

# 兩種不同牽張幅度深跳練習的 二階段肌電現象之比較

林政東、陳全壽  
國立體育學院  
劉宇、趙峻郁  
中國文化大學

## 摘要

本研究是利用運動生物力學的方法，探討肌肉牽張縮短循環 (stretch-shortening-cycle SSC) 的典型動作 drop jump (DJ) 20、40 和 60cm 之肌肉工作特徵，以便了解淺蹲和深蹲法的 DJ 跳法之離心和向心收縮二階段的肌電活動特徵。本次實驗以 AMTI 測力板、電子關節角度計及 Biovision 肌電系統測量受試者在兩種不同牽張幅度下的地面反作用力、膝關節角度的變化、比目魚肌和股直肌的肌電活動特徵。受試者 11 名，平均年齡為  $23.18 \pm 2.64$  歲，身高為  $173.0 \pm 4.03$  公分，體重為  $64.31 \pm 5.97$  公斤。經由實驗處理與討論，獲得以下結果。

- 一、兩種跳法的比較下，淺蹲跳法在離心階段產生較大的肌電振幅，而產生的較大肌電振幅應是牽張反射所造成，同時較大肌電振幅表示單位時間內徵召較多的運動單位參與工作，如此說明了淺蹲跳法可以產生較大的肌肉神經刺激，所以爆發力訓練時，宜採用淺蹲跳法。
- 二、本實驗兩種跳法的向心階段平均肌電振幅無顯著差異，並且兩者極為接近，這說明二階段分法無法分別區分 SSC 的彈性能效應和牽張反射對向心肌電振幅之影響。

**關鍵詞：**牽張——縮短循環 (Stretch-Shortening-Cycle, SSC)、牽張反射、彈性能、牽張幅度，肌電振幅

## 壹、問題背景

牽張縮短循環 (Stretch-Shortening-Cycle, SSC) 的動作中，肌肉收縮之前的牽張有助於向心階段的運動表現，而其提高表現的原因是由於彈性能與牽張反射機制，提及 SSC 動作的肌電則不能避談牽張反射的影響。

早期學者認為牽張反射主要是為了調節肌肉長度，至今則認為勁度 (stiffness  $\Delta$  力量 /  $\Delta$  肌肉長度) 是牽張反射主要調節機制 (Houk & Rymer 1981)，無論以前或現在，肌肉牽張幅度 (stretch amplitude) 皆為牽張反射的重要參數。所以牽張幅度除了影響彈性能機制之外 (Cavagna、Citterio & Jacini 1981)，也控制著牽張反射肌電量之大小 (Lin、Brown and Walsh 1997)。Nichols & Houk (1976) 在牽張反射的研究中，測量了 0.2、0.39、2、3.4mm 四個不同牽張幅度的牽張反射肌電量，結果發現牽張幅度愈大則牽張反射肌電量愈大。Allum、Mauritz & Voge (1984) 指出，短潛時 (M1) 和中潛時 (M2) 的肌電振幅和牽張幅度呈正線性關係。Diener、Dichgans & Bacher (1984) 在角位移為 1 至 6 度牽張幅度的實驗中，發現 M1 和 M2 (牽張反射的短潛時與長潛時) 的積分肌電量和牽張角位移成正比。然而，Gregory、Morgan & Proske (1987) 認為牽張幅度愈大則牽張反射肌電量愈大，但牽張幅度太大則牽張反射肌電量反而開始下降。Matthews & Stein (1969) 和 Poppele (1981) 也發現較小的牽張幅度之下會產生較大的牽張反射肌電量。以上關於牽張幅度和牽張反射肌電量之關係的研究，主要是由於實驗時肌肉牽張幅度的控制不一所致，導至不一樣的研究結果。既知牽張幅度是牽張反射的重要參數，所以本實驗目的主要是在是兩種不同牽張幅度的淺蹲和深蹲 DJ 跳法，檢查 SSC 動作的牽張反射肌電量之大小。

