

蹲踞跳與下蹲跳之垂直跳躍指標 與等速肌力相關之探討

林正常、黃勝裕、陳重佑
國立台灣師範大學

摘 要

本研究的主要目的在探討最大等速膝伸展肌力與蹲踞跳及下蹲跳之垂直跳躍指標間的相關性，並探討彈動動作(counter-movement)在增進動作表現中的機制與意義。受試對象為17位中年男性。受試者在Cybex 6000等速測力儀從事每秒60度及120度的等速膝伸展最大肌力測試。蹲踞跳與下蹲跳則使用Kistler測力板各跳三次，以表現最佳的一次作為依據，藉由電腦軟體分析兩種不同跳躍方法之跳躍高度、最大力量、動力、快速肌力指數、至最大力量時間、最大發力率與總功量。研究發現：蹲踞跳躍高度與總功量顯著低於下蹲跳(0.47m)，與至最大力量時間則長於下蹲跳；兩種跳法於跳躍高度、至最大力量時間、總功量上有顯著的相關性($p < .05$)；每秒60度和每秒120度最大等速膝伸展肌力分別與蹲踞跳的最大力量(F_{max})呈顯著相關($r = .677$ & $r = .730$, $p < .01$)，除以體重的每秒120度最大等速膝伸展肌力亦與除以體重的蹲踞跳最大力量(F_{max}/BW)呈顯著相關($r = 0.488$, $p < .05$)；每秒60度最大等速膝伸展肌力與蹲踞跳的最大功率呈顯著相關($r = .567$, $p < .05$)，每秒120度最大等速膝伸展肌力更分別與下蹲跳與蹲踞跳的最大功率呈顯著相關($r = .654$ & $r = .687$, $p < .01$)。主要的研究結論為：(一)下蹲跳能較快地達到最大力量，提高垂直跳躍高度；(二)等速向心肌力不適於作為評估垂直立定跳運動表現的工具；(三)膝關節伸展等速向心肌力的量測並不會對量測肌群不會對作用肌群產生牽張反射，而量測到作用肌群的反射性肌力。

關鍵詞：蹲踞跳、下蹲跳、等速肌力、快速肌力指數、發力率

壹、緒 論

在一般的運動動作的起始動作，常利用身體的肢段，先作出與目標動作方向相反的動作(counter-movement)，而後在伴隨著主要的目標動作，如立定跳、排球封網等，此一相反的動作，在運動動作中必有其增進運動表現的因素與特殊意義，故探討其機轉的必要性則不言自明。

一、文獻探討

彈動動作使肌肉於一般的動作表現中，有預先牽張(pre-stretch)的介入，而後伴隨著向心的收縮，這樣的現象常被描述為牽張——縮短循環(stretch-shortening cycle, SSC, Norman & Komi, 1979)，肌肉能於這樣的循環下增加垂直跳的高度(Bobbert, Gerriten, Litjens, & Soest, 1996)，近年較重視的增強式訓練(pylometric training)即是強調利用這樣的動作模式從事訓練的工作(林正常, 1995)，來增進運動表現。其增進運動表現的因素主要可就肌肉的兩種構成部分來進行探討：一為主動收縮的部分，SSC能刺激肌肉增加收縮的程度；二為非收縮的部分，包含肌膜與其於肌肉末端匯集而成的肌腱等，皆為不可進行主動收縮的構造，而SSC能在肌肉的預先牽張中將彈性能量儲存於肌肉非收縮的部分，而後於向心收縮期將預存的能量釋放出來，進而相對於非SSC的動作提昇了運動表現。

造成蹲踞跳(squat jump; SJ)與下蹲跳(counter movement jump; CMJ)的跳躍高度差異的原因可能五點(Bobbert et al, 1996)：(一)CMJ能以較佳的協調性來完成垂直跳；(二)CMJ在向心收縮前能刺激肌肉達最大的主動狀態(maximum active state)；(三)CMJ能將肌肉彈性組織的能量加以儲存；(四)CMJ預先對肌肉的牽張使肌肉能達較高的刺激水準，產生較大的力量與功；(五)CMJ中預先對肌肉的牽張可改變肌肉收縮結構的條件。

