

次最大力量於定點跳躍之控制

陳帝佑¹ 陳重佑² 吳文進¹

¹ 國立彰化師範大學應用運動科學研究所

² 國立臺灣體育運動大學體育研究所

摘要

目的：藉由動量-衝量定理，探討次最大力量之跳躍對於不同目標位置的動力學特徵。**方法：**以 10 名主修體育之男性大學生為實驗參與者，並採隨機方式要求實驗參與者從測力板起跳至目標位置，而目標位置分別為原地垂直之膝高、原地垂直之 1/2 膝高、前躍 1 m 之膝高和前躍 1 m 之 1/2 膝高。所有採集之參數以 2 (距離) × 2 (高度) 重複量數二因子變異數分析進行統計考驗，顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。**結果：**人體面對膝高時會產生較大之總衝量、減速衝量、加速衝量和加速衝量時間，以達成工作需求；但下蹲力量峰值和加速/減速衝量之比值則是 1/2 膝高之值較大。另一方面，人體進行原地垂直跳時會有較大之總衝量、推蹬力量峰值和加速/減速衝量之比值；而前躍 1 m 跳之減速衝量、減速衝量時間和加速衝量時間等，則比原地垂直跳之值大。**結論：**次最大力量因應目標高度較高時，會採取增加減速衝量和加速衝量之策略，而人體進行原地垂直跳時，則須瞬間加大總衝量和推蹬力量峰值，以即時到達目標高度；然前躍 1 m 跳則比原地垂直跳有較長之下蹲和上蹬動作時間，故完成相同目標高度所需之力量負荷較小。

關鍵詞：次最大力量、跳躍、動量、衝量

國立中興大學 

通訊作者：陳帝佑 500彰化市進德路1號 國立彰化師範大學應用運動科學研究所
電話：(04)7232105 ext. 1972 Email：chentiyu@yahoo.com.tw

壹、緒論

運動競技場上有許多競賽項目需要運動員發揮最大力量之表現，以獲取最佳成績，如田徑之鉛球、標槍和舉重等運動種類；然而，亦有許多運動如高爾夫球、網球、羽球等，其運動技術之要求並非是最大力量 (maximal) 的表現，而是次最大力量 (submaximal) 之功能與實質效益。類此意義者，有如人類日常生活最常使用之力量方式，如爬樓梯、搬桌椅等，其動作所需力量即是次最大力量之表現。而次最大力量即是介於最大力量與安靜狀態之間，亦為強度穩定的運動，所以可稱為非最大運動 (submaximal exercise) (林正常，2005)。

生理學家常用「最大攝氧量%」和「最大力量%」之運動強度以比較生理反應或運動效果，或利用相對強度以建立合理之比較基準；如 Van Zandwijk、Bobbert、Munneke 與 Pas (2000) 比較最大強度垂直跳和 80%之最大強度垂直跳的差異，進而分析最大力量與次最大力量表現特徵，研究結果發現二種力量之肌肉活化時宜有明顯不同。而有些學者認為執行最大垂直跳時，為能達到最大跳躍高度，需透過最佳化之神經肌肉控制表現，因此要結合爆發力與身體協調功能，而使動作表現達到最佳化之效果 (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988; Hatze, 1998)。爾後，Vanrenterghem、Lees、Lenoir、Aerts 與 De Clercq (2004) 進行 100%、75%、50%和 25%之最大垂直跳高度研究，發現垂直跳高度的增加乃因垂直起跳速度增加之緣故，此與蹲踞跳之下蹲動作的幅度有關，例如增加髖關節的彎曲幅度可以提升跳躍之高度，而次最大垂直跳之動作策略即是增加遠端關節動作幅度的貢獻。