對於 SSC 動作研究中，通常將肌電的分析分成二期，即離心收縮期和向心收縮期。Dietz, Schmidtbleicher and North (1979) 發現快速的 SSC 動作中，離心收縮階段會產生較高肌電峰值，並指出 SSC 動作時離心作用較高肌電振幅是由於牽張反射之影響而產生。另一方面，Komi (1984) 和劉宇、江界山、陳重佑 (1996) 認為 SSC 跳法時，離心收縮期儲存彈性能，並在隨後的向心收縮階段釋放相對較大能量，增強收縮力，這樣，肌肉本身在 SSC 動作時的向心階段就無須更大的收縮強度，以致肌電活動較弱。但在同一篇文章中，Komi (1984) 認為大幅度牽張的 SSC 動作中，牽張反射出現於離心期；而小幅度牽張的 SSC 動作，牽張反射卻會出現於向心期。所以本實驗比較淺蹲和深蹲 DJ 跳法的離心和向心肌電活動量，以了解不同的牽張幅度對於離心階段牽張反射肌電量之影響，和檢查向心階段受彈性能影響而減少肌電量或因牽張反射而增加肌電活動量。

## 貳、研究方法與步驟

### 一、實驗對象

本次實驗受試者為大學體育系跳部選手和短跑選手共 11 名，其年齡為  $23.18 \pm 2.64$  歲，身高為  $173.0 \pm 4.03$  公分，體重為  $64.31 \pm 5.97$  公斤。

### 二、實驗儀器與設備和儀器架設

本次研究方法中，使用的主要儀器與設備為 AMTI 測力板一台、電子關節角度計一個、Biovision 肌電系統、前置放大器四個、16 頻道輸入器、A / D（類比—數位）訊號轉換器、DASY Lab 4.0 版軟體、586-Notebook 電腦一套、20、40、60cm 跳台、酒精、棉花、刮鬍刀。

本實驗以有線的方法傳輸，測力板和貼於身上的關節角度計及肌電訊號線經過放大器和 A/D 轉換器，進入電腦，共同使用 Dasy Lab system 軟體，以收集所需的資料。

### 三、實驗的測試動作與程序

本實驗的測試動作為 DJ20、DJ40 和 DJ60，是指從 20、40 和 60 公分處往下跳，並隨即垂直向上跳。受試者首先進行完全的熱身和伸展，然後進行 SJ、DJ20、DJ40 和 DJ60，每個動作五次，每組動作之間休息 3 至 5 分鐘，並以受試者自覺狀況來決定是否繼續。

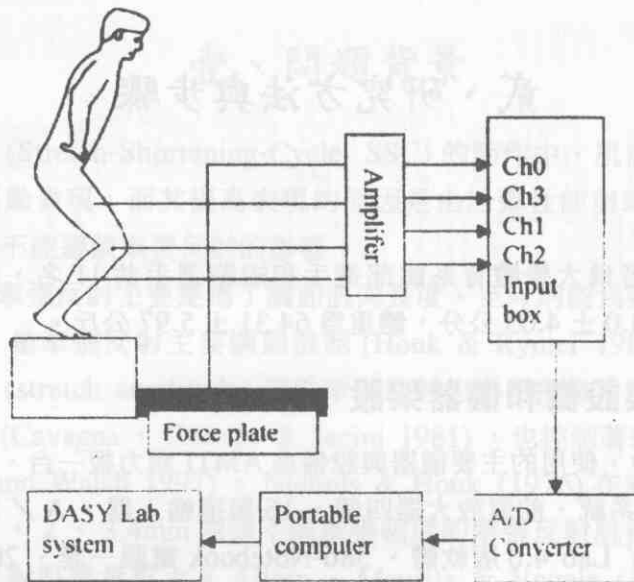
### 四、操作性定義和研究假定

(一)牽張幅度：進行 DJ 跳時，膝關節所彎曲的最大角度。本究研中，淺蹲屈膝幅度（角位移）小於 75 度，深蹲跳大於 85 度。

(二)離心平均肌電振幅：DJ 時，觸地後在膝關節所彎曲過程（離心收縮）中所測量的比目魚肌和股直肌積分肌電，除以所需的時間，所得為離心平均肌電振幅，並經過標準化，即為所求。

