

以獲取運動速度的最大衝量原理 探討垂直跳動作的擺臂作用效果

陳重佑

中文摘要

根據「獲取運動速度的最大衝量原理」，有效衝量乃是通過增加作用力的大小、增加力量的作用時間與增加力量-時間曲線的斜率等三種因素達成。由於擺臂動作常常較無擺臂動作的跳躍高度高，因此，本研究的主要目的是探討擺臂與否在影響有效衝量因素的差異，進而比較有無擺臂作用的下肢肌電訊號與動力學特徵等。實驗整合了 Kistler 測力板(1200Hz)、Peak 高速攝影機(120Hz)和 Biovision 肌電圖(1200Hz)的多機同步分析，測量優秀大專運動員(男生 15 名、女生 12 名)擺臂與不擺臂(叉腰)原地垂直跳動作，並進一步以動力學逆過程法計算關節力矩。結果顯示擺臂的作用主要是延長了作用力的時間，以增加有效衝量，而提昇了騰空的高度($p < .05$)；至於有無擺臂之原地垂直跳的最大力量與最大的力量變化率，則無顯著的差異($p > .05$)。女性原地垂直跳高度主要受肌力因素的影響($p < .05$)，騰空高度低於男性，而動作時間方面並無差異存在($p > .05$)。從動力學與肌電訊號的特徵推論，擺臂的作用機制將使腿後肌腱群產生伸展踝關節的效果，進而延緩了腓腸肌與比目魚肌的加速收縮速度，以增加作用力的時間、提昇騰空的高度。

關鍵詞：原地垂直跳、擺臂、肌電圖、動力學

編輯註：本文為邀稿

APPLICATION OF MAXIMUM IMPULSIVE PRINCIPLE IN THE STUDY OF THE EFFECT OF ARM ACTIONS ON THE VERTICAL JUMP

Chung-Yu Chen

Abstract

The larger area of effective impulse during a vertical jump corresponds a greater jump height. However, the principle of maximum impulse to achieve movement velocity indicated that there are three methods to increase the impulse area : to increase the peak force, to lengthen the time of applied force, and to raise the slope of force curve. The present study aimed to investigate the effect of the arms swing and no arms swing on countermovement vertical jump (CMJ) that acquired by force platform (1200Hz) and to compare the difference of 15 male college athletes from 12 female college athletes performing CMJ by the principle of maximum impulse to achieve movement velocity. This study also compared the reaction characters of EMG signals (1200Hz) and kinetics (120Hz) in order to interpret the mechanism of arms swing during CMJ. The results showed that lengthening the force applied time was the main factor to increase jumping height for arms swing versus no arms swing ($p < .05$), and female jumpers due to lesser strength factors their jumping height were lower than male jumpers height ($p < .05$), but the effect of arms swing showed no any gender difference ($p > .05$). EMG data indicated that the hamstrings might produce the action of plantar flexion during the arms swing of CMJ in order to postpone the gastrocnemius and soleus accelerating for contraction.

KEY WORDS : countermovement vertical jump, arms swing, electromyography, kinetics.

壹、緒論

一、問題背景

人體運動的過程中，經常有其他肢體伴隨共同作用的現象，例如在田徑的跨欄時，運動員為了平衡下肢的抬高跨步動作，對側上肢就會動作幅度加大地產生與下肢運動方向相反的運動，而通常生物力學研究者會以角動量守恆 (conservation of angular momentum) 的觀點來加以解釋 (Hay, 1993; Hall, 2003)。而肢體除了產生平衡的效果以外，許多起跳動作常常有許多生物力學研究者或運動指導者指出擺動動作可以增加起跳的蹬地力量與提高重心離地瞬間的高度 (Dapena, 1999; Hall, 2003)，所以，跳高時起跳腳對地面蹬伸也結合了手臂的上抬與非起跳腳的上踢或上擺工作。在體操運動或跳水運動中，肢體的擺動或帶動也可以增加人體翻轉的角動量，而提升騰空階段旋轉的角速度 (Miller, Henning, Pizzimenti, Jones, & Nelson, 1989)。