由牛頓第二定律 $F = ma$ 之觀點，可推導出動量 (momentum) 與衝量 (impulse) 之關係，其中加速度 a 可以 $(v_2 - v_1) / t$ 表示，此時之 v_1 為初速度， v_2 為末速度；再將力量 F 乘以作用力的時間 t ，即是衝量，亦即動量之變化量 ΔM ，此正是力量-時間作用曲線與時間軸之間所夾的面積。劉宇 (1998) 對於衝量與動量之關係，提出「獲取運動速度之最大衝量原理」，其認為田徑運動員為了追求更高、更快、更遠的運動成績，則速度扮演極為關鍵之角色，故由動量定理可知速度為衝量 (Ft) 所決定；因此，欲提高運動成績，須盡可能加大衝量效果，以獲取運動員本身或打擊器之最大速度，亦即增加力量-時間作用曲線與時間軸之間所構成的面積，故總結增加衝量之途徑有三種，即增加最大力量、增加作用力的時間和增加力量-時間作用曲線的斜率等。藉此，陳重佑 (2004) 分析插腰 (arm-akimbo) 與擺臂 (arm-swing) 對提升垂直跳之有效衝量效應，其結果發現擺臂動作效果增加了垂直跳之力量作用時間，進而提升人體離地前之正衝量，因而增加了騰空的高度。而 Lees、Vanrenterghem 與 De Clercq (2004) 透過關節力矩增強理論 (joint torque augmentation) 說明人體在垂直跳之推進階段，其手臂擺動會產生向下的力

量，此力量會減緩人體下肢關節的伸肌作用，並產生更大的肌肉力矩 (Feltner, Frascchetti, & Crisp, 1999; Harman, Rosenstein, Frykman, & Rosenstein, 1990)；因此，益加證實擺臂可提升離地時之正衝量，並延長其力量作用的時間。

另一方面，以次最大力量執行動作技能時，經常須兼具速度和準確度之相互配合，舉凡高爾夫之揮桿擊球、棒球之外野手將球快速準確的回傳等運動技能皆是。早期，Woodworth (1899) 就曾提出精確度與速度相互消長 (speed-accuracy trade-off) 的關係，其要求實驗參與者以徒手方式在紙上作來回反覆畫直線動作，結果發現手部動作速度增加後，精確度即隨之遞減。爾後，Fitts (1954) 研究手部來回敲擊動作發現，當有視覺回饋下，動作時間 MT (movement time) 會受到目標寬度和兩目標移動距離的影響，其再以手的點觸動作來描述動作速度與準確度相互消長的關係，故隨之發展出 Fitts 定律，即 $MT = a + b [\log_2 (2A/W)]$ ；其中，MT 為動作所需時間，A 為兩目標中心點間的距離，W 則為目標物的寬度，當目標區的距離愈遠或目標物越小時，則所需的動作時間愈長，故 $\log_2 (2A / W)$ 代表動作難度指數 (ID)，而 ID 值愈大代表動作難度愈高，因此，動作難度愈高代表訊息處理量愈大，則所需的動作時間就愈長；另 a 與 b 為常數，其分別代表迴歸曲線的截距與斜率，而 a 乃加速與減速之能力，代表動作效能因子，b 代表依工作複雜程度能快速處理訊息的能力。因此，Fitts 定律以訊息處理之理論 (information processing theory) 為基礎，解釋動作時間隨著動作難度增加的影響，而產生了更多訊息處理之歷程 (Schmidt & Lee, 2005)，故需要更多的動作時間以完成任務。

由費茲定律中，起初多是探討動作開始後，透過視覺回饋來調節動作目標之準確性，然而某些動作的執行，並非全然透過視覺回饋來完成，如高爾夫之揮桿擊球、舞獅運動之跳躍飛越樁陣等動作，均無法在動作執行時立刻透過視覺回饋做出修正；因此 Schmidt、Zelaznik、Hawkins、Frank 與 Quinn (1979) 以動作控制的衝量變異性理論 (impulse-variability theory)，發展出衝動時間假說 (impulse-time hypothesis)，此衝量變異性理論說明了肌肉力量和其持續收縮的時間，乃動作產生變異的主因 (Schmidt & Lee, 2005)，且許多速度與準確度之任務因動作速度太快，而無法在動作過程中應用視覺的回饋作出修正，因此假設在動作開始之前就已設定好指令，這些指令傳向肌肉稱之為衝動，其在特定的時間內產生驅動力，以驅使手臂向目標移動，而準確度之效果建立在特定的驅动力和持續時間的基礎上，因為驅动力的大小和時間長短與運動之可變性有關；另外，動作速度的增加將導致更多動作的可變性與不確定性，對此，為了修正不準確的動作結果，需將動作速度減慢以進行下一次的嘗試。

