

淡江體育學刊 第十六期  
2013 年，16，P12-22

# 瞬間變速、漸進式及增強式 訓練法的動力學分析比較

林子鳶/淡江大學體育事務處兼任教師  
黃書涵/國立臺灣師範大學科學教育研究所

## 摘 要

研究目的：比較瞬間變速、漸進式與增強式訓練法三種訓練法的動力學參數，驗證瞬間變速訓練是否能經由強力磁鐵，誘發 PAP 現象使運動單元產生更大的工作效能，並在所有影響爆發力訓練效果的因素，皆有較其他訓練法更佳的动作表現。研究方法：讓 16 名大學田徑隊短距離與跳躍選手，年齡（歲）： $20.87 \pm 1.45$ ；身高（cm）： $177.49 \pm 3.52$ ；體重（kg）： $73.16 \pm 8.5$ ，使用相同重訓器械與負荷進行漸進式、增強式、瞬間變速訓練 3 種訓練動作，針對向心收縮啟動 0.1 秒間力量、發力率、加速度、速度與功率共 5 項指標進行取樣，並分析 3 種訓練法在以上參數的差異。結果：瞬間變速訓練動作在向心收縮啟動 0.1 秒間的 5 項參數皆顯著高於其他動作，以相依樣本 t-test 統計方法分析各訓練動力學參數的差異，顯著水準  $p < .01$ 。結論：瞬間變速訓練相較傳統訓練法更可提升動作表現。

關鍵字：爆發力訓練、瞬間變速訓練、增強式訓練、激活後增強

## 壹、緒 言

### 一、研究背景

爆發力在各種運動項目中有著舉足輕重的角色，其進步與運動單位被喚起活化的速度相關 (Häkkinen, Alén, & Komi, 1985)，現今常見的增強式訓練 (Plyometric) 就是在上述原則改進了傳統的漸進式訓練法 (Slower Ramp Movements)。另外在一定時間內的動作表現也是重要因素，不論各項目選手的上肢或下肢，肌肉向心收縮後，使身體肢段傳遞力量至目標物使其發生運動，產生競技結果。例如短跑最高速度期，支撐腳著地推蹬地面時間 0.095 秒 (錢鋒，2001)，棒球選手揮棒從往前加速至擊球時間為 0.086 秒 (林國華，2007)，足球選手射門動作，攻擊腳後抬至最高點開始向心收縮到擊球時間約 0.08 秒。不論各種運動，上肢或下肢，運動員的肌肉皆執行約 0.1 秒的向心收縮後，產生工作表現直接影響競賽成績，而且肌力訓練具有動作與速度特殊性因素關係訓練效果 (Kanehisa & Miyashita, 1983)，訓練動作執行的 0.1 秒間對競賽表現具有高度而直接的影響力，以該時間內的動力學參數可判斷各動作對爆發力訓練的優劣，故將 0.1 秒的向心收縮表現視為本研究最重要的指標性參數。

各種爆發力訓練多根據 Hill (1938) 提出的速度與負荷曲線，計算出速度與負荷的最大相乘積而找出適合的負荷作為參考，再依競賽項目做選擇，但依受限在重量與速度間的取捨。Verkhoshansky (1986) 發現激活後增強 (postactivation potentiation, PAP) 現象，為肌肉進行以接近最大自主收縮 (maximal voluntary contraction, MVC) 後，可刺激神經系統 (CNS) 的興奮性，且在隨後以 30% 負荷進行的動作中有產生更大的爆發性，大幅提升運動表現，同時發展最大力量與速度 (Sale, 2004)。而 PAP 與 MVC 的收縮時間呈顯著的負相關 ( $r=-0.73$ ,  $p<.001$ ) (Hamada, Sale, MacDougall, & Tarnopolsky, 2000)，需將 MVC 的收縮時間縮短才能誘發較高的 PAP，但以非電機控制負荷的器材難以做到瞬間將負荷重量降低的動作，故本人以磁鐵的磁力與距離成立方反比的特性，設計能瞬間降低阻力的器材，稱之為瞬間變速訓練 (李士正、林子鳶，2011；張家瑋，2012；林子鳶，2012)。