上述文獻顯示肢體擺動帶來的效應不外乎是平衡身體的姿勢與增加對地面的蹬地力量，特別是增加地面反作用力，Dapena (1999) 則根據簡化的力量傳遞假說 (force transmission hypothesis)，並通過 Alexander 的人體模型檢證擺臂速度相對於人體垂直跳離地速度的關係，說明擺臂動作除了可以具有力量傳遞的功能增加離地瞬間的速度外，擺臂也會減少髖關節伸肌向心工作的速度而加大了向下的地面反作用力。若以原地垂直跳而言，動作者經常性透過手臂的擺動或帶動來獲取較高的離地速度，俾使離地高度大幅增加。從生物力學的角度，垂直跳的高度要越高，人體的離地速度就要越快，而若是要要求人體離地瞬間速度要快，根本上就要求人體在動作開始到離地前的下肢推蹬產生較大的衝量。由圖 1A 的地面反作用力-時間曲線若減去動作者的體重 mg ，就可得到動作者的合力作用 ($\Sigma F = F(t) - mg$)，而此一合力的作用又等於 ma ，所以，人體所受到的加速度作用為：

$$a = \frac{F(t) - mg}{m} = \frac{F(t)}{m} - g$$

若人體重心加速度 a 對時間積分，就可獲得重心的速度(圖 1B)，若重心速度對時間積分，就可獲得人體重心動作過程的位移曲線(圖 1C)，而通常力學上定義功率(Power，也定義為爆發力)為速度與力量的乘積，因此，獲得了功率對時間的曲線(圖 1D)。

事實上，上述的重心速度改變與地面反作用力的關係，也可以根據動量-衝量定理(impulse-momentum relationship)加以解釋。動量-衝量的關係可表達為：

$$\int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = m(v_2 - v_1)$$

m 為人體質量； v_1 為 t_1 時的重心速度； v_2 為 t_2 時的重心速度； $F(t)$ 為力量曲線函數。

上式等號的左邊代表著力量-時間曲線與時間軸所夾的面積，即為衝量，等於動量的變化量(等式的右邊)。因為垂直跳過程的動作者合外力作用為 $F(t)-mg$ ，此時若是合外力對時間積分(也就是 $F(t)$ 對體重線的面積)，就會等於人體重心的動量變化量，所以，動量-衝量的關係就應表達為：

$$\int_{t_1}^{t_2} (F(t) - mg) dt = m(v_2 - v_1)$$

也就是說， $F(t)$ 對體重線下方的面積就為負衝量(為時間 1 到時間 2 的力量-時間面積)， $F(t)$ 對體重線上方的面積則為正衝量(為時間 2 到時間 4 的力量-時間面積)。可見在垂直跳的動作中，若減少這負衝量的面積或是加大正衝量的面積，均可以使人體獲得離地瞬間有較大的速度。

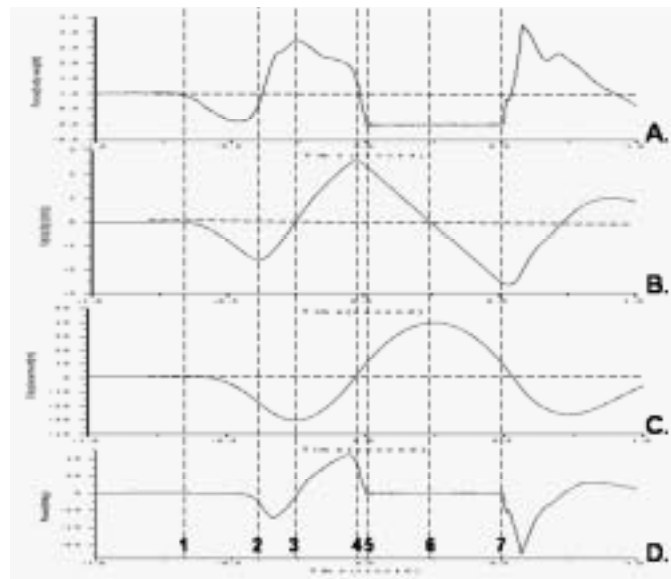


圖 1：原地垂直跳之生物力學曲線特徵。A 為地面反作用力-時間曲線；B 為重心速度-時間曲線；C 為重心位移-時間曲線；D 為功率-時間曲線。1 為動作開始；2 為下蹲速度最大值；3 為下蹲最低點；4 為速度最大值；5 為離地瞬間；6 為騰空最高點；7 為著地瞬間。