有基於此，過去的相關研究鮮少針對次最大力量之衝量變化方式提出探討，而此時衝量之改變正是力量-時間作用曲線與時間軸之間所構成面積的變化，故進一步深究其

影響機制是否為次最大力量值，抑或作用力的時間以及力量-時間作用曲線之斜率等因素所致，始能深入解析次最大力量之調控機制。因此，本研究目的乃透過下肢次最大力量對於不同目標距離與高度之定點跳躍的調控特徵，以瞭解下肢之衝量變化機制。

貳、方法

一、研究對象

本研究之實驗參與者為 10 名主修體育且身心健康、無肢體障礙的大專男學生，其平均年齡 20.2 ± 0.6 歲，平均身高 171.1 ± 6.9 公分，平均體重 60.9 ± 5.4 公斤。每位實驗參與者於進行實驗前皆須簽屬「實驗參與者須知與同意書」，而研究者在實驗開始前亦告知實驗參與者整個實驗流程，以及應注意配合的事項，以確保實驗參與者之權益。

二、研究步驟

先以馬丁尺丈量每位實驗參與者之膝關節高度，並依實驗組別需求，分別將目標臺階調整為實驗參與者之原地膝關節高度、原地膝關節之 1/2 高度、前方水平距 1 m 之膝關節高度和前方水平距 1 m 之膝關節 1/2 高度等四種。再要求實驗參與者站立於測力板上，分別執行擺臂跳躍動作至四種目標臺階，每組動作重複三次後，即更換下一組目標臺階。

三、研究工具

本研究使用測力板 (Kistler, 型號 9287BA) 與測力板之分析軟體 (BioWare 4.0) ，以收集實驗參與者進行每次跳躍之地面反作用力訊號，再利用 Microsoft Excel 2007 中文版分析軟體計算各參數；並以馬丁尺丈量每位實驗參與者之膝關節高度。實驗用臺階則採實心木板製作，並使用力波墊調整至所訂之目標高度。

四、資料處理

以 BioWare 4.0 之測力板分析軟體收集每位實驗參與者執行每次跳躍動作之原始資料，其採樣頻率為 1000 Hz；再由每筆地面反作用力-時間之作用曲線，以得知推蹬力量峰值、下蹲力量峰值、減速衝量、加速衝量、減速衝量時間、加速衝量時間、總衝量、加速衝量/減速衝量之比值等動力學參數，如圖一。另由於目標高度之變化僅與垂直分量有關，故每筆地面反作用力-時間之作用曲線係以垂直分量為主。實驗測得之各項資料，利用 SPSS 18.0 for Windows 版之統計軟體進行分析，並以重複量數二因子變異數分析 (repeated measures two way ANOVA) ，考驗不同目標高度與距離下之推蹬力量峰

值、下蹲力量峰值、減速衝量、加速衝量、減速衝量時間、加速衝量時間、總衝量、加速衝量/減速衝量比值等變項的差異，若結果達顯著，再以 LSD 法進行事後比較，統計考驗之顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

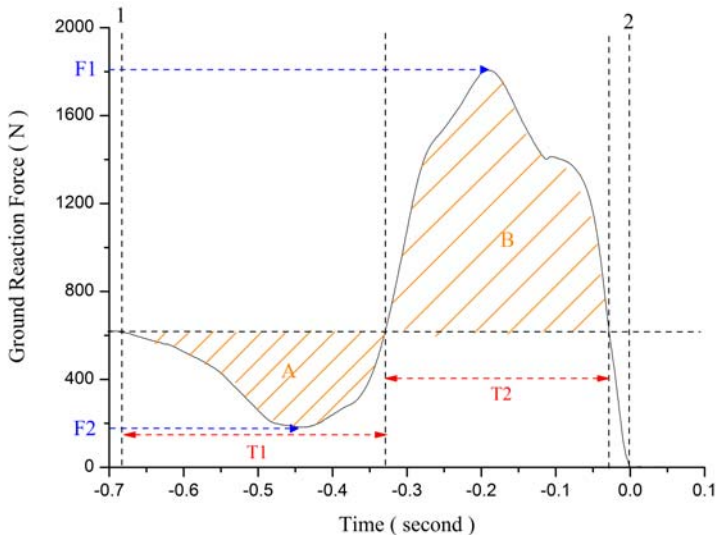


圖 1 定點跳躍之地面反作用力-時間曲線特徵。

註：A 為減速衝量；B 為加速衝量；B-A 為總衝量；B/A 為加速衝量對減速衝量之比值；T1 為加速衝量時間；T2 為減速衝量時間；F1 為推蹬力量峰值；F2 為下蹲力量峰值；1 為動作開始；2 為離地瞬間。