Bobbert等人(1996)認為能量的儲存與再釋放並非使CMJ的跳躍高度高於SJ的主因，並主張主要的因素乃來自於肌肉能達到較高程度的收縮狀態。Voigt, Simonsen, Dyhre-Poulsen與Klausen(1995)研究不同預先牽張的強度對最大努力垂直跳運動表現的影響，發現在較低的預先牽張強度下(下蹲跳與從0.3公尺高度的跳深)比在較高的預先牽張強度(0.6與0.9公尺的跳深)具有較佳的運動表現，雖然此實驗中認為在預先的牽張中有可觀的能量($26 \pm 3\%$)儲存於肌腱之中，但卻不能以推蹬期時彈性能量的釋放來解釋運動表現的增進，而在較低的預先牽張強度下避免了肌肉受到過度的牽張，而保留了其後肌肉收縮與肌腱釋放彈性能量的一致性，且肌腱若接受過高的強度刺激，進而會引發高爾氏腱器(GTO)產生對作用肌反射抑制的效果(Vander, Sherman, &

Luciano, 1994)。Alexander & Bennet-Clark (1977) 利用人類的小腿肌 (triceps surae) 研究於最大等張收縮時所儲存的能量，僅有 1% 的彈性能量儲存於此肌肉--肌腱複合結構 (muscle-tendon complex) 的肌腱中。Cavagna (1977) 主張肌肉所產生的張力能影響彈性能量的儲存，在動作的離心期中，收縮的肌肉較鬆弛的肌肉能引發更大的彈性力量 (elastic recoil force)；Komi (1986) 亦認為此類反射性的運動能力的提高，乃是肌肉中非收縮組織的彈性與神經肌肉伸張反射共同作用的結果；且 Bosco & Komi (1979) 認為預先的伸張 (離心收縮) 與隨後向心收縮的結合，在速度、最大力量、動力輸出等變項上比單純的向心收縮較大。

承上述文獻，不論是神經性的牽張反射亦或肌肉力學上的條件，皆是使 CMJ 能較 SJ 跳得高的原因，因此動態性的肌肉功能極可能可以決定屬於長時間 SSC 之 CMJ 的運動表現；而等速肌力這項較新的肌肉檢測方法漸漸打破過去認為一次最大重複負荷 (1-RM) 是最佳評估肌力方式的觀念，等速肌力較常被用來進行肌肉動態性功能的評估，Dempsey, Ayoub, 與 Westfall (1998) 於預測最大可舉起的重量 (MAWL) 的研究中認為動態的等速肌力測試較靜態的等長肌力測試與預測的 MAWL 之間有較高的相關性，較適於預測 MAWL。Poulmedis, Rondoyannis, Mitsou 與 Tsarouchas (1988) 的研究中以 11 位希臘頂尖的足球員為受試者，發現於各角速度下 (每秒 30 度，90 度和 180 度) 相對於體重的最大等速肌力與球員踢球後球的初速度有顯著的相關性。總而言之，等速肌力的量測似乎較適於進行肌肉整體性功能的評估。

多數實驗中所進行的等速肌力的量測中，以肘屈肌群為例，大部份在機械臂連續屈肘與伸肘的動作中量測得等速肌力，動作間的轉換是否會造成彈動動作的效果？而多數的運動動作型態多多少少皆伴隨有彈動動作的存在，進而使等速肌力與肌肉整體性的功能表現之間呈現顯著的相關？上述皆為未知的疑問，在利用等速肌力以為評估運動表現的工具或相關研究的領域上，是極為重要且值得深入探究的問題。

二、研究目的

本實驗的主要研究目的為探討最大等速伸展肌力 (E60 度 p & E120 度 p) 和相對最大等速伸展肌力 (E60 度 p/BW & E120 度 p/BW) 於下蹲跳 (CMJ) 與蹲踞跳 (SJ) 中與垂直跳躍指標的相關性，觀察各垂直跳躍指標於不同跳法中的差異性。