由上述的生物力學原理，若是擺臂的效果提昇了原地垂直跳的離地高度，那麼，就代表了離地瞬間速度的明顯增加，而這離地速度增加則源自於力量對時間曲線的總面積(也就是總衝量)的增加。過去探討擺臂作用對於垂直跳效果的相關研究，不外乎總衝量和離地速度的比較，或僅止於最大地面反作用力的探討，Harman、Rosenstein、Frykman 與 Rosenstein (1990) 和 Payne、Slater 與 Telford (1968) 等研究也都指出擺臂垂直跳的最大地面反作用力顯著高於叉腰垂直跳的最大地面反作用力($p < .05$)，研究者 Dapena (1999) 更是直接認定擺臂垂直跳的地面反作用力必大於沒有擺臂垂直跳動作而進行擺臂速度與離地速度關係的模擬。然而，劉宇(1998)則總結了衝量-動量關係，並觀察體育運動追求跳得高、跑得快、跳或投擲得遠的高競技水準特性，提出了「獲取運動速度的最大衝量原理(the principle of maximum impulse to achieve movement velocity)」指出運動員或動作表現者為了使人體或器械達到最大的運動速度，就必須使力量作用產生

最大的衝量，其增加衝量的策略，也就是增加力量-時間曲線面積的方法有三：增加最大力量、增加作用力的時間與增加力量-時間曲線的斜率。過去關於擺臂效果的研究，從劉宇提出「獲取運動速度的最大衝量原理」的增加衝量策略上，只是侷限於最大力量的探討與比較，是否有其他因為擺臂作用增加衝量的因素，則亟待研究進一步證實了。

二、研究目的

本研究的主要目的係以「獲取運動速度的最大衝量原理」推論的運動速度增加可能因素為理論基礎，比較擺臂與否對垂直跳的有效衝量提昇機制。本研究並結合肌肉電訊號與下肢關節力矩的同步計算，定性探討擺臂動作帶來之可能效應。

貳、研究方法

一、實驗參加者

本研究以 27 名大專校隊運動員(男生 15 名、女生 12 名)為志願的實驗參加者，實驗參加者的基本資料如表 1，經研究者說明實驗目的與流程後簽署同意書與基本資料調查表。

表 1：實驗參加者基本資料表。

組別	人數	身高(cm)	體重(kg)	年齡(歲)
男生	15			
平均數		169.8	61.2	20.8
標準差		6.6	6.6	1.8
女生	12			
平均數		164.6	56.3	20.4
標準差		4.3	6.6	1.0

二、實驗設備與程序

本研究以 Kistler (model 9287)測力板(1200Hz)、 Biovision 多通道生物訊號收集系統(8 頻道、 1200Hz)與 Peak 高速攝影機(120Hz)等，透過同步訊號產生器進行三機同步的訊號採集。其中，高速攝影機主要是收集實驗參加者右側矢狀面的下肢運動學參數，並以 Peak Performance 的 Motus 二度空間影像分析系統數位化點取實驗參加者原地垂直跳過程的肩峰、髖、膝、踝與腳尖等關節點，關節標誌點經零相位移四階低通濾波的修勻處理後，結合 Winter (1990)整理後的 Dempster 人體肢段參數與測力板的地面反作用力資料進行動力學逆過程(inverse dynamics)的下肢關節力矩計算；測力板收集得的原地垂直跳地面反作用力則經 BioWare Performance 1.0 版之分析軟體計算重心的壓力中心點、合力、加速度、速度與位移等參數；肌肉電訊號係收集右側下肢的臀大肌(gluteus maximus)、半膜肌(semimembranosus)、股二頭肌長頭(biceps femoris)、股直肌(rectus femoris)、股內側肌(vastus medius)、脛骨前肌(tibialis anterior)、腓腸肌(gastrocnemius)與比目魚肌(soleus)等肌肉電訊號，原始肌肉電訊號(EMG)經 Dasy Lab 6.0 版系統的 50Hz-450Hz 濾波處理後，再取絕對值上翻處理(full-wave rectification)，方進行 30Hz 的線性封波(linear envelope)處理。