參、結果

各變項於原地垂直跳與前躍 1 m 跳時，對於膝高和 1/2 膝高之差異比較，其結果以下蹲期之減速衝量、推蹬期之加速衝量，以及加速衝量對減速衝量之比值和總衝量等面向分述：

一、影響下蹲期之減速衝量變項

下蹲力量峰值之交互作用有顯著差異 ($F(1, 9) = 9.07, p < .05, \eta^2 = .50, \text{power} = .77$)；主要效果顯示目標高度於原地垂直跳有顯著差異 ($F(1, 18) = 19.80, p < .05$)，其膝高時之下蹲力量峰值小於 1/2 膝高值，而前躍 1 m 跳則無顯著差異；此外，目標距離於 1/2 膝高時亦有顯著差異 ($F(1, 18) = 4.91, p < .05$)，此時原地垂直跳之下蹲力量峰

值大於前躍 1 m 跳。在減速衝量時間方面，減速衝量時間並無交互作用 ($F(1, 9) = 0.51, p > .05, \eta^2 = .05, \text{power} = .10$)；其目標距離之主要效果顯示前躍 1 m 跳的減速衝量時間顯著大於原地垂直跳之值 ($F(1, 9) = 30.63, p < .05, \text{power} = 1.00$)。而在減速衝量方面，減速衝量之交互作用無顯著差異 ($F(1, 9) = 0.08, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .06$)；其目標高度的主要效果顯示膝高之減速衝量顯著大於 1/2 膝高值 ($F(1, 9) = 12.04, p < .05, \text{power} = .87$)，而目標距離的主要效果顯示前躍 1 m 跳之減速衝量顯著大於原地垂直跳之值 ($F(1, 9) = 10.41, p < .05, \text{power} = .82$)。

二、影響推蹬期之加速衝量變項

推蹬力量峰值無交互作用 ($F(1, 9) = 1.58, p > .05, \eta^2 = .15, \text{power} = .20$)；其目標距離之主要效果顯示原地垂直跳大於前躍 1 m 跳 ($F(1, 9) = 21.58, p < .05, \text{power} = .98$)。在加速衝量時間方面，其交互作用無顯著差異 ($F(1, 9) = 0.09, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .06$)；然目標高度的主要效果顯示，膝高時之加速衝量時間大於 1/2 膝高之值 ($F(1, 9) = 7.44, p < .05, \text{power} = .68$)，另目標距離的主要效果顯示，前躍 1 m 跳之加速衝量時間大於原地垂直跳值 ($F(1, 9) = 14.83, p < .05, \text{power} = .93$)。另一方面，加速衝量有交互作用 ($F(1, 9) = 9.56, p < .05, \eta^2 = .52, \text{power} = .79$)；其主要效果顯示，目標高度在原地垂直跳 ($F(1, 18) = 28.27, p < .05$) 與前躍 1 m 跳時 ($F(1, 18) = 5.24, p < .05$) 皆有顯著差異，即膝高時之加速衝量皆大於 1/2 膝高之值；另目標距離於 1/2 膝高有顯著差異 ($F(1, 18) = 8.97, p < .05$)，即前躍 1 m 跳之加速衝量大於原地垂直跳。

三、加速衝量對減速衝量之比值和總衝量

加速衝量對減速衝量比值之交互作用無顯著差異 ($F(1, 9) = 3.67, p > .05, \eta^2 = .29, \text{power} = .40$)；其目標高度的主要效果顯示，1/2 膝高之積分比值大於膝高值 ($F(1, 9) = 7.87, p < .05, \text{power} = .71$)，而目標距離的主要效果亦顯示原地垂直跳之積分比值大於前躍 1 m 跳之值 ($F(1, 9) = 22.86, p < .05, \text{power} = .99$)。在總衝量方面，其交互作用有顯著差異 ($F(1, 9) = 17.92, p < .05, \eta^2 = .67, \text{power} = .96$)；主要效果顯示目標高度於原地垂直跳與前躍 1 m 跳皆有顯著差異 ($F(1, 18) = 52.00, p < .05$ 和 $F(1, 18) = 7.00, p < .05$)，即膝高之總衝量皆大於 1/2 膝高值，另目標距離之主要效果亦顯示原地垂直跳之總衝量大於前躍 1 m 跳之值 ($F(1, 18) = 841.00, p < .05$ 和 $F(1, 18) = 1678.00, p < .05$)。