貳、方法與步驟

一、實驗器材

(一) Cybex 6000 等速測力儀。

(二) Kistler 9287 型測力板。

(三) Bioware Performance Module Biomechanical Software Analysis System 軟體。

二、受試對象

受試者為 17 位中年男性，平均體重為 74.28 公斤重。

三、研究步驟

每位受試者在雙手插腰的情況下，以最大能力分別於測力板上完成蹲踞跳 (SJ) 與下蹲跳 (CMJ) 三次，之後，再接受等速肌力測試：分別測試於膝關節每秒伸展 60 度與 120 度的向心最大等速肌力。

四、資料收集

SJ 與 CMJ 三次中，取表現最佳（跳的最高）的一次進行資料分析，利用軟體計算出動作中的各垂直跳躍指標。等速肌力方面，除了記錄膝關節每秒伸展 60 度（E60 度 peak）與 120 度（E120 度 peak）下的向心最大等速肌力，並將此最大等速肌力除以受試者的體重 (body weight, BW)，以作為相對性肌力的相關統計。

五、統計方法

以重複量數 t test 考驗蹲踞跳與下蹲跳各垂直跳躍指數間的差異性；再以皮爾遜積差相關 (Pearson product-moment correlation) 計算各等速肌力、相對等速肌力與各垂直跳躍指標的關係（林清山，1997），顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

參、結果與討論

垂直跳躍指數於部分變項中在下蹲跳與蹲踞跳中呈顯著的差異（表一）：CMJ 組的跳躍高度 $0.47 \pm 0.046\text{m}$ 顯著高於 SJ 組的 $0.32 \pm 0.045\text{m}$ ($p < .05$)；至最大力量所花的時間 CMJ 組 $0.22 \pm 0.084\text{sec}$ 比 SJ 組的 $0.30 \pm 0.085\text{sec}$ 較短 ($p < .05$)；總功量，CMJ 組的 $590.42 \pm 113.46\text{J}$ 顯著高於 SJ 組的 $535.82 \pm 115.49\text{J}$ ($p < .05$ ，見表一)。

跳躍高度於 CMJ 組顯著高於 SJ 組，且差異達 15 公分之譜，Bobber 等人實驗結果，發現即使推蹬期時的起始位置相同，CMJ 與 SJ 的跳躍高度仍有 3.4 公分的差距，該實驗中並未控制起始的位置，因而造成如此大的差距；蹲踞跳與一般的跳躍動作不同，在實驗中強烈要求受試者作出標準的蹲踞跳時，受試者無法即時熟悉蹲踞跳，因而降低了其跳躍高度，也可能是實驗中造成跳躍高度如此大的原因；Bobbert 等人 (1996) 認為導致 CMJ 高於 SJ 的原因之一可能是因為 CMJ 可於向心收縮前達到肌肉力量的極

表一 各垂直跳躍指標之平均數、標準差、與顯著性考驗

	跳法	平均數	標準差	顯著性
跳躍高度 (m)	CMJ	.47	.046	P<.05*
	SJ	.32	.045	
最大力量 (Fmax, N)	CMJ	1916	233	
	SJ	1819	303	
最大力量/體重 (Fmax/BW)	CMJ	2.63	.30	
	SJ	2.50	.38	
最大功率 (Pmax, J/sec)	CMJ	4011	487	
	SJ	3990	363	
快速肌力指數 (Fmax/Tmax)	CMJ	6543	3006	
	SJ	4880	4207	
至最大力量時間 (Tmax, sec)	CMJ	0.22	.084	P<.05*
	SJ	0.30	.085	
最大發力率 (RFD, N/sec)	CMJ	12985	6158	
	SJ	10428	4645	
總功量 (Work, J)	CMJ	590.42	113.46	P<.05*
	SJ	535.82	115.49	

*: p<.05

值，CMJ 應能於較快的時間達到較大的最大力量，而實驗中 CMJ 達最大力量所花的時間顯著較 SJ 組短，符合此學者的論點。而在最大力量、最大力量/體重、動力、快速肌力指數、與發力率等變項上，兩組未呈現顯著的差異性，與 Bosco & Komi (1979) 所認為的：在速度、最大力量、功率輸出等變項上比單純的向心收縮較大的結果有所不同。Voig 等人認為 CMJ 與跳深的不同主要在於 CMJ 是以較小的力量於較長的時間完成動作，以實驗中最大力量的比較，並不能同意這樣的說法。因此由實驗的結果，筆者認為 CMJ 與 SJ 運動表現的差異，主要導因於 CMJ 能較快地達到最大力量，可能間接於動作中產生較大的功與衝量，使垂直跳躍高度較高。