實驗參加者以隨機的方式進行叉腰垂直跳與擺臂垂直跳測驗各 5 次，研究以每一種跳躍的最佳表現(以離地速度最大值判定)作為統計分析的參數與進行曲線特徵的比較。叉腰垂直跳動作要求實驗參加者在動作全程將手掌置於兩腰際髖骨上緣；而擺臂垂直跳動作則要求實驗參加者在站立時雙手自兩側懸垂的自然角度姿勢開始，動作時，下蹲並同時先手臂後擺(肩關節產生過度伸展動作)再手臂前擺(肩關節屈)上跳離地，實驗參加者若先出現手臂前擺的肩關節屈動作則視為失敗動作。

三、統計分析與資料處理

測力板的動力學參數經 BioWare Performance 1.0 版分析軟體計算動作過程的負衝量(圖 1A 的線 1 至線 2 面積)、正衝量(圖 1A 的線 2 至線 4 面積)、最大地面反作用力(圖 1A 的線 2 至線 4 之曲線最大值)、最大發力率(圖 1A 的線 2 至線 4 之曲線斜率最大值)與正負衝量產生的作用力時間等參數。再以 SPSS 11.0 版統計軟體進行 2(性別) \times 2(跳法)的混合設計二因子變異數分析,統計的顯著水準 α 設定為.05。研究的 EMG 訊號與動力學逆過程計算得的下肢關節力矩則僅作為動作各階段之辨別與進行曲線變化特徵的定性分析。

參、結果與討論

一、地面反作用力-時間曲線參數分析

表 2 顯示男子運動員與女子運動員完成擺臂與叉腰垂直跳的地面反作用力曲線參數特徵。從騰空高度的比較性別與跳法的交互作用並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=1.37$, $p=.25$, $\eta^2=.05$, $Power=.20$),而在性別的主要效果則顯示男生高於女生($F_{(1, 25)}=121.81$, $p=.00$, $\eta^2=.83$, $Power=1.00$)、在跳法的主要效果顯示擺臂垂直跳也高於叉腰垂直跳($F_{(1, 25)}=115.39$, $p=.00$, $\eta^2=.82$, $Power=1.00$),這一結果或許是可想而知,也與過去相關文獻的結果相同(Boudolos, 1998; Harman 等人, 1990)。當然,這一結果從力學原理推論也必然反映在垂直跳的擺臂跳離地速度高於叉腰跳離地速度,且這離地速度來自於總衝量對身體質量的商,所以,由表 2 的總衝量也就顯示性別與跳法的交互作用並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=0.72$, $p=.40$, $\eta^2=.03$, $Power=.13$),而在性別的主要效果則顯示男生高於女生($F_{(1, 25)}=100.70$, $p=.00$, $\eta^2=.80$, $Power=1.00$)、在跳法的主要效果顯示擺臂垂直跳也高於叉腰垂直跳($F_{(1, 25)}=70.60$, $p=.00$, $\eta^2=.74$, $Power=1.00$)。