瞬間變速訓練是以較高負荷激發高比例運動單元 (肌纖維) 後，瞬間減輕負荷產生爆發性的加速動作。實施方式為使用滑輪槓鈴，使用者進行向心收縮拉動槓片，槓片部份使用輕負荷 (30% 1RM 以下) 的設定，並於下方安裝強力磁鐵，且固定磁鐵下方之所有槓片。當訓練者開始拉動滑輪槓鈴時，磁吸力短暫的阻止訓練員的肢段往運動方向前進，這段期間運動員的肌肉收縮拉長了肌腱卻未造成骨骼等距的位移，故能量轉化為肌腱的彈性能，並激發更多的運動單元加入收縮

來克服阻力。當力量超越磁吸力後槓片被拉離下方的強力磁鐵；由於磁鐵的吸力與吸附物間距離的三次方值呈反比，故會瞬間減輕至原先設定的輕負荷。加上預先儲存的彈性能後，移動輕負荷產生更高的加速度。且快速力量的訓練可引發神經的適應性，刺激神經系統，取得作用肌、協同肌、拮抗肌適當的活化率 (Behm & Sale, 1993)。在動作向心收縮初期提供了極大的阻力，瞬間增加運動單位的激發程度，在 0.065 秒內即產生最大力量，跳過動員慢縮肌纖維而直接動員快縮肌纖維。Tidow (1993) 指出最快速的 IIb 肌纖維在開始收縮的 0.06 秒內即可 100% 完全徵召，而較慢的 IIa 肌纖維及慢速肌纖維分別為 0.12 秒以及 0.18 秒，如以需負荷體重進行移動跳躍的運動項目，為使得肌纖維的發達效果能集中於 IIb 肌纖維，並同時避免增加其他肌纖維的截面積造成體重上升，應盡量增加 0.06 秒內的發力率 (rate of force development, RFD) 來提升工作表現。研究顯示瞬間變速訓練直接動員快縮肌纖維而跳過動員慢縮肌纖維。

Aagaard 等人 (2001) 指出，影響向心收縮爆發力的重要因素包括：最大力量 (Fmax)、發力率 (RFD, Rate of Force Development) 與瞬時功率 (Instantaneous power)。而人體肢段僅能於一定角度與距離內活動而產生運動表現，若能在該範圍內能產生最大的加速度 (Acceleration) 與速度 (Velocity)，對爆發力具有高度的意義 (Caserotti, Aagaard, Simonsen, & Puggaard, 2001)。因此，爆發力訓練法的有效性受到以下幾點影響：1. 最大肌力、2. 發力率、3. 最大加速度、4. 速度、5. 功率。故本研究對肌肉向心收縮期 0 到 0.1 秒間的五項動力學參數進行採樣分析。本研究的比較動作為傳統的漸進式訓練、最常用於爆發力訓練的增強式訓練以及新開發的瞬間變速訓練。

## 二、研究目的

本研究假設新開發的瞬間變速訓練法能經由強力磁鐵，誘發 PAP 現象使運動單元產生更大的工作效能，在影響爆發力訓練效果的各參數上均優於漸進式訓練與增強式訓練法；故本研究比較三種訓練法的動力學參數，驗證前述假設，研究結果可作為未來進行爆發力訓練或開發新式訓練的參考依據。

# 貳、方法

## 一、研究對象

本研究對象為師大競技系田徑隊短距離專項或跳躍兼項 100 公尺選手共 16 名，年齡 (歲)：20.87±1.45；身高 (cm)：177.49±3.52；體重 (kg)：73.16±8.5；訓練年數 (年)：8.13±2.53。皆為目前均仍接受田徑正規訓練之體育保送生，且過