表 1
跳躍高度與距離之生物力學參數的平均數 (M)、標準差 (SD) 和變異數分析 (ANOVA) 結果

	前躍 1 m		原地垂直跳		ANOVA F		
	M	SD	M	SD	高度 H	距離 D	H × D
離地垂直速度(m/s)					41.57*	13.26*	17.11*
膝高	2.42	0.27	2.68	0.18			
1/2 膝高	2.30	0.25	2.35	0.21			
總衝量(BW·s)					38.82*	10.75*	17.92*
膝高	2.41	0.26	2.66	0.16			
1/2 膝高	2.29	0.24	2.34	0.21			
下蹲衝量(BW·s)					12.04*	10.41*	0.08
膝高	1.24	0.26	1.04	0.22			
1/2 膝高	1.04	0.31	0.83	0.24			
推蹬衝量(BW·s)					33.95*	1.14	9.56*
膝高	3.65	0.46	3.70	0.29			
1/2 膝高	3.41	0.38	3.17	0.42			
推蹬-下蹲衝量比值					7.87*	22.86*	3.67
膝高	3.02	0.38	3.71	0.78			
1/2 膝高	3.14	0.47	4.12	1.07			
下蹲力量極值(BW)					13.20*	0.94	9.07*
膝高	0.39	0.16	0.38	0.10			
1/2 膝高	0.45	0.13	0.52	0.12			
下蹲衝量時間(ms)					0.17	30.63*	0.51
膝高	403	68	343	52			
1/2 膝高	406	56	332	55			
推蹬力量極值(BW)					1.25	21.58*	1.58
膝高	2.39	0.37	2.79	0.40			
1/2 膝高	2.40	0.30	2.90	0.48			
推蹬衝量時間(ms)					7.44*	14.84*	0.09
膝高	445	64	360	99			
1/2 膝高	424	63	328	86			

* $p < .05$

肆、討論

針對本研究結果，影響定點跳躍之總衝量乃因力量-時間作用曲線與時間軸之間所構成面積的變化機制所造成 (劉宇, 1998)；因此，分別依影響總衝量之下蹲期的減速衝量、推蹬期的加速衝量，及其合效果之加速衝量對減速衝量比值和總衝量等變化深入討論。

一、下蹲期之減速衝量

由減速衝量結果顯示，當人體執行次最大力量之原地垂直跳或前躍 1 m 跳時，若跳躍之目標高度越高，則其所需之減速衝量越大；此外，當跳躍目標高度相同之狀況下，則前躍 1 m 跳所產生之減速衝量大於原地垂直跳值。再進一步分析，由於減速衝量之大小值受下蹲力量峰值及減速衝量時間等變項影響，因此，檢視下蹲力量峰值和減速衝量時間之結果顯示，減速衝量時間僅於跳躍目標距離變遠時，其減速衝量時間才會明顯增加，而無論跳躍高度是膝高或 1/2 膝高，減速衝量時間均不受其影響，故推論下蹲期之減速衝量受到跳躍目標高度的影響，主要是來自於下蹲力量峰值的調控所致。

上述結果相較於先前 Vanrenterghem 等 (2004) 研究 100%、75%、50%和 25%最大垂直跳躍高度之動作控制有相同看法，即人體面對跳躍高度增加時，係藉由增加跳躍之下蹲動作幅度，例如增加髖關節的彎曲幅度以增加下蹲力量，進而達到提升垂直起跳速度之能量需求 (Van Zandwijk et al., 2000)，且次最大垂直跳對於跳躍高度增加時，人體動作之因應策略乃增加遠端關節部位的貢獻所致。另一方面，由前躍 1 m 跳之減速衝量大於原地垂直跳值，且其減速衝量時間亦大於原地垂直跳之值，此現象符合 Fitts (1954) 定律所述，當目標區的距離愈遠時，則所需之動作時間愈長。

