

國立臺灣體育學院  
National Taiwan College of Physical Education  
體育研究所碩士學位論文

急停跳對垂直跳表現的影響  
EFFECT OF BROAD TASKS ON VERTICAL  
JUMP



研究生：戴偉勳 撰  
指導教授：陳重佑 博士

中華民國 100 年 6 月

論文名稱：急停跳對垂直跳表現的影響

總頁數：57 頁

院校所組別：國立臺灣體育學院體育研究所

畢業及提要別：99 學年度第 2 學期碩士學位論文題要

研究生：戴偉勳

指導教授：陳重佑博士

### 中文摘要

本研究主要目的在探討不同距離跳躍對垂直跳表現的影響，並進一步分析下肢運動學與動力學特徵的差異。實驗以 16 名大專體育系學生(平均身高  $169.5 \pm 4.5$  公分、體重  $67.8 \pm 7.0$  公斤與年齡  $20.7 \pm 1.4$  歲)為自願的實驗參加者，並要求實驗參加者隨機方式執行原地垂直跳、0.5 m 及 1 m 急停垂直跳等三種工作。研究以 VICON 三度空間影像分析系統 (MX-F40, 200Hz) 與 Kistler 測力板 (9260AA6, 1000Hz) 同步收集動作過程的運動學與動力學資料，並使用 VICON Nexus 1.6.1 版軟體分析跳躍過程下肢各關節位移、速度、力量、力矩等運動學與動力學參數，統計方法係使用重複量數單因子變異數分析，與 HSD 法事後比較進行統計考驗 ( $\alpha = .05$ )。研究結果顯示，著地瞬間的水平速度隨著距離的增加而提昇 ( $p < .05$ )，但是跳躍高度未隨著距離的增加而提昇 ( $p > .05$ )。在下蹲階段時，下肢各關節的工作範圍、下蹲速度與時間有顯著差異 ( $ps < .05$ )，且在蹬伸階段，髌關節力矩、膝關節力矩與踝關節功率有顯著差異 ( $p < .05$ )。急停跳躍工作時間也明顯較原地垂直跳快。上述結果說明個體的垂直跳動作因前躍距離而具有著地速度的差異，造成著地下蹲動作階段產生較高的關節活動範圍與角速度，致使髌關節與膝關節有較大的力矩來穩定下肢工作，以協調後續的垂直跳動作。

**關鍵詞：**急停垂直跳、牽張縮短循環、生物力學

# Effect of Broad Tasks on Vertical Jump

Tai, Wei-Hsun

## ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of horizontal distance on vertical jump performance and further analyzed change of the tasks constrain to the lower extremity kinematics and kinetics. Sixteen college students were served as the participants for this study. Their height were  $170 \pm 4.5$ cm, body weight were  $68 \pm 7.0$  kg and age were  $21.0 \pm 1.4$  years old, respectively. Every participant was asked to perform vertical jump, 0.5 m broad jump and 1 m broad jump task. Ground reaction forces and three-dimensional data were synchronized to acquire by Kistler force platform (9260AA6, 1000Hz) and VICON system (MX-F40, 200Hz). Used software Nexus (version: 1.6.1) to analysis marker trajectory, force, and moment of lower extremity. The repeated measured one way ANOVA and HSD post-hoc were used to test the statistical differences of three vertical jump tasks condition ( $\alpha = .05$ ). The result showed that horizontal velocity of landing were significantly ( $p < .05$ ), but there were no significantly on jumping performance ( $p > .05$ ). In squat phase, lower extremity joints were both increased on joint range of motion, angular velocity and squat time with distance significantly ( $p < .05$ ). In push off phase, there were significantly on hip moment, knee moment and ankle power ( $p < .05$ ). It indicated that the performer increased landing velocity under different distances of broad jumping, and produced higher joint range of motion and angular velocity during squat phase. However, the duration of squat phase showed broad jumps were shorter than counter movement jump.

**Key words:** broad jump, stretch-shortening cycle, biomechanics

## 謝誌

在臺體經歷了八個寒暑，終於在這個時候要告別了，大學四年與研究所四年的歷練，讓我在為學做人的這些日子裡經歷了許多酸甜苦辣的回憶，今天不才的我，如果真的擁有些微的成就，完全是因為太多的老師、隊友與同學們的支持與鼓勵。

