

## 彈震式與漸進式下肢推蹬動作 之運動學及動力學分析

周桂名 王翔星

### 摘 要

本研究的目的是在於揭示彈震式下肢推蹬動作與漸進式下肢推蹬動作的運動學與動力學。實施彈震式下肢推蹬動作時與漸進式下肢推蹬動作的不同點是，實施彈震式下肢推蹬動作推蹬機的踏板將會被受試者推離雙腳。六名男性受試者執行三次 30~32%1RM 的彈震式與漸進式下肢推蹬動作，結果顯示出彈震式動作在最大速度、最大力量、平均力量及爆發力的輸出表現上顯著優於漸進式動作 ( $P < .01$ )。研究結果推論：和彈震式下肢推蹬阻力訓練動作比較，傳統漸進式下肢推蹬阻力訓練動作將限制力量與速度的輸出表現。因此，在爆發力的訓練上，彈震式動作將可比漸進式動作獲得更大的成效，引發神經肌肉系統最佳的適應性。

關鍵字：彈震式動作、漸進式動作、運動學、動力學

## **Analysis of Kinetic and Kinematic During Ballistic Movements and Slower Ramp Movements**

**Kuei-Ming,Chou      Hisang-Hisn Wang**

### **Summary**

The aim of study was to investigate the kinetic and kinematic of the slower ramp leg press and the ballistic leg press which the pedal was projected from the foot. Six male subjects completed three trials with a weight of 30~32% of the subject's previously determined 1 RM. Performance was significantly higher during the ballistic movement compared to the slower ramp movement for peak velocity, peak force, average force and power. ( $p < .01$ ) In conclusion the result of this study suggest that given the inherent limitations of traditional resistance training attempting to performing slower ramp leg press in an explosive manner with load will result in reduce velocity and force output compared to an ballistic movement. Therefore, the ballistic movement during power training would also result in greater training-induced adaptations in the neuromuscular system compared to the slower ramp movement.

**Key words :** Ballistic movements, Slower ramp movements, Kinetic, Kinematic.

## 壹、緒論

### 一、前言

肌力是神經肌肉系統產生力量的能力，在競技運動裡，由於動作經常被要求在極短暫的時間內完成，故最快的肌肉收縮能力成為競技勝負的關鍵，這種速度與力量的結合即是爆發力（動力）的表現，許多學者以方程式將其關係表現出來：爆發力(動力) = 肌力(力量) × 速度(速率)；因此爆發力與速度是密切相關的。而敏捷的加速運動型態(打擊、投擲或跳躍)，所需要的是高的爆發力(動力)而非只有大的力量。如前所言，加速運動型態的肌力訓練計劃，應嘗試增加爆發力而不是一再堅持最大肌力(Newton et al, 1996)。而在發展爆發力水準的訓練過程中，肌肉必須盡可能的快速收縮，才能有效的訓練爆發力。換言之，爆發力的訓練應針對產生最大力量時最快的速率來設計。許多重量訓練教練在運動員基礎肌力建立之後，接著教導運動員以較輕的負荷盡可能快速收縮來發展運動員的爆發力水準。然而，運用傳統重量訓練器材訓練時，作用肌離心之後的向心階段，槓在到達收縮動作末端零速度以前已開始減速(Elliott et al, 1989)。而減速期的存在將使肌肉不能夠持續高速率的收縮，這將影響爆發力增進之效率。與傳統漸進式阻力訓練不同的彈震式阻力訓練是一種特殊的高速度訓練方式，其特性包括肌肉高的激發率(High Firing Rates)、短的收縮時間(Brief Contraction Times)及高的發力率(High Rates of Force Development)。它強調動作必須是快速、加速，並且無減速期。因此使用的槓或器械在動作的全部範圍內必須盡可能的加速，最後將槓或器械釋放離手，以避免有減速期的問題。本研究利用自行設計的負荷制動器，將其配置於 Cybex 仰臥大腿推蹬機上，使運動員能實施彈震式的仰臥大腿推蹬動作，以進一步分析傳統漸進式收縮與彈震式收縮的運動學與動力學之差異。