二、推蹬期之加速衝量

由加速衝量之結果分析顯示，人體執行次最大力量之跳躍時，面對跳躍的目標高度越高，則其所需之加速衝量也越大；另一方面，當面對相同之跳躍目標高度時，無論採用原地垂直跳或前躍 1 m 跳的方式，人體所產生之加速衝量卻不受其影響。再進一步分析影響加速衝量變化之因素，其包含推蹬力量峰值和加速衝量時間等變項；因此，由推蹬力量峰值和加速衝量時間之結果解析，發現推蹬力量峰值僅受跳躍距離之影響，且人體面對相同跳躍目標高度時，採用原地垂直跳所表現之垂直方向的推蹬力量峰值明顯大於前躍 1 m 跳之推蹬力量峰值，此現象說明跳躍目標為原地高度時，人體為了及時達到目標高度的需求，須採用加大推蹬力量之策略以完成該動作，反之，若能與跳躍目標保

持適度的距離，則可減低人體在垂直推蹬力量的負荷。相同狀況下，經比對加速衝量時間變項之跳躍距離效果，採用前躍 1 m 跳所表現之加速衝量時間卻明顯大於原地垂直跳之加速衝量時間，此結果與推蹬力量峰值之表現相反；而加速衝量時間變項之目標高度效果隨著跳躍高度的增加，而導致加速衝量時間明顯增大，此結果呼應 Lees 等 (2004) 所提之關節力矩增強理論 (joint torque augmentation)，即人體跳躍推蹬離地時之正衝量的增加，乃藉由延長人體作用力的時間而達成。

上述推蹬力量峰值於跳躍距離之效果表現與加速衝量時間於跳躍距離之效果表現因呈現相反趨勢，致使無論採用前躍 1 m 跳及原地垂直跳之方式，其加速衝量僅於 1/2 膝高之表現有顯著差異，而在膝高之表現則無顯著差異；因此，人體執行次最大力量之跳躍時，其加速衝量的變化受跳躍目標高度的影響較大，更甚於受跳躍距離之影響。

三、加速衝量對減速衝量之比值和總衝量

總衝量乃加速衝量扣除減速衝量後的結果，而加速衝量對減速衝量比值則表示加速衝量相對於減速衝量之倍數關係。在加速衝量對減速衝量比值的結果上，經比對目標距離效果，顯示採用原地垂直跳所表現之比值明顯大於前躍 1 m 跳之值，經比對減速衝量結果後，發現減速衝量於目標距離效果正好與加速衝量對減速衝量比值呈現相反趨勢，此現象說明加速衝量於此時發揮了極大的效應，即原地垂直跳之加速衝量相對於減速衝量之倍數關係更趨明顯。而在目標高度效果上，加速衝量對減速衝量比值於膝高時明顯小於與 1/2 膝高之值，經比對減速衝量結果後，顯示減速衝量於目標高度效果亦與積分比值呈現相反趨勢，故此結果也說明了減速衝量於此時發揮較大效果，即面對膝高之目標高度時，人體採用較大之下蹲動作效果，致使主作用肌在作用前產生離心收縮以作為彈性能的儲存，以利於跳躍動作達到最佳表現 (Van Zandwijk et al., 2000)。而先前研究即認為最大垂直跳模式能達到最大跳躍高度的原因，乃透過最佳化之神經肌肉控制的結果所致 (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988; Hatze, 1998)，故由加速衝量對減速衝量比值對於目標高度的變化亦間接證實此一結果。

此外，由總衝量之結果顯示，次最大力量之定點跳躍於膝高時之總衝量皆大於 1/2 膝高之值，且以前躍 1 m 跳或原地垂直跳之方式皆有相同趨勢；而面對相同之跳躍高度時，原地垂直跳之總衝量皆大於前躍 1 m 跳之值，此現象與推蹬期之加速衝量變化類似，即人體面對跳躍目標為原地高度時，為了能及時達到目標高度的需求，須產生較大之總衝量效果以立即完成該動作，而若能與跳躍目標保持適度的距離，則可減小人體在垂直分量上所需之總衝量的負荷。此結果相較於 Aguado、Izquierdo 與 Montesinos (1997) 指出垂直最大力量與立定跳遠之成績表現有高度相關的論點，各存在不同層面之意涵，

