

兩種不同牽張幅度深跳動作的生物力學要素和肌電現象之分析

The comparison of biomechanical factors and electromyographic patterns of two different stretch amplitude of drop jump

計劃編號：NSC 89-2213-E-034-006

執行期間：89/0801~ 90/07/31

主持人：劉宇 執行機關：中國文化大學體育學系

摘要

本研究是利用運動生物力學的方法，探討牽張縮短循環(stretch-shortening cycle SSC)中的深跳動作(drop jump DJ)之運動學、動力學和肌肉工作特徵，以便了解兩種不同牽張幅度深跳的彈性能能力、牽張反射肌電和運動表現。

受試者為田徑跳部選手和短跑選手共 11 名、平均年齡為 23.18 ± 2.64 歲，身高為 173.0 ± 4.03 公分，體重為 64.31 ± 5.97 公分。本次實驗以 AMTI 測力板、Penny 電子關節角度計及 Biovision 肌電系統，測量受試者淺蹲和深蹲 DJ 的地面反作用力、膝關節角度的曲線、比目魚肌和股直肌的肌電活動特徵。

結果表明淺蹲跳法能夠儲存較多的彈性能並能更有效加以利用，激發較多的牽張反射興奮，單位時間內徵召較多的運動單位，對於肌肉可產生較大的刺激，最後產生較大的向心力，這些結果都在在顯示訓練時宜採淺蹲跳法。但另一方面，淺蹲跳法雖然可以產生較大的離心和向心力量，但決定騰空高度的最後關鍵是衝量，力量只是衝量的一個重要因素，不足於決定最後的運動表現。深蹲跳法由於較大的衝量而跳出較高的騰空高度，比賽時的目的是為了求得較佳的運動成績，所以宜回歸自然的深蹲動作。

關鍵詞：牽張縮短循環、彈性能、牽張反射、衝量、騰空高度。

Abstract

The purpose of present study is to investigate the kinematic, dynamic and neuromuscular characteristics of drop jumps (DJ) in order to understand the differences on elasticity energy, stretch amplitudes of SSC jumps by using methods of sport biomechanics.

There were subjects in this experiment including jumpers and sprinters. Their ages are 23.18 ± 2.64 , heights are 173.0 ± 4.03 and weights are 64.31 ± 5.97 . AMIT force platform, Penny electrical goniometer and Biovision EMG system were used to record the ground reaction forces, knee angular displacement and the EMG-signals of soleus and rectus femoris.

The short stretch DJ have better capacity of elasticity energy, stimulate higher stretch reflex activity, innervate higher activity of neuromuscular, and produce larger concentric force. These facts demonstrate, and produce larger force. These facts demonstrate that short stretch DJ is a better training method for inducing SSC mechanism, innervation activity and larger force. On the other hand, although the short stretch DJ can produce larger eccentric and concentric force, it can't still decide the higher flight height. Flight height is determined by momentum not by force alone, and long stretch DJ has the larger momentum not by force alone, and long stretch DJ has the larger momentum to jump higher. The purpose of jump is to jump higher altitude, so we should use the way of long stretch DJ to obtain the better performance.

Key words : SSC, elastic energy, stretch reflex, momentum, flight height.

一、研究背景與目的

爆發力是競爭性運動的一項重要素質，舉凡短跑、跳遠、跳高、球類、柔道... 等等運動都需要爆發力。根據 Komi (1984) 和 Gollfer et al (1990)，認為運動時肌肉收縮很少包括純粹的等長、向心或離心收縮，在許多運動中，身體肢段周期性的受

衝力作用，此刻肌肉首先作離心收縮，然後跟著快速向心收縮，此種先離心工作再快速結合向心工作的收縮方式，稱為牽張-縮短循環 (Stretch - Shortening - Cycle)，簡稱 SSC (Norman & Komi 1979, Komi 1984) 所以 SSC 應被視為一種獨立的肌肉工作方式，是由牽張反射和彈性能連結肌肉離心和向心收縮的一種獨特收縮方式 (劉宇 等 1996)。

SSC 之所以能夠使力量增加 產生較大爆發力之生理機制有二：(一) 彈性能量的利用：向心收縮之前的牽張將使肌肉產生較大的功，其原因為肌肉牽張所儲存的彈性能所致。(二) 牽張反射：SSC 的另一個重要機制為牽張反射，當肌肉被拉長時，啟動肌纖維中肌梭，藉 Ia 神經纖維通過脊髓弧 (spinal arc) 通知運動神經纖維，對該肌纖維進行收縮，以避免肌肉過度拉長。由於此種反射性機制結合肌肉自主性收縮力量，所以能夠產生更大的爆發力。