(三)向心平均肌電振幅：DJ 時，觸地後在膝關節伸展過程（向心收縮）中所測量的比目魚肌和股直肌積分肌電，除以所需的時間，所得為離心平均肌電振幅，並經過標準化，即為所求。

本實驗的假定為淺蹲跳法比深蹲跳法產生較多的離心平均肌電振幅，即較多的牽張反射肌電量，而淺蹲跳和深蹲跳的平均向心肌電振幅無差異。



圖一 實驗設備組合圖，Ch0 表示收集全身地面反作用力曲線的測力板，Ch1 表示收集膝關節之量角器，Ch2 表示比目魚肌之 EMG 訊號，Ch3 股直肌之 EMG 訊號

## 五、表面肌電圖資料處理的規格要求

- (一)電極方面：電極材料為 Al/AgCl，其形狀為圓形，半徑為 1.6 公分，貼上電極片的部位經過刮毛和擦拭酒精的處理，電極間的正負極片中心距離為 3.2 公分，電流的方向與肌纖維成排列走向。
- (二)放大：採 double differential，其輸入阻抗為  $10E+12\text{ohms}$ ，共同模組 (rejection) 比率為 120dB，訊號 / 雜訊的比率為 1Uv。
- (三)原始表面肌電的濾波：肌電資料經 Butterworth 10 ~ 400HZ 的 bandpass 濾波處理，然後全波整流、10HZ 低通濾波和積分處理，最後獲得積分肌電 (IEMG)。
- (四)標準化：取 SJ 跳法的肌電值，以離地前 300ms 的平均振幅肌電為標準化參考值。

## 六、資料收集與處理

關節角度計、測力板和肌電系統所收集的類比訊號轉成數位信號存於個人電腦內，採樣頻率為 1000Hz，低通濾波後，以所求的關節角度和地面垂直反作用力資料，依操作性定義截取膝關節牽張幅度，及比目魚肌和股直肌的離心平均肌電振幅和向心平均肌電振幅。然後由 spss 系統對本實驗資料進行統計分析，首先計算淺蹲與深蹲 DJ 跳法「牽張幅度」、「離心平均肌電振幅」和「向心平均肌電振幅」之平均值，最後以重覆量數 T-test 檢驗這些變數之差異，檢驗的顯著水準為 .05。

## 參、結果與討論

本研究以 DJ20、DJ40、DJ60 為實驗動作，受試者以淺蹲及深蹲的方式各跳五次。從原始的五次資料中選擇一離地時間最久的資料，資料選定後進行處理及探討：

### 一、淺蹲和深蹲 DJ 的牽張幅度之描述與探討

表一 淺蹲和深蹲跳法的牽張幅度（角度）

跳法 \ 蹲跳高度		三種 DJ			
		DJ20	DJ40	DJ60	平均值 (標準差)
淺	蹲	70.4 (4.9)	67.3 (3.0)	70.5 (4.7)	73.4 (4.9)
深	蹲	90.9 (4.7)	90.2 (4.9)	90.2 (5.5)	92.3 (3.6)

本實驗動作以最快速度（最大用力）進行垂直跳，無法使受試者跳出某一特定角度，只能大致上告訴他們進行淺蹲與深蹲的大致角度。所以每位受試者跳出不同的淺蹲角度，在不分起跳高度的情形下，全體總平均膝關節彎曲角度為 70.4 度，標準差為 4.9 度；深蹲的平均膝關節彎曲角度為 90.9 度，標準差為 4.7 度，不同高度 DJ 跳法的牽張幅度如表一所示，符合本文規定的操作性定義。

### 二、二階段肌電的描述與探討

本研究關於比目魚肌和股直肌肌電大小之比較的求法為，先求得各階段的平均肌電振幅，然後以 SJ 的平均肌電振幅為分母，以所求得的標準化肌電振幅倍率進行比較，二階段肌電振幅是指離心階段和向心階段的肌電振幅。