### 二、研究目的

肌力訓練動作發生的減速期所附帶的是作用肌電位活性的降低

(Elloitt, et al. 1989)，這將影響爆發力增進之效率。然而傳統漸進式收縮動作與彈震式收縮動作，在作用肌收縮的全程範圍內之速度週期變化與力量的輸出是否有差異性存在，確實是國內現階段尚無法確認的問題，故本研究的目的在於分析比較

- (一)當運動員執行傳統漸進式仰臥大腿推蹬與彈震式仰臥大腿推蹬時運動學之差異。
- (二)當運動員執行傳統漸進式仰臥大腿推蹬與彈震式仰臥大腿推蹬時動力學之差異。

### 三、研究假設

以最大努力並在動作範圍末端將負荷推蹬出去，使踏板離開腳底板的動作就是彈震式(Ballistic)的動作。本研究假設彈震式推蹬動作比漸進式推蹬動作在作用肌(股四頭肌)收縮階段，有較佳的速度週期 (term of velocity)及力量輸出(force output)。

### 四、名詞解釋

#### (一)彈震式動作(Ballistic Movement)

是一種特殊的高速度動作，強調動作的全程必須是快速、加速，並且無減速期。因此使用的槓或器械在動作的全部範圍內必須盡可能的加速，最後將槓或器械釋放離手，以避免有減速期的問題。

#### (二)漸進式動作(Slower Ramp Movement)

藉由正在執行動作之身體感覺器官分析目前的動作和欲執行的動作，並持續加以調整的收縮動作。此動作型態因必須將槓或重物停在動作的結束點，故在到達動作結束點以前，會產生減速的現象。

#### (三)伸展縮短循環(Stretch-Shortening Cycle, SSC)

是肌肉承受外力作用，先離心再快速向心作用的收縮方式。其生理機制包含伸展反射及彈性能位的利用

#### (四)最大肌力(Repetition Maximum)

受試者在訓練器上，進行推蹬動作時，肌肉於所要求之關節活動範圍內只能克服一次阻力之能力。

### (五)最大肌力百分比(Percentage of One Repetition Maximum)

阻力設定以一次反覆次數之最大肌力(RM)的多少百分比來表示，簡寫為%1RM。

## 貳、實驗方法

### 一、實驗對象

六位體育系男性運動員自願參與本研究。所有受試者均接受過六個月以上的重量訓練課程；沒有腿部、膝蓋或腰部之運動傷害，亦無服用合成代謝的藥品。受試者平均年齡、身高、體重，分別是  $20.9 \pm 0.5$  years、 $166.6 \pm 6.5$ cm， $61.3 \pm 4.2$ kg。