去三個月內並無任何下肢相關神經、骨骼肌肉傷害，或中樞神經或是週邊神經病變。受試者參與本實驗前由研究者說明實驗流程、實驗過程中所需準備的姿勢與動作要求但不告知該動作的名稱。實驗前三天不可從事激烈的訓練，避免肌肉疲勞影響實驗測量結果。

## 二、實驗設計

本研究採雙盲測試，並以平衡次序法，平均分配動作次序，避免疲勞與學習效果影響實驗結果，施測者 4 人與受試者 16 人以隨機分配組別，兩方僅被告知動作執行方式、順序與次數，訓練法名稱、內容與研究目的皆不告知。三種肌力訓練法次序與受試者隨機分配，熱身後每種動作執行三次取最大值，每次休息 5 分鐘。

## 三、實驗設置

所有受試者皆以相同器材進行所有動作，操作器材有滑輪拉繩式訓練器、背肌訓練器、皮帶等。各訓練動作靜止時負荷皆為 6.47kg ( $4.54\text{kg}$  槓片 \* 2 + 動滑輪 = 除以 2 + 皮帶與扣環 1.93kg)，瞬間變速訓練除上述負荷外，其下方再安裝 2 塊梯形鈹鐵硼磁鐵 (Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B)，磁鐵外包附多層皮膚膜及絕緣膠帶做保護後磁吸力為 23kgf。採用單軸性加速規 Biovision (Biovision Inc., Germany) 收集動作進行時的加速度訊號，使用時黏著於負荷物上，軸向水平於行進方向 (見圖 1)。Load cell 壓力測試器收集動作進行時的力量訊號，架於滑輪槓鈴的纜繩末端與受試者拉動的皮帶之間。利用 Biopac MP150 多功能生物訊號處理系統 (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara, CA) 收集加速規與 Load cell 訊號，並透過 Acqknowledge 3.9.0 套裝軟體以取樣頻率 1000Hz 擷取所需數位訊號並分析相關研究參數。所有訊號以 8Hz 低通濾波進行處理以去除雜訊。

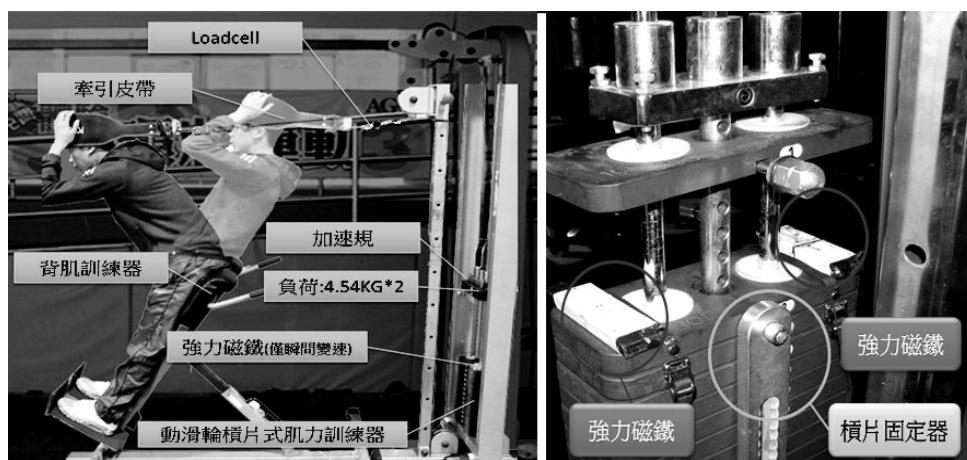


圖 1 瞬間變速訓練器材與實驗設置圖

#### 四、訓練動作分類

本研究有漸進式、主動增強式與瞬間變速訓練，所有訓練動作皆呈坐姿且雙腳伸直，以額頭套住皮帶，由屈髖肌群（腹直肌、腰大肌、髂肌與股直肌）收縮拉動槓片，向心收縮的起始位置皆為軀幹與股骨呈180度。