由於垂直跳動作的地面反作用力-時間曲線的總衝量來自於正衝量與負衝量的總和,所以,當總衝量在不同跳法與性別的主要效果達到統計的顯著差異後,

本研究則需進一步針對負衝量與正衝量各別分析。如表 2 所示，負衝量在性別與跳法的交互作用有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=4.36$, $p=.05$, $\eta^2=.15$, $\text{Power}=.52$)，而在性別的主要效果則顯示男生高於女生($F_{(1, 25)}=30.76$, $p=.00$, $\eta^2=.55$, $\text{Power}=1.00$)、在跳法的主要效果則顯示擺臂垂直跳與叉腰垂直跳並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=0.329$, $p=.57$, $\eta^2=.01$, $\text{Power}=.09$)，這一性別差異顯示男生向下深蹲的整體作用均高於女生組，而有無擺臂對於原地垂直跳的差異並沒有影響負衝量的大小，所以，擺臂與否之於總衝量的差異應就是正衝量的大小所產生了，這一結果也確實反映在正衝量的變異數分析上。正衝量顯示性別與跳法的交互作用並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=0.01$, $p=.91$, $\eta^2=.00$, $\text{Power}=.05$)，而在性別的主要效果則顯示男生高於女生($F_{(1, 25)}=107.53$, $p=.00$, $\eta^2=.81$, $\text{Power}=1.00$)、在跳法的主要效果顯示擺臂垂直跳也高於叉腰垂直跳($F_{(1, 25)}=8.15$, $p=.01$, $\eta^2=.25$, $\text{Power}=.78$)，可見擺臂跳的動作在騰空高度提升主要在正衝量的作用增加。

表 2：不同性別實驗參加者完成擺臂與不擺臂垂直跳動作之生物力學參數。

性別	騰空 高度*+	總衝量 *+	負衝量 +	正衝量 +*	最大 力量+	最大 發力率+	負衝量 時間	正衝量 時間*
跳 法	(m)	(BW . s)	(BW . s)	(BW . s)	(BW)	(BW/s)	(s)	(s)
男生								
叉腰跳								
平均數	0.565	2.95	1.58	4.62	2.908	17.304	0.398	0.439
標準差	0.066	0.20	0.24	0.32	0.488	6.929	0.053	0.040
擺臂跳								
平均數	0.657	3.14	1.50	4.78	2.844	18.171	0.491	0.459
標準差	0.062	0.19	0.27	0.37	0.423	6.863	0.117	0.032
女生								
叉腰跳								
平均數	0.358	2.29	1.10	3.57	2.404	12.727	0.351	0.389
標準差	0.033	0.18	0.08	0.20	0.249	4.327	0.066	0.050
擺臂跳								
平均數	0.432	2.45	1.15	3.72	2.347	12.385	0.362	0.460
標準差	0.045	0.14	0.15	0.25	0.126	3.055	0.095	0.111

跳法：* $p < .05$ 性別：+ $p < .05$
BW 為單位體重

依「獲取運動速度的最大衝量原理」指出衝量的增加來自於增加最大力量、增加作用力的時間與增加力量-時間曲線的斜率等三種原因。因此，本研究則針對貢獻正衝量的最大力量、作用力時間與最大發力率(力量-時間曲線的斜率)等進行比較。結果發現最大力量在性別與跳法的交互作用並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=0.01$, $p=.91$, $\eta^2=.00$, $\text{Power}=.05$)，而在性別的主要效果則顯示男生高於女生($F_{(1, 25)}=30.76$, $p=.00$, $\eta^2=.55$, $\text{Power}=1.00$)、在跳法的主要效果則顯示擺臂垂直跳與叉腰垂直跳並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=3.01$, $p=.10$, $\eta^2=.11$, $\text{Power}=.39$)；最大發力率在性別與跳法的交互作用也沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=1.07$, $p=.31$, $\eta^2=.04$, $\text{Power}=.17$)，而在性別的主要效果則顯示男生明顯高於女生($F_{(1, 25)}=5.86$, $p=.02$, $\eta^2=.19$, $\text{Power}=.64$)，但是此一項參數差異比較的統計考驗力則較為低，在跳法的主要效果則顯示擺臂垂直跳與叉腰垂直跳並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=0.20$, $p=.66$, $\eta^2=.01$, $\text{Power}=.07$)。此一結果是與過去不管是 Harman 等人(1990)的實證性研究或是 Dapena (1999)理論推導與模擬的基本假定等文獻完全不同，顯示擺臂致使正衝量的增加在本研究中並沒有支持是力量值的大小或是發力率的多寡使然。在進一步分析正衝量產生的力量作用時間，本研究發現性別與跳法的交互作用並沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=3.41$, $p=.08$, $\eta^2=.12$, $\text{Power}=.43$)，而在性別的主要效果則顯示男生與女生也沒有顯著差異($F_{(1, 25)}=1.46$, $p=.24$, $\eta^2=.06$, $\text{Power}=.21$)、在跳法的主要效果顯示擺臂垂直跳也高於叉腰垂直跳($F_{(1, 25)}=10.41$, $p=.00$, $\eta^2=.29$, $\text{Power}=.87$)，此一結果顯示擺臂大幅增加了作用力的時間將近 50 毫秒。如果研究者假定作用力的時間係屬於垂直跳躍技術方面的指標，那麼，從男生與女生的作用力時間沒有差異的此一結果，垂直跳的動作技術應是沒有性別差異存在。所以，本研究也仿造過去比較垂直跳牽張-縮短循環(stretch-shortening cycle)效果的文獻(Harrison & Gaffney, 2001; Enoka, 2002)，比較擺臂效果的高度提升率((擺臂跳高度 - 叉腰跳高度) / 叉腰跳高度)，結果發現男生($.17 \pm .08$)與女生($.21 \pm .12$)沒有顯著差異存在($F_{(1, 25)}=1.17$, $p=.29$, $\eta^2=.05$, $\text{Power}=.18$)，這說明了若排除了肌力的因素，性別的差異在擺臂的效果上應是不