### 二、實驗儀器與設備

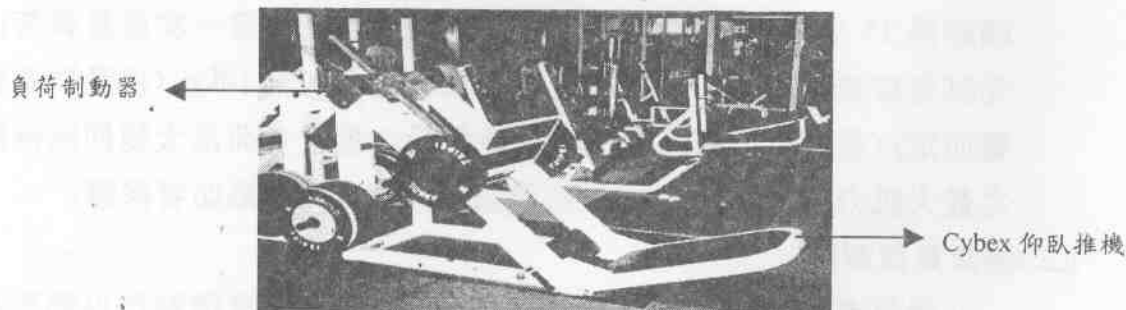
#### (一)彈震式負荷制動器

為自行研發之負荷制動器，功能在於制動拋射出去的重物，以避免重物下滑，在本研究中主要的功能是制動運動員以彈震式收縮、推蹬出去的踏板及負荷。

#### (二)Cybex 仰臥推機

在本研究中主要的用途有二：

- 1.測量下肢最大肌力及適當之測試負荷。
- 2.為測試彈震式與漸進式收縮動作之主體機，將自行研發之負荷制動器裝設於 CYBEX 肌力訓練機上，使受試者不但能作漸進式收縮動作亦能作彈震式收縮動作(圖一)。



圖一 配置有負荷制動器之 Cybex 肌力訓練機

### (三)加速規

本研究將加速規裝置於 Cybex 肌力訓練機之踏板後方，主要的功能是為取得彈震式及漸進式動作全程的速度變化。

### (四)力量轉換器

本研究將力量轉換器裝置於 Cybex 肌力訓練機之踏板上，使受試者雙腳能平均踩踏於其上，主要的功能是為取得彈震式或漸進式動作全程的力量輸出變化。

### (五)多功能訊號擷取系統

多功能訊號擷取系統於本研究中之主要功能，在於擷取踏板活動時加速規接收到的速度週期變化訊號，與蹬踢踏板時力量轉換器接收到之力量輸出訊號。

## 三、實驗設計

實驗共分二個測試期，第一測試期是取得受試者在仰臥大腿推蹬機上股四頭肌之最大肌力及適當之測試負荷。第二測試期則是取得受試者在裝置有負荷制動器之仰臥大腿推蹬機上，實施彈震式收縮及漸進式收縮全程範圍內最大速度、平均速度、速度變化週期、最大力量、平均力量與力量變化資料。實施方法如下說明：

### (一)最大腿肌力

大腿仰臥推蹬：利用 Cybex 仰臥推蹬機測下肢最大肌力，受試者仰臥於推蹬機測量台上，雙腳伸直抵住踏板，調整呼吸屈膝至膝關節為 35 度角後，向上全力伸膝推蹬完成動作。第一次重量負荷由受試者自覺，之後所增加之重量每次增加 5kg 至 10kg (視受試者感覺而定)，經重覆測試至找出最大能承受之重量負荷為大腿仰臥推蹬之最大肌力。(測試過程中推蹬機槓鈴旁會有兩位協助者保護)