本論文的順利完成，首先要感謝學生的指導教授----陳重佑博士在體院八年的武術龍獅練習與學術研究歷程中，付出無比的耐心與愛心，悉心的指導。以及口試委員蔡虔祿博士、許太彥博士、湯文慈博士與林靜兒博士對於本論文的指導與寶貴意見，因為有如此的深入的見解與細微的提醒，才能讓學生的論文臻至充實完善。我也要感謝唐人屏老師與蔡明雄老師在習武的過程不僅是啟蒙者，也是引道者；以及一同研究並且也是優秀隊友的同伴們，犧牲時間協助實驗與資料整理的俊憲、子豪、建志、孟光、易聖與依蓁以及威勁力學團隊的夥伴們，文進學長、綺珊、晴惠、茂萍、麗子、兆渝與雁文，還有大學同學兼研究所同學的泳勳，防護團的世錫同學系辦的柏惠助教與各工讀生學弟妹等等，要感謝的人實在太多，我抱著謙遜的心情在此一併感謝。

最後，要感謝將我辛苦拉拔長大的我的雙親----戴德隆先生、梁明月女士，希望將本論文與二十五年來偉勳學習成長的成果，與其求學生涯所獲得的榮耀，獻給無怨無悔付出的你們，以感謝他們為孩子的成材用盡半生辛勞。

戴偉勳 謹誌

中華民國 100 年 6 月

## 目 錄

摘要	I
謝誌	III
目錄	V
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章、緒論	1
第一節、問題背景	1
第二節、研究目的與假設	3
第三節、研究範圍與限制	4
第四節、名詞解釋與操作性定義	5
第五節、研究的重要性	6
第二章、文獻探討	7
第一節、牽張縮短循環的工作效應	7
第二節、急停垂直跳的動作特徵	11
第三節、本章總結	14
第三章、研究方法與步驟	16
第一節、實驗參與者	16
第二節、實驗儀器與器材	17
第三節、實驗程序	19
第四節、資料處理與分析	20

第四章、結果與討論	21
第一節、下蹲動作過程的參數分析	21
第二節、蹬伸階段的參數分析	30
第三節、綜合討論	39
第五章、結論與建議	36
第一節、結論	36
第二節、建議	37
引用文獻	46
一、中文部分	46
二、英文部分	47
附錄	
附錄一、實驗參與者同意書	57

## 表目錄

表 1：實驗參加者的基本資料-----	16
表 2：Plugingait Fullbody Model ( SACR ) 反光球放置表-----	18
表 3：著地瞬間重心速度平均值標準差與統計結果-----	22
表 4：跳躍表現參數之描述統計資料-----	22
表 5：跳躍表現參數之變異數分析與事後比較摘要表-----	23
表 6：下蹲階段運動學參數平均值 ( M ) 與標準差 ( SD ) -----	28
表 7：下蹲階段運動學參數之變異數分析與事後比較摘要表-----	29
表 8：蹬伸階段運動學參數平均值 ( M ) 與標準差 ( SD ) -----	31
表 9：蹬伸階段運動學參數之變異數分析與事後比較摘要表-----	32
表 10：蹬伸階段動力學參數平均值 ( M ) 與標準差 ( SD ) -----	35
表 11：蹬伸階段動力學參數之變異數分析與事後比較摘要表-----	36
表 12：下蹲與蹬伸階段時間平均值 ( M ) 與標準差 ( SD ) -----	39
表 13：下蹲與蹬伸階段時間之變異數分析與事後比較摘要表-----	39

## 圖目錄

圖 1：VICON Plugingait Model 反光球黏貼位置參照圖 ----	18
圖 2：下蹲階段髖關節角度 -----	25
圖 3：下蹲階段膝關節角度 -----	25
圖 4：下蹲階段踝關節角度 -----	26
圖 5：下蹲階段髖關節角速度 -----	26
圖 6：下蹲階段膝關節角速度 -----	27
圖 7：下蹲階段踝關節角速度 -----	27
圖 8：三種跳躍工作蹬伸階段髖關節力矩 -----	34
圖 9：三種跳躍工作蹬伸階段膝關節力矩 -----	35
圖 10：三種跳躍工作蹬伸階段踝關節力矩 -----	35
圖 11：三種跳躍工作蹬伸階段髖關節功率 -----	37
圖 12：三種跳躍工作蹬伸階段膝關節功率 -----	37
圖 13：三種跳躍工作蹬伸階段踝關節功率 -----	38
圖 14：1 m 急停垂直跳動作過程 -----	45