如表二，兩種絕對與相對向心等速肌力與 CMJ 或 SJ 的跳躍高度呈現零相關 ($p>.05$)，且在 SSI, RFD, 總功量等指標上皆無任何顯著相關的現象，因此向心等速肌力的量測並不適於進行垂直立定跳的評估。在最大等速肌力方面，E60 度 p 和 E120 度 p 分別與 SJ 組的 Fmax 呈顯著相關 ($r=.677$ & $r=.730$, $p<.05$)，E120 度 p/BW 亦與 SJ 組的 Fmax/BW 呈顯著相關 ($r=0.488$, $p<.05$)，由上述的相關性證明了膝關節伸展的向心等速肌力適合用於評估垂直立定跳中作用肌肉於動態中所能發揮最大力量的整合性表現，且相對性肌力適於評估相對性的力量表現。E60 度 p 與 SJ 組的最大功率呈顯著相關 ($r=.567$, $p<.05$)，E120 度 p 更分別與 CMJ 組與 SJ 組的最大功率呈顯著相關 ($r=.654$ & $r=.687$, $p<.05$)，原因可能為 SJ 與 CMJ 的動作中，膝關節的角速度約略在 120 度左右 (Fukashiro, Komi, Jarvinen, Miyashita, 1995)

表二 向心等速肌力與垂直跳躍指標的相關

		E60p	E120p	E60p/BW	E120p/BW
跳躍高度	CMJ	-.022	-.010	.149	.261
(m)	SJ	-.057	-.167	.278	.169
最大力量	CMJ	.184	.362	-.198	-.089
(Fmax, N)	SJ	.677*	.730*	.317	.381
最大力量/體重	CMJ	-.237	-.339	.064	.040
(Fmax/BW)	SJ	.311	.208	.451	.488*
最大功率	CMJ	.369	.654*	-.083	.206
(Pmax, J/sec)	SJ	.567*	.687*	.162	.256
快速肌力指數	CMJ	.063	-.025	.145	.074
(Fmax/Tmax)	SJ	.247	.190	.309	.350
最大發力率	CMJ	.139	.020	.230	.125
(RFD, N/sec)	SJ	.413	.201	.431	.246
總功量	CMJ	.213	.431	-.241	-.149
(Work, J)	SJ	.038	.187	-.298	-.295

*: $p < .05$

由整個相關研究的結果並無法看出測量等速肌力時，在機械臂快速變換轉動方向的情況下，對作用肌群造成類似彈動動作作用的現象，因此研究者認為實際量測向心等速肌力應不會對作用肌群產生牽張反射，而量測到作用肌群的反射性肌力 (reactive strength, 劉宇、江界山、陳重佑, 1996)。更快角速度的等速肌力是否會因為對量測肌群造成彈動動作的效果而造成肌肉的牽張反射，增加肌肉收縮的活動狀態 (Kliani, Palmer, Adrisn, 與 Gapsis, 1989)？在未來的實驗中，應可利用較高速的向心等速肌力量測，進行類似研究，更可於動作中加入肌電圖的監測，以利進一步的確認。

肆、結 論

由實驗結果所得到的主要的研究結論為：(一)下蹲跳能較快地達到最大力量，可能間接於動作中產生較大的功與衝量，提高垂直跳躍高度；(二)等速向心肌力不適用於作為評估垂直立定跳運動表現的工具；(三)膝關節伸展等速向心肌力的量測並不會對量測肌群造成彈動動作，對作用肌群產生牽張反射，而量測到作用肌群的反射性肌力。

參考文獻

- 林清山。(1997)。心理與教育統計學 (pp.117-144)。台北：東華書局。
 林正常。(1995)。運動生理學。台北：師大書苑有限公司。
 劉宇、江界山、陳重佑。(1996)。肌力與肌力診斷的生物力學基礎。台灣師大體育研

究, 2, 150-178.