本實驗的比目魚肌和股直肌兩塊肌肉中，淺蹲跳法無論 DJ20、40 和 60 的離心平均肌電振幅倍率，皆大於深蹲（表二），並達顯著差異，因為肌電振幅表示不同運動單位的動作電位在去極化階段疊加的結果，表示淺蹲跳法可以在相同時間內徵召較多的運動單位參與工作 (Herzog、Guimaraes & Zhang 1994)。另一方面，本實驗的結果也顯示淺蹲跳法的離心作用能夠產生較大的牽張反射。離心收縮階段產生的較高肌電峰值很可能由牽張反射引起，因為：1. 峰值出現在著地後約 40ms 時，這一時間正好與單突觸牽張反射的時間相吻合。2. 峰值是唯一高出最大自主收縮幅度的值。3. 當進行缺血麻痺後，這些峰值消失，表示 Ia 向心神經纖維的傳導被阻斷 (Dietz 等人 1979)。照 Houk & Rymer (1981) 的看法，SSC 的一個主要功能是調整離心階段肌肉的勁度 (stiffness)，由於肌肉勁度的增加，在快速有力的 SSC 動作中，肌肉在離心階段必須承受較大的長度變化，產生較多的牽張反射肌電量，由此可見離心收縮時牽張反射參與作用的重要性。

表二 不同牽張幅度 DJ 跳法的離心肌電振幅

跳法		蹲跳高度	DJ20	DJ40	DJ60
			平均值 (標準差)		
比目魚肌	淺蹲	0.833 (0.264)	0.779 (0.269)	0.787 (0.224)	
	深蹲	0.469 (0.195)	0.433 (0.174)	0.424 (0.184)	
	P 值	0.001	0.002	0.000	
股直肌	淺蹲	1.072 (0.183)	1.051 (0.220)	1.048 (0.199)	
	深蹲	0.673 (0.160)	0.738 (0.116)	0.712 (0.122)	
	P 值	0.000	0.000	0.000	

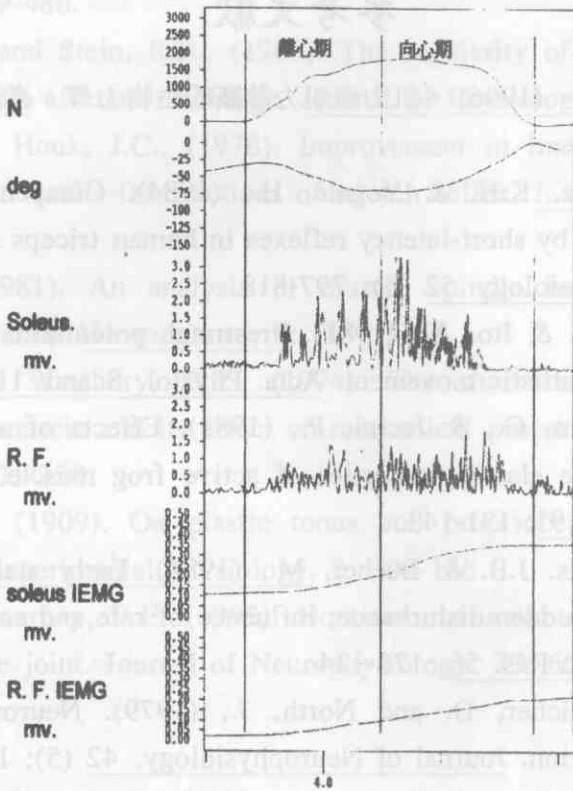
綜合上述，淺蹲跳法可以產生較大的牽張反射和肌肉神經刺激，因此爆發力訓練時，宜採用淺蹲跳法。