Rack & Westbury 在 1974 年提出短範圍彈性勁度 (short range elastic stiffness) 的概念，指出肌肉牽張時，肌肉長度超過此一範圍，則肌凝蛋白和肌動蛋白之間橫橋作用的數量減少而使得力量下降。所以牽張幅度 (stretch amplitude) 的大小對 SSC 動作會造成相當的影響，如 Thys et al (1975) 和 Asmussen et al (1974b) 對於 SSC 跳躍動作的研究中，發現小幅度角位移動作產生較高的機械效率 (mechanical efficiency)，並且能提高肌肉的力量和爆發力。Bosco et al (1981) 則認為較小的牽張幅度產生較短的偶聯時間，而較短的偶聯時間有助於彈性能的償還。本實驗的目的主要是研究兩種不同牽張幅度 SSC 動作之

下，產生的不同 SSC 機制和運動表現，即比較淺蹲和深蹲深跳 (drop jump DJ) 的彈性能能力和牽張反射肌電量之大小，並探討兩種跳法的運動表現。

二、研究方法

本次實驗受試者為田徑跳部選手和短跑選手共 11 名，平均年齡為 23.18 ± 2.64 ，身高為 173.0 ± 4.03 ，體重為 64.31 ± 5.97 。

本次研究實驗方法中，使用的主要儀器與設備區分為運動學、動力學和肌電測量三部分。運動學測量 (Kinometry) 部份包括 Penny 電子關節角度計和前置放大器；動力學測量部份包括 AMTI 測力板一台 ($60 \times 90\text{cm}$)；肌電圖測量 (EMG) 部份為 Biovision 肌電系統：包括兩個頻道肌電電極和放大器 (放大倍數為 1000、2500 和 5000) 測量比目魚肌和股直肌的肌電活動。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電極等，經由各自的微型放大器放大，連線至 16 頻道輸入器、A / D (類比 - 數位) 訊號轉換器，連接筆記型電腦，共同使用 DasyLab 信號分析軟體，以收集分析所需的資料。

本實驗採用快速的 SSC 動作，對於 20、40、60 公分不同高度的 DJ 進行彎曲較小角位移的淺蹲跳法和較大角位移的深蹲跳法。

本實驗以最快速度的 SJ 動作所收集的肌電為本實驗的標準化參考值，因這是一種純粹的肌肉向心收縮方式，並且是動態收縮方式。

本實驗的重要變數為：牽張幅度、支撐時間、離心末期力量、偶聯時間、離心平均肌電振幅、反射平均肌電振幅、向心平均肌電振幅、向心平均力量、騰空高度和衝量。以 T-test 分別來分析淺蹲與深蹲跳法的之差異，顯著水準為 .05。

三、結果與討論

淺蹲跳的全體總平均膝關節牽張角位

移為 70.4 度，標準差為 4.9 度；深蹲的平均膝關節牽張角位移為 90.9 度，標準差為 4.7 度。兩種跳法所花費的著地後至騰空前的支撐時間，三種高度總平均的淺蹲 DJ 支撐時間為 388 (43) ms，深蹲 DJ 的支撐時間為 593 (35) ms。

彈性能之儲存能力：本實驗中淺蹲跳法無論 DJ20、40 和 60 的離心末期力量，皆大於深蹲跳法，並達顯著差異 ($p=.009$)。SSC 動作時，離心收縮的彈性能儲存對於向心收縮所作的功有著相當的影響，而離心末期力量除了意味著向心期的起始力量，也代表著彈性能儲存能力 (Bosco et al 1982, Flitney et al 1975)。淺蹲跳法產生較大的離心末期力量，離心收縮時橫橋進行調整使得肌凝蛋白接頭向後扭轉而非向前旋轉，這也意味肌節儲存著較大的彈性能，並在隨後的向心作用恢復原狀 (Flitney & Hirst 1978)，這些彈性能如果善加利用，當可提升運動表現。但深蹲 DJ 時，肌肉被拉長超過短範圍彈性勁度，肌節產生退讓現象，此時肌凝蛋白和肌動蛋白橫橋作用的數量減少，代表彈性能的 AB 線段數目減少，減低彈性能，因此產生較小離心末期的力量，此一事實說明了淺蹲跳法儲存了較多的彈性能。

彈性能之償還能力：偶聯時間是影響 SSC 動作好壞的一個重要變數，偶聯時間愈短則彈性能愈能有效的償還，偶聯時間太長則彈性能將變成熱能而無法提高運動表現 (Cavagna et al 1965)。本實驗中淺蹲跳花費較短的偶聯時間，深蹲跳則花費較長的偶聯時間，並達顯著差異 ($p=.000$)，此一結果與 Bosco 等人 (1981) 的發現相同。除外，淺蹲跳的偶聯時間 / 支撐時間之比率小於深蹲，並達顯著差異 ($p=.001$)；並且牽張幅度和偶聯時間成高度正相關 ($r = .842$, $p = .01$)。這幾項事實說明了下列三點：(1) 淺蹲跳法因花費較短的偶聯時間，所以能夠較有效率的償還彈性能。(2) 深蹲跳法花費太多時間於離心轉換為向心收縮的償還階段。(3) 最快速度情況下，牽張幅度和偶聯時間具有