- Alexander, R. McN. & Bennet-Clark, H.C. (1977). Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues. Nature, 265, 114-117.
- Bobbert, M. F., Gerriten, K. G. M., Litjens M. C. A., & Soest A. J. V. (1996). Why is counter-movement jump height greater than squat jump height? Medicine and Science in Sports and Exercise, 28 (11), 1402-1412.
- Bosco, C. & Komi, P. V. (1979). Potentiation of myoelectric activity of human muscles in vertical jump. Electromyography and Clinical Neurophysiology, 22, 549-562.
- Cavagna, G. A. (1977). Storage and utilization of elastic elastic energy in skeletal muscle. Exercise & Sport Science Review, 5, 89-129.
- Dempsey, P. G., Ayoub, M. M., & Westfall, P. H. (1998). Evaluation of the ability of power to predict low frequency lifting capacity. Ergonomics, 41 (8), 1222-1241.
- Fukashiro, S., Komi, P. V., Jarvinen, M., Miyashita, M. (1995). In vivo achilles tendon loading during jumping in human. European Journal of Applied Physiology, 71, 453-458.
- Kilani, H. A., Palmer, S. S., Adrian, M. J., & Gapsis, J. J. (1989). Block of the stretch reflex of vastus lateralis during vertical jump. Human Movement Science, 8, 247-269.
- Norman, R. W. & Komi, P. V. (1979). Electromyographic delay in skeletal muscle under normal movement conditions. Acta Physiologica Scandinavica, 106, 241.
- Poulmedis, P., Rondoyannis, G.; Mitsou, A.; & Tsarouchas, E. (1988). The influence of isokinetic muscle torque exerted in various speeds on soccer ball velocity. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 10 (3), 93-96.
- Vander, A.J., Sherman, J.H., & Luciano, D.S. (1994). Human physiology: The mechanisms of body function (6th edi.). New York: McGraw-Hill, INC. pp. 357.
- Voigt, M., Simonsen, E. B., Dyhre-Poulsen P., & Klausen, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestrech loads. Journal of Biomechanics, 28 (3), 293-307.

投稿日期：88年5月
審稿日期：88年6月
接受日期：88年8月

Correlation between the Concentric Isokinetic Peak Torque and the Vertical Jumping Indexes of Squat Jumps and Counter-Movement Jumps

Jung-Charng Lin, Shen-Yu Huang & Chung-Yu Chen
National Taiwan Normal University

Abstract

The purposes of this study were firstly to determine the relationship between the concentric isokinetic peak torque and the vertical-jumping indexes, secondly to observe the significant difference between the vertical-jumping indexes of squat jump (SJ) and counter-movement jump (CMJ), 17 mid-aged healthy males participated in this study. The concentric isokinetic peak torque (knee extension: 60 degree \cdot s⁻¹ and 120 degree \cdot s⁻¹) of each subject was obtained by Cybex 6000. Then, the subjects performed SJs and CMJs three times individually with their maximal effort on the Kistler force plate. The vertical-jumping indexes, jump height (JH), maximal force (Fmax), maximal power (Pmax), SSI, RFD, total work (W), and the time to maximal force (Tmax), were computed by Bioware Performance Module Biomechanical Software Analysis System (version 1.0) on a computer. The JH, Tmax, & W were significantly different between CMJ and SJ ($p < .05$); The E60p and E120p correlated to Fmax in SJ significantly ($r = .677$ & $r = .730$, $p < .01$), and the E120p correlated to Pmax in SJ and CMJ ($r = .654$ & $r = .687$, $p < .01$). All the data suggest that: (1) To reach the Fmax more fast in CMJ resulted in greater height in CMJ than SJ; (2) The concentric isokinetic peak torque is not suitable to evaluate the performance of standing vertical jump; (3) There was no counter-movement to induce the stretch reflex in the activated muscle group during isokinetic torque tests.

Key words: squat jump, counter-movement jump, isokinetic peak torque, speed strength index, rate of force development