### (二)適當負荷測試

受試者必須執行數次的負荷為 10%1RM 的推蹬動作以熟悉測

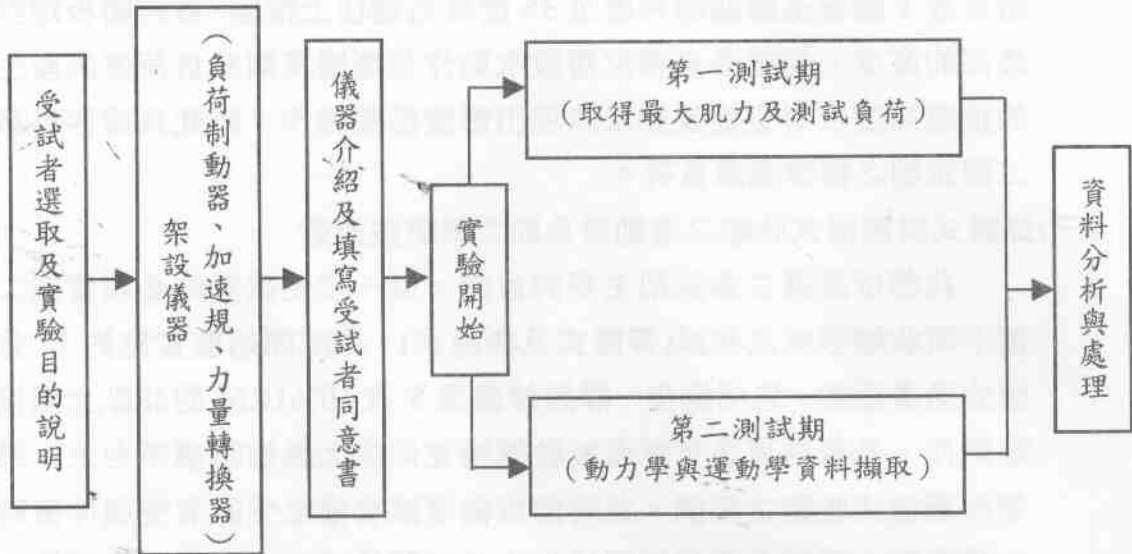
試動作，之後受試者自覺選擇一負荷，抵著踏板伸直雙腿，動作開始是放下踏板至膝關節角度至 35 度後迅速往上推蹬，並將踏板蹬到最高的高度。受試者必須反覆數次動作並漸增或漸減負荷直到產生的推蹬高度沒有更遠及無法表現出爆發推蹬動作，將此負荷作為第二測試期之標準測試負荷。

### (三)彈震式與漸進式收縮之運動學及動力學訊號擷取

此部份是第二測試期主要的目的，每一位受試者均必須實施二種不同收縮形式之測試(彈震式及漸進式)。測試開始前實施約 15 分鐘的熱身活動，包括跑步、靜態伸展及 5 次 10%1RM 的仰臥大腿推蹬動作。熱身結束後受試者被教導躺在仰臥大腿推蹬機平台上，準備作漸進式收縮之測試，此時踏板被受試者推至受試者雙腿伸直時之最高點，受試者聽到儀器操作人員喊開始時，立即盡最大可能作最快的離心再向心之漸進式推蹬動作，此時踏板應停在雙腿伸直之高度(受試者雙腳應與踏板接觸)。隨後休息 3 分鐘後立刻進行彈震式收縮動作測試；受試者亦被教導躺在仰臥推蹬機平台上，將踏板推抵至雙腿伸直時之高度，隨後盡最大可能作最快的離心再向心之彈震式推蹬動作，推蹬出去後踏板應該被制動器卡在動作範圍之外(踏板應離開受試者之雙腳)。

在測試時有二個情況視同測試失敗，(一)受試者將踏板向上推蹬時抬起軀幹及頭。(二)離心再向心收縮期間停頓。如果發生了這二種情況測試結果不予承認，並且隨後必需重新測試。每一位受試者均實施各三次最佳負荷的彈震式及漸進式大腿推蹬動作，每一次測試後休息 3 分鐘(漸進式→休息三分鐘→彈震式)。測試編排的次序是以隨機分配的方式，主要目的是為避免疲勞或倦怠而降低測試效果。

#### 四、實驗流程圖



#### 五、資料分析

每一位受試者均實施各三次負荷為 30~32% 1RM(所測試出之最佳負荷)的彈震式及漸進式大腿推蹬動作測試，選取最佳的一次測試結果做為進一步分析的資料。

作用肌向心收縮期之定義是當踏板從正向(屈腿)到反向(腿伸直)的時間。動作開始後之作用肌向心收縮期間之平均最大速度之計算是取六名受試者動作範圍內最大的速度表現之平均值、平均速度是計算作用肌收縮時動作範圍內的平均值。在力量的擷取部份，平均最大力量是截取六名受試者作用肌收縮時全程的最高力量之平均值，平均力量是計算向心收縮期力量輸出的平均值，爆發力的輸出是計算作用肌向心收縮開始瞬間推蹬力量和踏板速度的乘積( $P = f \times v$ )，