至於向心階段的肌電振幅，淺蹲和深蹲兩種跳法中，比目魚肌和股直肌，無論 DJ20、40 和 60 的向心平均肌電振幅皆極為接近（表三），沒有達到顯著差異，這可能是牽張反射和彈性能的交互影響所致。DJ 跳法時，離心期儲存彈性能，並在隨後的向心收縮階段釋放相對較大能量，增強收縮力，這樣，肌肉本身在向心階段就無須表現出更大的收縮強度，以致肌電活動較弱。除此之外，向心肌電的大小也受另一因素的影響，即牽張反射之影響，因為 Komi (1984) 認為啓動肌梭經過神經反射弧至肌肉纖維需要一段時間，如果牽張幅度是小範圍，則反射肌電將延續至向心期（如圖二），進而增加向心期的肌電振幅。因此，我們很難以向心肌電量看出受彈性能或牽張反射的影響。本實驗中，淺蹲和深蹲的向心肌電振幅沒有差異，其原因可能是淺蹲跳法受 SSC 機制的影響，同時出現彈性能 (Bosco、Komi & Ito, 1981) 和牽張反射活動 (Stein and Kearney 1995)，使得向心肌電量同時受增與減雙重因素之影響；至於深蹲跳法，雖然離心末期的牽張反射受抑制 (Sherrington 1909, Stein & Kearney 1995) 而沒有延伸至向心期而增加肌電活動量，但同時也沒有彈性能的幫助而減少肌電量 (Komi 1984)，以致無法看出向心收縮階段的肌電量增減。所以以傳統對於向心與離心階段分法，並無法分別看出 SSC 的兩種機制對向心肌電振幅之影響。

表三、不同牽張幅度 DJ 跳法的向心肌電振幅

跳法		蹲跳高度	DJ20	DJ40	DJ60
			平均值 (標準差)		
比目魚肌	淺蹲	0.907 (0.203)	0.931 (0.239)	0.863 (0.101)	
	深蹲	0.888 (0.120)	0.931 (0.143)	0.863 (0.156)	
	P 值	0.785	0.998	0.998	
股直肌	淺蹲	0.985 (0.196)	0.956 (0.125)	1.007 (0.216)	
	深蹲	1.082 (0.211)	1.019 (0.112)	0.953 (0.132)	
	P 值	0.280	0.227	0.483	

short stretch length



圖二 淺蹲跳法的比目魚肌和股直肌肌電分析，本肌電活動分為兩期，一為離心期，一為向心期，離心期以著地後至最大牽張角度為止，向心期以最大伸展角度至離地剎那

肆、結 論

總結上述結果與討論，本文得到下列幾點結論：

- (一)兩種跳法的比較下，淺蹲跳法在離心階段產生較大的肌電振幅 ( $P < .05$ )，而產生的較大肌電振幅應是牽張反射所造成；同時肌電振幅表示了不同運動單位的動作電位在去極化階段疊加的結果，因此淺蹲跳法可以在相同時間內徵召較多的運動單位參與工作，如此說明了淺蹲跳法可以產生較大的肌肉神經刺激，所以爆發力訓練時，宜採用淺蹲跳法。
- (二)本實驗兩種跳法的向心階段平均肌電振幅無顯著差異，並且兩者極為接近，這說明二階段分法無法分別區分 SSC 的彈性能效應和牽張反射對向心肌電之影響。