尤以垂直最大力量與立定跳遠等皆是最大力量表現的結果，而與本研究之次最大力量的實際意義不盡相同，此益加說明了次最大力量之研究價值所在。

四、結論

依據本研究結果，次最大力量於定點跳躍之調控會因應目標高度和目標距離需求，各有其不同策略。當目標高度為膝高時，相較於 1/2 膝高，人體會採取加大總衝量、減速衝量、加速衝量和加速衝量時間等，以達成工作需求；而在下蹲力量峰值和加速衝量對減速衝量比值等，則是 1/2 膝高之值較膝高值大，此說明單以下蹲力量峰值不足以影響減速衝量趨勢，另加速衝量對減速衝量比值說明了目標高度為膝高時，次最大力量會以加大減速衝量之策略，其增加比例更甚於加速衝量之效果。另一方面，當目標距離為原地垂直跳時，相較於前躍 1 m 跳，人體會以加大總衝量、推蹬力量峰值和加速衝量對減速衝量比值等策略，以完成工作任務；而在減速衝量、減速衝量時間和加速衝量時間等，則是前躍 1 m 跳之值較原地垂直跳值大；此說明人體面對目標距離為原地時，須加大總衝量和推蹬力量峰值以即時達到目標高度，另減速衝量、減速衝量時間和加速衝量時間等，則因前躍 1 m 跳之目標區距離較遠的緣故，故其所需之下蹲和上蹬動作時間較原地垂直跳長。

參考文獻

- 林正常 (2005)。《運動生理學》。臺北市：師大書苑。
- 陳重佑 (2004)。以獲取最大速度的最大衝量原理探討垂直跳動作的擺臂作用效果。《國立臺灣體育學院學報》，14/15，1-15。
- 劉宇 (1998)。生物力學原理。載於許樹淵 (主編)，《運動力學》(頁 69-78)。臺北市：中華民國體育學會。
- Aguado, X., Izquierdo, M., & Montesinos, J. L. (1997). Kinematic and kinetic factors related to the standing long jump performance. *Journal of Human Movement Studies*, 32, 157-169.
- Bobbert, M. F., & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Co-ordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21, 249-262.
- Feltner, M. E., Frascchetti, D. J., & Crisp, R. J. (1999). Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *Journal of Sports Sciences*, 17, 449-466.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the

- amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., & Rosenstein, R. M. (1990). The effects of arms and countermovement to vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 825-833.
- Hatze, H. (1998). Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 127-140.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37, 1929-1940.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. Jr. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.
- Van Zandwijk, J. P., Bobbert, M. F., Munneke, M., & Pas, P. (2000). Control of maximal and submaximal vertical jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 477-485.
- Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2004). Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22, 713-727.
- Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, 3, 1-106.

The Control of Submaximal Force for Jumping on Targets

Ti-Yu Chen^{1*} (Corresponding author), Chung-Yu Chen², Wen-Chin Wu¹

¹ National Changhua University of Education

² National Taiwan University of Physical Education and Sport

Abstract

Purpose: This study was to investigate the kinetic effects of submaximal force for jumping on targets by using principle of impulse and momentum. **Methods:** 10 male volunteer participants for this research were from university-level Physical Education majored students. All participants were then randomly selected for the sequence of test performance. Participants were positioned on the Kistler force platform to perform four jump tests: a) vertical jump to individual knee height, b) vertical jump to individual half of knee height, c) 1 m long jump to individual knee height, d) 1 m long jump to individual half of knee height. 2 (distance) \times 2 (height) repeated measures two-way ANOVA was used to test the statistical difference of the collected parameters with an α level .05. **Results:** The finding indicated that knee height resulted a significant effect on total impulse, deceleration impulse, acceleration impulse, and acceleration impulse duration to complete the task and half knee height significantly had a greater peak value of downward force and ratio of acceleration impulse to deceleration impulse. On the other hand, as performing a vertical jump that total impulse, peak value of upward force and ratio of acceleration impulse to deceleration impulse were greater. During a 1 m long jump, deceleration impulse, deceleration impulse duration and acceleration impulse duration were greater than a vertical jump. **Conclusion:** As the participant presented a higher jump, submaximal force would be yielded by increasing deceleration impulse and acceleration impulse as a strategy. About a vertical jump, total impulse and peak value of upward force should be increase instantaneously to achieve the target height. In addition, to compare with a vertical jump that in the same height, a 1 m long jump had more duration of downward and upward in which its force loading was smaller.

Keywords: submaximal force, jump, momentum, impulse