漸進式訓練動作的受試者以最大努力向心收縮至軀幹與股骨呈約90度停止，離心收縮以慢速回到起點停止，再進行下一次動作。主動增強式訓練則受試者屈髖肌群等長收縮使軀幹停止於垂直於地面位置，之後主動放鬆使軀幹與負荷物以自由落體至180度位置瞬間，盡量快速以最大努力向心收縮。瞬間變速訓練之受試者以最大努力向心收縮使槓片脫離磁鐵，離心收縮以慢速回到起點停止，使槓片與磁鐵再次結合後，再進行下一次動作（見圖2）。

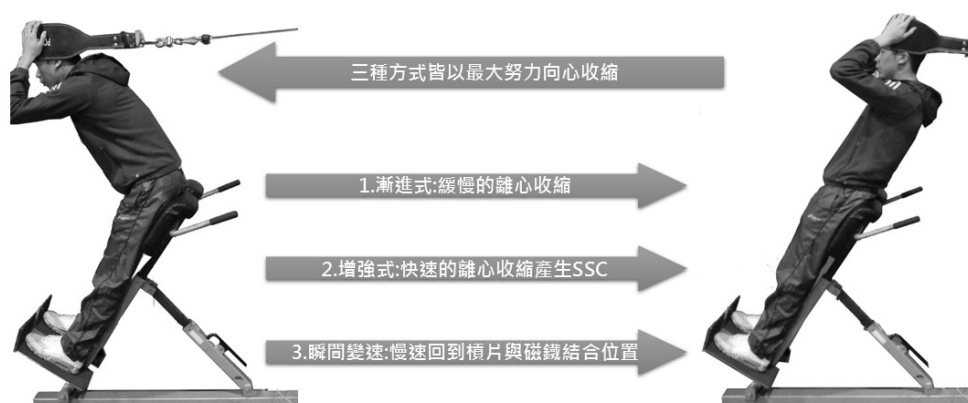


圖 2 訓練動作圖示說明

#### 五、資料處理

所有參數皆取向心收縮的開始到 0.1 秒之間，起點皆為負荷物速度為 0，研究參數與各訊號取樣計算說明如下（見圖 3）：

1. 力量：以Load cell取得的力量訊號值，單位kgf。
2. 發力率：以Load cell取得的力量訊號從最小至0.1秒時力量值的斜率，單位kgf/s。
3. 加速度：以加速規取得的加速度訊號於0.1秒時的值，單位g。
4. 速度：以套裝軟體Acqknowledge3.9.0內建程式，積分加速規取得的加速度訊號於0.1秒時的值，單位m/s。
5. 功率峰值：以Acqknowledge3.9.0內建程式將加速度訊號積分後得到速度，再與Load cell的力量訊號相乘積，取於0.1秒時的值，單位kgf.m/s。