## 第一章 緒論

### 第一節 問題背景

運動場上存在著許多決定勝負的關鍵，除了技戰術的運用以外，運動員們拼比的便是身體素質能力，跳躍能力是各項運動技術裡極為基礎的基本能力，無論是任何運動項目，基於訓練的本質，在追求最佳的運動表現方面，都非常著重於跳躍時重心高度的提昇。過去有許多關於跳躍訓練的研究，像是跳深（drop jump, DJ）動作就是一種相當熱門的訓練方法，這種方法的效用也被許多文獻證實（Brown, Mayhew & Boleach, 1986; Matavulj, Kukolj, Ugarkovic, Tihanyi & Jaric, 2001），這些研究者們認為提升跳躍表現的主要因素乃牽張縮短循環（stretch-shortening cycle, SSC）的效應，也有學者認為 SSC 效應產生了較大的功率輸出（power output），造成地面反作用力層級的上升（Ruan & Li, 2008, 2009），因而提高跳躍表現（Bobbert, Huijing, & van Ingen Schenau, 1987），事實上這樣的訓練概念被稱增強式訓練（plyometrics training, PT）是近年極為熱門的訓練方法，它更是強化了 SSC 效應，使得肌肉牽拉（stretch）效果與能量的儲存（storage）釋放（release）獲得相對較為有效的運用（Ruan & Li, 2008, 2009）。

此外，對於跳躍動作的實驗設計方法上，向來是著重於情境的控制與研究限制方式，這樣一來研究者便較容易掌控各種變項，而進行有較高內在效度（internal validity）的實

驗設計，因此，早期的實驗通常在實驗室完成，並且不會有太多的外在干擾，但這樣研究方式的結果是否能推論到實際運動情境卻面臨了一大考驗，也就是說，在生態(ecologically)效度的考量下，如何在受限的環境下，通過實驗設計來進行擬真的情況下所產生的動作行為。

日常生活中，跑、跳與投擲都是常見的人類基本動作，是人類賴以生存的技能動作形式，而跳躍動作是一種，藉由單腳或雙腳與地面產生交互作用，進而利用或對抗反作用力來產生推蹬力，將身體向上蹬離至空中的一種動作，無論雙腳或單腳起跳，將身體垂直向上蹬起的動作，統稱之為垂直跳(vertical jump, VJ)，就運動表現方式而言又可分為幾種，諸如：蹲踞跳(squat jump, SJ)、下蹲跳(counter-movement jump, CMJ)、跳深(drop jump, DJ)等。

過去的許多研究中，學者們透過原地垂直跳的課題作為基礎研究，藉此延伸了許多垂直跳相關研究的發展，例如擺臂(arm-swing)與叉腰(arms akimbo)垂直跳的運動力學分析(陳重佑, 2004)，SJ與CMJ的分析等(Dapena, 1999)，通過原地垂直跳課題的研究與發展，單純的垂直跳動作課題已不能滿足實際運動場上較為複雜的垂直跳相關技能表現，就原地垂直跳動作而言，雖然對於提升表現的因素能有初步的了解，但較為複雜的垂直跳動作技能表現則較少提到。

就提升原地垂直跳動作表現的方式而言，劉宇(1998)總結了《動量—衝量定理》，認為提高運動競技的水平基礎，例如跳或投擲等動作，則須符合一些相關特性，因而提出了《獲取運動速度的最大衝量原理(the principle of maximum impulse to achieve movement velocity)》，並指出若能提升衝

量便能提高表現的想法，而衝量指的是力量對時間作用曲線的面積。提升衝量的方法有幾種，常見方式為降低減速（制動）衝量或提高加速（正）衝量、提高力量峰值：力量峰值的提升便能使得作用力於正衝量的頂點再向上延升，進而提高衝量、並且藉由延長作用力時間，以整體作用力時間的延長，促使整體正衝量面積隨時間增長而增大，或是提高力量曲線斜率（發力率），藉由力量作用的發力率提高，導致力量作用較有效率因而提高衝量。最後為增加作用次數，由於在本實驗中所論及之垂直跳動作皆為單一次之動作，因此對於增加作用頻率不多做探討。

許多垂直跳相關研究將提升力量的方式大致歸納為 SSC 作用（Komi, 1992）與下肢肌肉協調工作的因素（Chen, 1999）。但是當研究者面臨實際運動場上的運動狀態時，垂直跳動作並非侷限於原地垂直跳，如此一來，在要求動作實務功能的運動場上，原地垂直跳動作能幫助大家的理解畢竟有限，透過先前的研究與回顧文獻，對於原地垂直跳的動作分析雖已有相當的理解。但是對於介入水平速度的垂直跳動作呢？是否能通過生物力學參數對於介入水平速度後的垂直跳動作進行進一步的探討呢？

## 第二節 研究目的與假設

### 壹、研究目的

本研究的主要目的是以生物力學分析方法，探討急停垂直跳動作是否隨著距離的控制而產生改變。針對本研究所設

計的 2 種距離垂直跳動作與原地垂直跳動作進行下肢關節的運動學與動力學參數比較。具體化本研究的主要目的為：通過運動學與動力學分析的手段，探討距離對垂直跳表現的影響，並進一步比較不同距離垂直跳動作控制的異同。

