commonly Used Resistance Training Exercises. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(4), 787-792. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004337>

Yoon, T., Schlinder Delap, B., Griffith, E. E., & Hunter, S. K. (2007). Mechanisms of fatigue differ after low-and high-force fatiguing contractions in men and women. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 36(4), 515-524. <https://doi.org/10.1002/mus.20844>

Yuan, Z., Liao, K., Zhang, Y., Han, M., Bishop, C., Chen, Z., ... & Li, Y. (2023). Optimal velocity loss threshold for inducing post activation potentiation in track and field athletes. *Biology of Sport*, 40(2), 603-609. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.119284>