存在，這一結果也可以與前述作用力的時間無差異一因素相互呼應。

二、關節力矩與肌肉電訊號分析

由於上述擺臂與叉腰垂直跳的動作時間有所不同，且在力矩的計算有使用人體肢段參數的偏差與肌肉電訊號收集時的電極黏貼位置的一致性研究的絕對數值化限制，所以，在此一部分僅就動作之生物力學曲線特徵進行定性分析。如圖 2 所示，男性實驗參加者 Q 叉腰垂直跳的動作時間略短於擺臂垂直跳約 80 毫秒，而從下肢的髖、膝、踝關節依序開始伸展的順序與時間差進行比較，研究發現叉腰垂直跳的伸髖、伸膝、伸踝開始時間均非常接近，甚至有實驗參加者的三個時間相同；而擺臂垂直跳的伸髖開始時間至伸踝開始時間就相差了約 80 毫秒，且影響踝關節伸展的主要肌肉群包括腓腸肌與比目魚肌，都會在此一伸髖開始至伸踝開始的階段出現肌肉電訊號抑制，並再從伸踝關節開始時又產生肌肉電訊號。反觀叉腰垂直跳的此一階段，不僅幾乎沒有依序產生下肢關節伸展的時間差，影響踝關節伸展的腓腸肌與比目魚肌也沒有明顯出現如同擺臂垂直跳的肌肉電訊號抑制現象。因為，線 1 與線 2 分別為髖關節與踝關節開始伸展的瞬間，若是結合此階段前後的關節淨力矩均是伸肌工作的階段，顯示在伸髖、伸膝與伸踝關節前，下肢各關節的伸肌群應都是產生作負功的離心工作。

在這開始伸髖至開始伸踝關節的階段，擺臂垂直跳動作因為也處於上肢向上帶動，對髖關節的作用就肢段間互動的動力學(intersegmental dynamics)概念，將會對髖關節產生伸髖關節之依運動產生的力矩(motion dependent torque)，而對於髖關節的主要伸展肌肉(屬於單關節的臀大肌與屬於雙關節的腿後肌腱群)正因面臨由離心工作進入向心工作階段，特別是向心工作階段，本是伸展髖關節的主要工作可能有擺臂工作產生了依運動產生的力矩介入，而轉移其作用至膝關節或是對向前移動的小腿產生減速的作用。