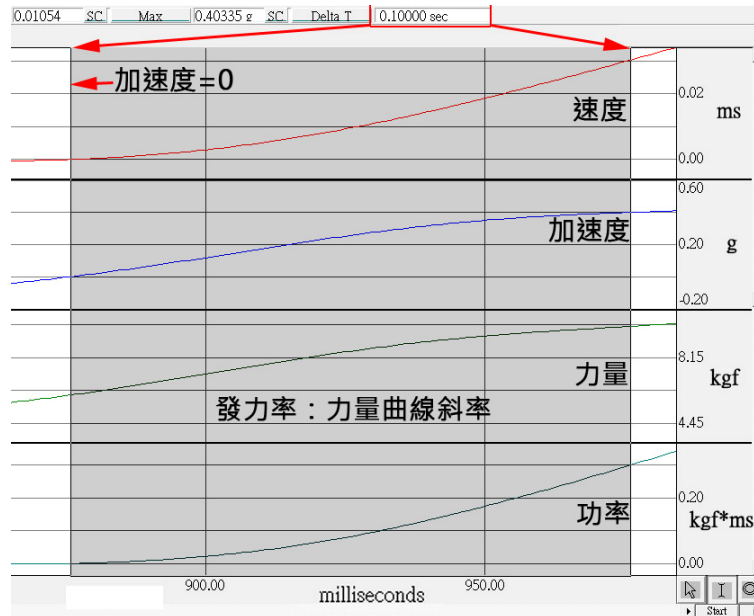


圖 3 各訊號與研究參數取樣及計算示意圖

本研究在資料回收後進行校對、編碼 (coding)，以電腦統計套裝軟體 (SPSS 18.0 for windows 版) 來處理研究資料，進行統計分析。以相依樣本t-test個別比較三種訓練動作在動作向心收縮時各項動力學參數。每項參數的t-test皆為1對1的成對比較。並以漸進式動作數值為基準值 (控制組的平均數)，計算提升率及效果量 (effect size, ES)，判斷實驗結果的實際顯著性 (Practical significance)程度。根據Cohen的標準，效果量若其值小於0.2表示實際顯著性為低，介於0.2至0.5表示實際顯著性為低至中等，而0.5至0.8表示實際顯著性為中至高等，高於0.8表示具有相當大的實際顯著性。提升率的計算公式： $ME / MC - 100\%$ ；效果量 (ES)的計算公式： $ES = (ME - MC) / sC$ ；ME：實驗組的平均數 (各訓練動作)；MC：控制組的平均數 (漸進式動作)；sC：控制組的標準差。

## 參、結 果

### 一、向心收縮啟動 0.1 秒間的最大力量

瞬間變速訓練 0.1 秒間的最大力量顯著高於所有訓練法，顯著性  $p=.00$ ，在力量平均值方面，瞬間變速平均在 0.065 秒達到最大力量值 41.75kgf，其他項目的 0.1 秒間最大平均值 11.3kgf，約為 269.47%的差距 (見表 1)。

## 二、向心收縮啟動 0.1 秒間發力率

瞬間變速平均在 0.065 秒達到最大發力率 549.6kgf /s，顯著高於其他項目的 0.1 秒間平均最大值 46.27kgf /s，約有為 1087.81%的差距（見表 1），顯著性  $p=.00$ 。

## 三、向心收縮啟動 0.1 秒間最大加速度

瞬間變速平均在 0.065 秒達到最大加速度值 2.07g，顯著高於其他項目的 0.1 秒間平均最大值 0.48g，約為 331.25%的差距（見表 1）。顯著性  $p=.00$ ，平均加速度 0-最大時間為 0.065 秒，較其他訓練法出現峰值時間短。

## 四、向心收縮啟動 0.1 秒間最大速度

瞬間變速啟動 0.1 秒時，速度平均值=1.15m/s，顯著高於其他項目的與 0.1 秒間平均最大值 0.48m/s，約為 139.58%的差距（見表 1）。顯著性  $p=.00$ 。

## 五、向心收縮啟動 0.1 秒間最大功率

瞬間變速平均在 0.065 秒達到最大功率值 31.23kgf.m/s，顯著高於其他項目的 0.1 秒間平均最大值 5.37 kgf.m/s，約為 481.56%的差距（見表 1）。顯著性  $p=.00$ 。

表 1 向心收縮啟動 0.1 秒間各項動力學參數摘要表（n=16）

	訓練動作	向心收縮啟動 0.1 秒間	標準差	提升率	效果量	顯著性(p 值)
力量 (kgf)	漸進式	9.68	1.46			
	主動增強	10.76	1.56	11.16%	0.37	0.04 (v.s.漸進)
	瞬間變速	41.75	2.93	331.3%	0.99	0.00 (v.s.兩者)
發力率 (kgf/s)	漸進式	33.19	14.10			
	主動增強	48.66	16.15	46.61%	0.33	0.00 (v.s.漸進)
	瞬間變速	549.60	65.37	1555.92%	0.98	0.00 (v.s.兩者)
加速度 (g)	漸進式	0.34	0.13			
	主動增強	0.48	0.14	41.18%	0.21	0.01 (v.s.漸進)
	瞬間變速	2.07	0.61	508.82%	0.89	0.00 (v.s.兩者)
速度 (m/s)	漸進式	0.41	0.11			
	主動增強	0.46	0.12	12.2%	0.43	0.11 (v.s.漸進)
	瞬間變速	1.15	0.20	180.49%	0.92	0.00 (v.s.兩者)
功率 (kgf.m/s)	漸進式	4.06	1.59			
	主動增強	5.11	1.90	24%	0.27	0.02 (v.s.漸進)
	瞬間變速	31.23	10.20	660.98% <sup>3.12</sup>	0.88	0.00 (v.s.兩者)