#### 六、統計方法

所有資料以 SPSS for Windows 8.0 版統計套裝軟體處理。以相依樣本 T 考驗(T-test)比較彈震式及漸進式大腿推蹬動作之運動學(平均最大速度及平均速度)與動力學(平均最大力量、平均力量及初始爆發力)之差異；所

得數值以平均數、標準差表示，顯著性差異定為  $p < .01$ 。

### 參、結 果

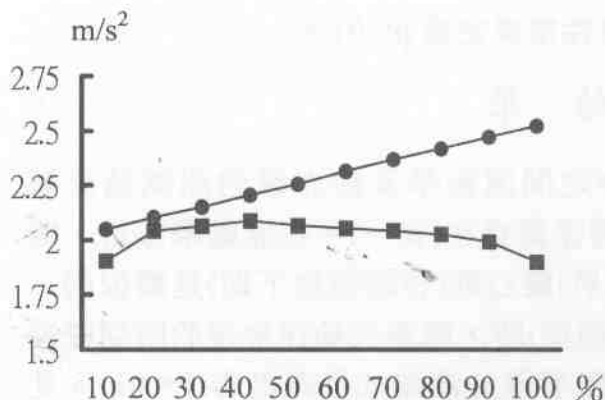
觀察彈震式與漸進式推蹬動作之間運動學及動力學的測試結果發現，彈震式與漸進式二種動作有顯著差異存在(表一)。在運動學部份，雖然彈震式與漸進式在作用肌(股四頭肌)離心期(將踏板放下期)是類似的，但在作用肌向心收縮(將踏板向上推蹬期)時，彈震式動作全程的時間較短且平均速度較高，平均最大速度則顯著優於漸進式推蹬動作( $P < .01$ )。此外，踏板速度的最高點是發生在推蹬動作之後，那表示彈震式推蹬動作在作用肌向心收縮期的末端，踏板仍是加速的。

在動力學部份，彈震式推蹬動作的平均最大力量、平均力量及初始爆發力均比漸進式動作高，且均達顯著水準( $P < .01$ )。分析彈震式及漸進式作用肌向心收縮時期的速度(圖一)及力量(圖二)解剖圖，可發現二者間有顯著的差異。進一步的分析可發現，彈震式推蹬動作在踏板動作開始 10% 之後速度就已明顯的較高，且在後期仍保持高點。相同的在力量輸出表現方面，從踏板移動的全程位置分析，彈震式動作維持一個很好的力量曲線，然而漸進式動作則在 50% 的位置開始明顯降低。

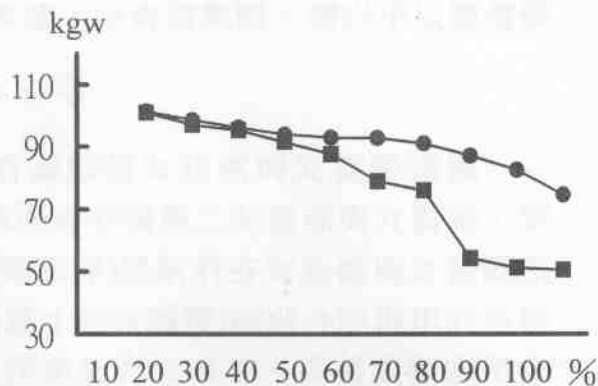
表一 彈震式與漸進式推蹬動作(30~32%1RM)之運動學與動力學統計表

項目	組別	平均數	標準差	t 值
平均最大速度 m/s <sup>2</sup>	彈震式	18.68	0.37	21.99*
	漸進式	13.01	0.64	
平均速度 m/s <sup>2</sup>	彈震式	2.53	0.32	3.19
	漸進式	2.09	0.037	
平均最大力量 kgw	彈震式	109.23	11.44	9.88*
	漸進式	86.65	6.49	
平均力量 kgw	彈震式	93.82	5.92	4.95*
	漸進式	74.68	7.16	
初始爆發力 W	彈震式	113.21	37.21	58.00*
	漸進式	646.23	20.47	