## 參考文獻

- 劉宇、江界山、陳重佑。(1996)。肌力與肌力診斷的生物力學。臺灣師大體育研究, 2: 151-179。
- Allum, J.H.J., Mauritz, K.H. & Vogele, H., (1984). Compensation for intrinsic muscle stiffness by short-latency reflexes in human triceps surae muscles. Journal of Neurophysiology, 52 (5): 797-818.
- Bosco, C., Komi, P.V. & Ito, A., (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. Acta. Physiol. Scand. 111: 135-140.
- Cavagna, G.A., Citterio, G., & Jacini, P., (1981). Effects of speed and extent of stretching on the elastic properties of active frog muscle. Journal of Experimental Biology, 91: 131-143.
- Diener, H.C., Dichgans, J.B. & Bacher, M., (1984). Early stabilization of human posture after a sudden disturbance; influence of rate and amplitude of displacement. Exp. Brain Res. 56: 126-134
- Dietz, V., Schmidtbleicher, D. and North, J., (1979). Neuronal Mechanisms of Human Locomotion. Journal of Neurophysiology, 42 (5): 1212-1222.
- Gregory, J.E., Morgan, D.L. & Proske, U., (1987). Changes in size of the stretch reflex of Cat and man attributed to aftereffects in muscle spindles. Journal of Neurophysiology, 58: 628-640.
- Herzog, W., Guimaraes, A.C.S. & Zhang, Y.T. (1994). EMG. In B.M. Nigg and W. Herzog (Eds.). Biomechanics of the musculo-skeletal system (p308-336). Champaign, IL: Human Kinetics Books.
- Houk, J.C. & Rymer, W Z., (1981). Neural control of muscle length tension. In V.B. Brooks, (Ed.). Handbook of physiology: Sec. I. The nervous system: Vol. II. Motor control. Part 1 (pp.257-324). Bethesda, MD: American Physiology Society.
- Komi, P.V., (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In Terjung, R.L. (Ed.), Exercise and Sport Sciences Reviews (Vol.12, pp.81-121). The Collamore Press. Lexington, Mass.
- Lin, J.P., Brown, J.K. and Walsh, E G., (1997). Soleus muscle length, stretch reflex excitability, and the contractile properties of muscle in children and adults: a

- study of the functional joint angle. Developmental Medicine & Child Neurology, 39: 469-480.
- Matthews, P.B.C. and Stein, R.B., (1969). The regularity of primary and secondary muscle spindle afferent discharge. Journal of Physiology, 202: 59-82.
- Nichols, T.R. and Houk, J.C., (1976). Improvement in linearity and regulation of stiffness that results from actions of stretch reflex. J. of Neurophysiology, 39: 119-142.
- Poppele, R.E., (1981). An analysis of muscle spindle behavior using randomly applied stretches. Neuroscience, 6: 1157-1165.
- Rack, P.M.H. and Westbury, D.R., (1974). The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. Journal of Physiology, 240: 331-350.
- Sherrington, C.S., (1909). On plastic tonus and proprioceptive reflexes. Quarterly Journal of Experimental physiology, 2: 109-156.
- Stein, R.B. and Kearney, R.E. (1995). Nonlinear behavior of muscle reflex at the Human ankle joint. Journal of Neurophysiology. 73: 65-72.

投稿日期：88年11月

審稿日期：89年2月

接受日期：89年3月

## The Comparison of EMG Patterns Between Two Drops Jump with Different Stretch Amplitude

Jenq-Dong Lin, Chuan-Show Chen

National college of physical education and sports

Yu Liu, Chun-Yu Chao

Chinese Culture University

### Abstract

This experiment used methods of sport biomechanics to investigate the electromyographic magnitude of eccentric and concentric phases under two different stretch amplitudes of drop jumps in order to understand neuromuscular characteristics of different stretch amplitudes of SSC movement. There were 11 subjects in this experiment including jumpers and sprinter. Their ages are  $23.18 \pm 2.64$ , heights are  $173.0 \pm 4.03$  and weights are  $64.31 \pm 5.97$ . AMIT forceplatform, goniometer and electromyography (EMG) Biovision system were used to record the ground reaction force, knee joint angle and the EMG-signals of soleus and rectus femoris. After the treatment of the data, we have gained the results as follows:

1. After the comparison of the two methods of jump, small stretch amplitude DJ produce larger electromyographic magnitude during eccentric phase ( $P < .05$ ), which are related mostly to stretch reflex. On the other hand, small stretch amplitude jump can induce larger excitation of innervation. Therefore, it is recommended to adopt the method of short stretch DJ to have a better training effect on the SSC mechanism.
2. There are no difference on the electromyographic magnitude between small stretch and large stretch DJ during concentric phase, and their electromyographic magnitude are very similar. This demonstrates that the two phases can't be used to distinguish the effect of elasticity energy and stretch reflex during concentric phase.

Keywords: Stretch-Shortenig-Cycle, stretch reflex, elasticity energy