註：效果量<0.2 顯著性為低，0.5 為中等，>0.8 顯著性為高

## 肆、討 論

### 一、瞬間變速訓練法的 PAP 激發效果

激活後增強 PAP 能使肌肉的收縮能力大幅提升，而 PAP 效應與 MVC 的收縮時間呈顯著的負相關 ( $r=-0.73$ ,  $p<.001$ ) (Hamada, Sale, MacDougall, & Tarnopolsky, 2000)，結果顯示瞬間變速訓練動作多項數據在 0.065 秒內達到最大值，在 5 項影響爆發力訓練的動力學參數全部顯著高於其他訓練法 (皆為  $p=.00$ )。對照李士正 (2011) 與張家瑋 (2012) 的實驗以彈震式動作為基準值比較瞬間變速動作時，所有項目顯著優於彈震式刺激動作 ( $P=0.00$ )，瞬間拉力+59.19%與+65.08%，效果量 2.88、7.47 (0.8 以上為高效果量)，兩實驗具有一致性。

### 二、肌纖維的徵召與活化機制

肌纖維活化與徵召方面，本研究將執行多種訓練動作的實際動作表現與文獻中生理機制進行探討。Tidow (1994) 指出最快速的 IIb 肌纖維在開始收縮的 0.06 秒內即可 100%完全徵召，而較慢的 IIa 肌纖維及慢速肌纖維分別為 0.12 秒以及 0.18 秒，如以需負荷體重進行移動跳躍的運動項目，為使得肌纖維的發達效果能集中於 IIb 肌纖維，並同時避免增加其他肌纖維的截面積造成體重上升，應盡量增加 0.06 秒內的發力率來提升工作表現。而本研究瞬間變速訓練在力量、發力率、加速度、瞬間速度與功率平均皆在 0.065 秒即達到最大值，此時慢縮肌纖維未活化，所有動作表現來自於 IIb 肌纖維的貢獻，顯示該動作針對 IIb 快縮肌纖維具高度的徵召程度與動員能力，針對該肌群集中發展，IIa 與慢縮肌纖維來不及活化而避免不必要的肌肉肥大，影響肢體的運動速度。

### 三、神經適應的機制與訓練效果

瞬間變速訓練由強力磁鐵提供的阻力能誘發肌肉收縮單元並利用串聯單元的彈性能，產生快速強力的動作，在神經適應方面，符合 Kyröläinen 與 Komi (1995) 所指，以接近實際運動的快速動作形式刺激神經系統 (CNS)，取得作用肌、協同肌及拮抗肌適當的活化率、活化順序，以及神經系統的適應性，將能有效的強化爆發力的原則。且瞬間變速動作能大幅提升力量、發力率、加速度、速度與功率，並且在 0.065 秒即產生最大收縮的現象，是唯一能符合實際競技動作在 0.1 內完成最大表現的特性，且皆顯著高於傳統訓練方式。顯示利用瞬間改變阻力的設置方式的確能解決重量與速度間的矛盾，透過產生神經與肌肉的生理適應 (運動單位激發、肌間協調、動員快縮運動單位) (Nilsson, Tesch, & Thorstensson, 1977)，增進最大肌力、發力率、加速度、速度與功率的表現來提升爆發力。



#### 四、研究建議

在動力學分析建立動作特性與設置方式的關係之後，可利用肌電檢測設備，進一步確認執行動作時肌肉的工作情形。後續研究者可嘗試以不同的磁鐵強度與負荷重量搭配，檢測肌肉的工作表現與進步效果。