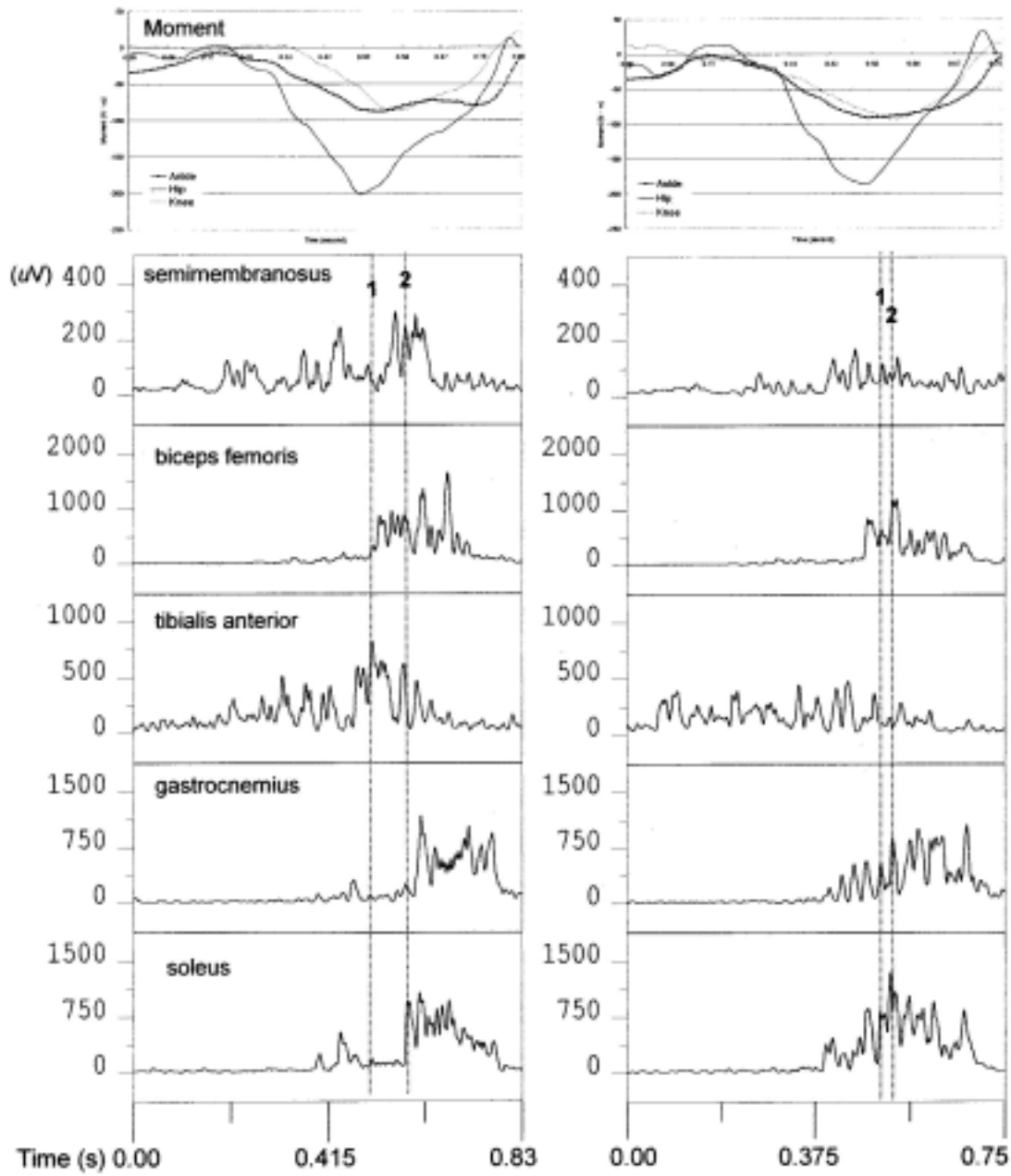


圖 2：實驗參加者 Q 在擺臂垂直跳(左側)與叉腰垂直跳(右側)的下肢關節淨力矩 (moment)與肌肉電訊號曲線。力矩負值表示關節伸展力矩，線 1 為髖關節最大屈曲瞬間，線 2 為踝關節最大屈曲瞬間。

van Ingen Schenau (1989)、Zajac (1993)與劉宇(1998)等人分別就力學模式或實證現象說明雙關節肌肉或是單關節肌肉可以產生能量傳遞的功能，也可以對所跨過的關節產生與力矩相反的作用(Lombard's paradox 現象)或是對沒有跨過的關節產生力矩的作用。就上述的推論，腿後肌腱群在擺臂的作用下，由於原本應伸髖關節的主要工作為手臂擺動所取代或瓜分，而可能轉變為牽動了小腿阻止其向前移動的趨勢，此一趨勢就致使腿後肌腱群對膝關節產生伸展的力矩(Lombard's paradox 現象)，或是對沒有跨過的踝關節產生伸展的工作(協助減速踝關節的繼續屈曲)。因為擺臂垂直跳在膝關節進入開始伸展階段前後，膝關節伸肌(股直肌與股內側肌)的肌肉電訊號與叉腰垂直跳動作比較並沒有減弱之特徵，所以，上述二種腿後肌腱群產生工作因素，對沒有跨過的踝關節產生伸展的工作，以協助減速踝關節的繼續屈曲之可能性就大幅增加了。