高度正相關，兩者並非獨立變數，選擇牽長幅度即可決定偶聯時間，所以 SSC 動作的控制變數僅考慮牽張速度和牽張幅度就已足夠了。

淺蹲和深蹲跳法之二階段肌電圖特徵：二階段肌電活動是指離心階段和向心階段的肌電特徵。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 的標準化離心平均肌電振幅，皆大於深蹲，並達顯著差異 ($p=.009$)，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，因此淺蹲跳法可以在單位時間內徵召較多的運動單位參與工作 (Herzog et al 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，因為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 (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的肌肉勁度 (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，淺蹲跳法可以產生較大的牽張反射和肌肉神經刺激，因此訓練時，宜採用淺蹲跳法。

淺蹲和深蹲跳法運動表現：本實驗運動表現檢查為騰空高度、離心平均力量、向心平均力量和衝量。淺蹲 DJ 無論 DJ20、40 和 60 的離心和向心平均力量均高於深蹲 DJ，並達顯著水準。離心力量方面，由於深蹲跳法牽張幅度太大而超出短範圍肌肉彈性勁度，使肌節產生退讓現象，力量下降。較大的離心平均力量，一方面意味淺蹲跳法承受較大的動作負荷與強度，本實驗證明淺蹲跳法可以產生較佳的彈性能和牽張反射機制，因此可以提高向心階段的力。另一方面，深蹲跳法無論 DJ20、40 和 60 的騰空高度，皆大於淺蹲跳法，並達顯著差異 ($p=.001$)，其原因是衝量因素之關係，深蹲跳法無論 DJ20、40 和 60 的衝量，皆大於淺蹲跳法，並達顯著差異。衝量是支撐時間內對地面反作用力進行積

分，深蹲的跳法中，雖然產生較小的地面反作用力，但動作支撐時間拉長，所增加的支撐時間增加了衝量，深蹲的跳法雖然無法產生較佳的彈性能能力及牽張反射肌電振幅，但結果卻是深蹲跳法的較長支撐時間，產生較多的衝量，最後跳出較佳的騰空高度。

結論

1、彈性能機制方面：淺蹲跳法儲存較大的彈性能且能夠較有效的償還彈性能。

2、牽張反射肌電活動：淺蹲跳法能夠產生較大的牽張反射肌電活動，因此淺蹲跳法可產生較大的神經肌肉刺激。

3 運動表現：淺蹲跳法產生較符合 SSC 機制的動作。深蹲 DJ 能產生較高的騰空高度，其原因主要是深蹲所產生的衝量大於淺蹲 ($P < .05$)。

二、建議

淺蹲 DJ 除了能夠儲存較大彈性能和產生較多的牽張反射，及較有效的利用彈性能和牽張反射機制，並且淺蹲跳法可以產生更大的刺激和較少的神經抑制作用，所以訓練時建議宜採淺蹲 DJ 跳法。深蹲 DJ 可以跳出較高的騰空高度，故，若比賽時或運動表現需要時，宜可採深蹲 DJ。

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。

Asmussen, E. et al (1974b). Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles in man during exercise. Acta. Physiol. Scand. 92: 537-545.

Bosco, C. et al (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. Acta. Physiol. Scand. 111: 135-140.

Cavagna, G. et al (1965). Effect of negative work on the amount of positive

work performed by an isolated muscle. J. Applied Physiol. 20: 157-158.

Dietz, V. et al (1979). Neuronal Mechanisms of Human Locomotion. J. Neurophysiol. 42(5): 1212-1222.

Flitney, F. W. & Hirst, D. G., (1978). Cross-bridge detachment and sarcomere 'give' during stretch of active frog's muscle. J. Physiol. 276: 449-465.

Flitney, F. W. et al (1975). Tension responses and sarcomere movements during length changes applied to contracting frog's muscle. J. Physiol. 251: 66-68p.

Gollfer, A. et al (1990). Reproducibility of electromyographic patterns in stretch-shortening type contractions. Eur. J Applied Physiol. and Occup. Physiol., 60: 7-14.

Houk, J. C. & Rymer, W Z., (1981). Neural control of muscle length tension. In V.B. Brooks, (Ed.). Handbook of physiology: Sec. .The nervous system: Vol. . Motor control. Part 1 (pp.257-324).

Herzog, W. et al (1994). EMG. In B. M. Nigg and W. Harzog (Eds.). Biomechanics of the musculo-skeletal system (p308~336). Champaign, Il : Human Kinetics Books.

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).

Norman, R. W. & Komi, P. V., (1979). Electromyographic delay in skeletal muscle under normal movement conditions. Acta Physiol. Scand. 106: 241-248.

Rack, P.M.H. et al (1974). The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. J. Physiol. 240: 331-350.

Thys, H. et al (1975). The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. Pflugers Arch. Eur. J. Physiol. 354: 281-286.