### 參考文獻

- 李士正 (2011)。瞬間變速訓練對棒球選手投球球速與上肢肌力之影響。臺灣師範大學體育學系碩士論文。
- 林國華 (2007)。動態轉動慣量球棒對揮棒之影響。國立臺北教育大學體育學系碩士論文。
- 林子鳶 (2012)。瞬間變速訓練與離心加速式訓練法的動力學分析與建議。國立臺灣師範大學體育研究所碩士論文。
- 張家瑋 (2012)。瞬間變速訓練對 30 公尺衝刺速度之影響。臺灣師範大學運動競技學系碩士論文。
- 錢鋒 (2001)。后蹬跑练习对 100M 跑技术的负面效用。首都體育學院學報，13 (1)。
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A.-M., Wagner, A., Magnusson, S. P., ..., Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of Physiology*, 534 (2), 613-623. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 15 (6), 374-388.
- Caserotti, P., Aagaard, P., Simonsen, E. B., & Puggaard, L. (2001). Contraction-specific differences in maximal muscle power during stretch-shortening cycle movements in elderly males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 84 (3), 206-212. doi: 10.1007/s004210170006
- Häkkinen, K., Alén, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125 (4), 573-585. doi: 10.1111/j.1748-1716.1985.tb07759.x
- Häkkinen, K., & Komi, P. (1986). Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55 (2), 147-155. doi: 10.1007/bf00714997
- 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.

- Hill, A. V. (1938). The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. Proceedings of the Royal Society of London. *Biological Sciences*, 126 (843), 136-195. doi: 10.1098/rspb.1938.0050
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52 (1), 104-106. doi: 10.1007/bf00429034
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33 (10), 1197-1206. doi: 10.1016/s0021-9290 (00)00064-6
- Kyröläinen, H., & Komi, P. V. (1995). The function of neuromuscular system in maximal stretch-shortening cycle exercises: Comparison between power- and endurance-trained athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5 (1), 15-25. doi: 10.1016/s1050-6411 (99)80002-9
- Nilsson, J., Tesch, P., & Thorstensson, A. (1977). Fatigue and EMG of Repeated Fast Voluntary Contractions in Man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 101 (2), 194-198. doi: 10.1111/j.1748-1716.1977.tb05998.x
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 ( 5 Suppl), S135-145.
- Sale, D (2004). Postactivation potentiation: role in performance. *British Journal of Sports Medicine*, 38 ( 4), 386-387. doi:10.1136/bjism.2002.003392
- Tidow, G. Wiemann, K. (1993). Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei Explosiv-ballistischen Krafteinsätzen. Teil II: In: *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, 44 ( 4), 136.
- Verkhoshansky, Y. (1986). Speed-strength preparation and development of strength endurance of athletes in various specializations. *Soviet Sports Review*, 22, 120-124.

# Kinetic Analysis and Comparison Between Slower Ramp Movements, Plyometric, and Instantaneous Change Speed Training

Zih-Yuan Lin / Office of Physical Education, Tamkang University  
Su-Han Huang / National Taiwan Normal University

## Abstract

The purpose of this study was to compare kinetic differences related to explosive power in various training methods, and provide training recommendations for different competitions. The training methods are Slower Ramp Movements, Plyometric, and Instantaneous Change Speed training (ICS). In this study, 16 male sprinters and jumpers of the college team used the same weight training equipment and load to implement above 3 training methods. Age:  $20.87 \pm 1.45$  ; Height(cm):  $177.49 \pm 3.52$  ; Weight(kg):  $73.16 \pm 8.5$  Paired sample T-test was used to analyze the difference of kinetic parameters among the 3 methods. We collected data of concentric between 0 to 0.1 second. The parameters are Fmax, RFD, acceleration, velocity and power. Significant level was  $p < .01$ . Most of the parameters of ICS are significantly higher than other methods.

**Keyword :** Explosive, Postactivation Potentiation(PAP), Plyometric