\*  $p < .01$



圖一：作用肌向心收縮全程範圍  
踏板之平均速度。  
●為彈震式 ■為漸進式



圖二：作用肌向心收縮全程範圍  
踏板之平均力量。  
●為彈震式 ■為漸進式

#### 肆、討論與建議

爲了有效增進爆發力水準，肌肉必須施以高速率性的收縮以增進效率 (Atha, 1981; Berger, 1962; Hakkinen & Komi, 1985a)，然而傳統的漸進式收縮動作明顯的減速期對於爆發力的獲取通常只能產生少的效果(Hakkinen & Komi, 1985b; Wilson, et al 1993)。事實上，站在訓練的特殊性適應立場，如果阻力訓練時是使用高阻力低速率的肌收縮方式，主要增進的是最大肌力及提昇較慢收縮速度的動作表現，因此欲提昇快速收縮的運動表現就必須仰賴快速的肌收縮方式訓練(Hakkinen & Komi 1985a)。彈震式動作是兼顧速度與重量的動作，是以適中的重量負荷進行快速、加速且無減速的肌收縮方式訓練(Young & Bilby, 1993)，故可有效率增進運動員的爆發力水準。

本研究的主要結果證明了在使用 30~32%1RM 負荷所作的傳統漸進式推蹬動作時。在最初的爆發力產生後，踏板會在動作範圍末端以前開始減速，減速的結果將使得肌肉不能持續高速率的收縮。相反的，彈震式推蹬動作因爲必須將踏板盡可能推出離腳，故踏板在動作全程範圍內均持續加

速。這個條件支持彈震式收縮動作比傳統漸進式動作可提供肌肉更大的刺激，使獲得較高的肌肉活性，故能取得更佳的爆發力增進之適應性。

本研究建議：高的動作速度及最小的減速期能提供神經肌肉系統優越的負荷條件。這樣的動作型態也是爆發性運動項目的特殊性運動表現；因此，建議爆發性運動項目之運動員在實施阻力訓練時，所訓練的動作除了盡可能接近真實的動作之外，在動作速度方面也應該有所要求，故選取適當的阻力負荷(重量及速度)並盡可能最大努力的將動作完成，是爆發力增進的最重要手段。彈震式動作即是兼顧重量與速度的阻力訓練動作。如國內體能指導員或教練可將彈震式動作列入阻力訓練的課程，必能有效率的增進運動員之爆發力水準。未來的後續研究將進一步的分析彈震式動作之肌電現象，及利用人體實驗尋求彈震式阻力訓練適當的負荷條件(重量、組數及訓練週期等…)，以取得神經肌肉系統最佳的適應性。

## 參考文獻

- Atha, J., (1974). Strengthening muscle. Exercise and Sport Sciences Reviews. 9. 1-47.
- Berger, R. A., (1962). Optimum repetitions for the development of strength. Research Quarterly. 33. 334-338.
- Elliott, B. C., Wilson, G. J., & Kerr, G. K., (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. Medicine and Science in Sports and Exercise. 21. 450-462.
- Hakkinen, K. & Komi, P. V., (1985a): The effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. Scandinavian Journal of Sport Sciences. 7. 65-76
- Hakkinen, K., & Komi, P. V., (1985b): Change in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscle during heavy resistance strength training. Scandinavian Journal of Sport Science. 7. 55-64
- Kaneko, M., Sueti, K., (1983). Training effect of different load on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. Scandinavian Journal of sports sciences. 5(2). 50-55.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J., (1996). Kinematic, Kinetic, and muscle activity during explosive upper body movements. Journal of Applied Biomechanics. 12(1). 31-43.
- Wilson, G. j., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J., (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. International Journal of Sport Biomechanics. 5. 390-402.
- Young, W. B., & Bilby, G. E., (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power and hypertrophy development. Journal of Strength Conditions of Resistance Training. 7. 172-178.