圖2擺臂垂直跳動作的比目魚肌與腓腸肌在開始伸展踝關節前出現肌肉電訊號抑制的現象，就恰好可以與上述的推測相互印證。比目魚肌與腓腸肌不同時參予產生伸踝關節的工作，正可以減緩踝關節伸展的作用，以避免下肢三關節同時工作的速度增加過快，以免提早出現人體重心速度高過下肢關節速度，而造成踝關節尚未伸展蹬地就離開地面的情況。所以，Kibele (1998)與 Bobbert 和 van Ingen Schenau (1988)也都指出踝關節有效的產生蹠屈(dorsiflexion)工作或是減慢蹠屈的速度，將均可以大幅增加人體重心的離地速度；擺臂垂直跳可以提昇騰空高度的主要原因，就是影響下肢肌肉間的協調工作，進而使下肢產生最佳化的動力鏈工作形式。

肆、結論

本研究根據「獲取運動速度的最大衝量原理」層層抽離解析擺臂垂直跳可以提昇重心騰空高度的原委，結果發現擺臂的作用對於垂直跳的主要貢獻為增加作用力量的時間，進而增加離地的正衝量，研究實驗並不支持過去研究者認

為擺臂的效應可以提昇蹬地力量的說法。也由於擺臂動作可以增進下肢有順序的動力鏈形式，使得完成垂直跳工作的肌肉產生協調配合的共同作用效應，致使蹠屈肌肉有效率地產生蹬地作用。當然，此一說法僅為研究者根據動力學與肌肉電訊號的訊息提出之定性解釋，後續研究仍須就此肌肉協調配合的機制進行正過程模擬分析。此外，關於性別差異問題，擺臂對於騰空高度的效應並無統計的顯著差異，且正衝量的作用力時間也無性別差異存在，顯示若是排除肌力問題，擺臂垂直跳的技術在本研究結果則無性別差異的情況。

參考文獻

- 劉宇(1998)。生物力學原理。於許樹淵編，運動力學(pp. 69-78)。臺北市：中華民國體育學會。
- Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1988). Coordination of vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21, 241-262.
- Boudolos, K. D. (1998). Jumping performance of young girls in track and field. In H. J. Riehle, & M. M. Vieten (Eds.), *The Proceedings II of XVI International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 116-119). Konstanz, Germany: Universitätsverlag Konstanz.
- Dapena, J. (1999). A biomechanical explanation of the effect of arm actions on the vertical velocity of a standing vertical jump. *Book of Abstracts for International Society of Biomechanics XVIIth Congress* (p. 100). Calgary, Canada: 1999 XVIIth Congress of the International Society of Biomechanics.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement*(3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hall, S. J. (2003). *Basic biomechanics* (4th ed.). New York: McGraw Hill.

- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., & Rosenstein, R. M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(6), 825-833.
- Harrison, A. J., & Gaffney, S. (2001). Motor development and gender effects on stretch-shortening cycle performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(4), 406-415.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of counter-movement jump: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- Miller, D. I., Henning, E., Pizzimenti, M. A., Jones, I. C., & Nelson, R. C. (1989). Kinetic and kinematic characteristics of 10-m platform performances of elite divers : 1. Back takeoffs. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 60-88.
- Payne, A. H., Slater, W. J., & Telford, T. (1968). The use of a force platform in the study of athletic activities. *Ergonomics*, 11, 123-143.
- van Ingen Schenau, G. J. (1989). From rotation to translation: Constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. *Human Movement Science*, 8, 301-337.
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. New York : John Wiley & Sons.
- Zajac, F. E. (1993). Muscle coordination of movement : A perspective. *Journal of Biomechanics*, 26, 109-124.