## 貳、假設

- 一、本研究所設計的垂直跳動作在表現上產生差異，其差異來自於距離的控制，而距離直接造成速度改變，因而跳躍表現隨著距離的提升而增加。
- 二、當垂直跳距離越來越遠時，下肢關節力矩會隨著距離而提昇，並且下蹲時間會因速度提升而增長。

## 第三節 研究範圍與限制

關於垂直跳的研究，總是以較為單純的實驗情境進行分析，但是為了較能了解貼近實際運動場上所發生的現象，就須了解運動員在執行相關的垂直跳動作時，其背後的目地與造成改變的關鍵參數。所以，本研究對象以體育專業的大專生進行動作的測驗，以祈將實驗的工作表現差異增加到最大。實驗的處理要求受試者了解動作的設計後，進行三種跳躍工作，分別是：原地垂直跳、0.5 m 急停垂直跳與 1 m 急停垂直跳三種工作。

實驗資料的收集以 VICON 三度空間影像分析系統，8 臺紅外線高速攝影機（200Hz）與 Kistler 測力板（1000Hz）同步收集實驗參與者進行三種跳躍工作的過程。以 VICON

系統的 Nexus 軟體內建模型進行反光球資料的定位，並配合以馬丁尺實際量測實驗參與者之人體肢段參數，再將實驗所獲得的生物力學參數資料，通過 Nexus 軟體進行所有運動學與動力學的計算處理，以探討不同距離的跳躍工作過程的下肢關節重要控制與協調因素，即意，本研究範圍建立在以三度空間的觀察角度下，進行人體下肢動作水平面與矢狀面的動作表現分析。

#### 第四節 名詞解釋與操作性定義

##### 壹、下蹲跳 ( counter-movement jump )

下蹲跳又稱下蹲反跳，或原地垂直跳，係日常生活中常見的跳躍方式，其動作型態為先呈直立站姿，然後快速下蹲後立即盡全力向上蹬起，最後落於地面，執行動作時能運用下蹲時的反向動作，獲取 SSC 效應，整體動作過程藉由 SSC 的作用而有較好的動作表現，反向動作為動作執行前，先行作反方向之伸展動作。在跳或投擲等方面，動作表現因反向動作的應用而能有較好的表現。

##### 貳、牽張縮短循環 ( stretch-shortening cycle )

牽張縮短循環的通常伴隨著反向動作而產生，然而在動作過程肌肉的工作形式為，先進行離心收縮後立即產生向心收縮，這樣的工作形式促使肌肉工作交替於離心收縮與向心收縮，肌肉工作在這樣的結合下，產生了一種自然機制，而這樣的機制便稱之為牽張縮短循環 ( Norman & Komi, 1979

；Komi, 1984, 1992)。

### 參、急停跳 (broad jump)

急停跳為本研究的特殊工作要求，其動作方式為雙腳同時向前方蹬出，動作方式與立定跳遠相同，於本研究中，也可以稱作水平跳 (horizontal jump)，實驗參與者需利用不同的跳躍距離，作為原地垂直跳時的助力。

## 第五節 研究的重要性

跳躍動作是多數運動中不可缺少的能力，然而垂直跳動作雖未能達到實際運動狀況的模擬，但藉由簡單的動作研究，確實可以增進研究者了解其機制，藉以進一步的針對訓練的方法或是動作的修正而提高運動表現，在這樣的前提下，藉由生物力學參數的探討分析修正垂直跳動作的技術，透過急停跳的方式增加表現。本研究以影像擷取系統獲取運動學資料，以力量傳感器獲得動力學資料，通過系統同步的方式以動力學逆過程計算下肢肌肉力矩，剖析介入急停跳的垂直跳動作產生的效應。本研究工作要求為急停著地後立即進行垂直跳動作，因此，未來在實際賽場上，對於有相關工作特性的運動項目期望能有進一步的發展，並在增強式訓練的概念下提出訓練的實務工作上更有效果且安全的訓練方法。

## 第二章 文獻探討

本章主要依據過去對於垂直跳研究中，牽張縮短循環對於垂直跳表現的影響產生了如何的效應進行闡述，而後藉由不同的垂直跳方式來進行改變表現機制的剖析，並且嘗試朝向過去垂直跳課題較少發展的水平速度介入後改變機制來探討。因此本章節分為下列三節進行討論：一、牽張縮短循環的工作效應；二、水平跳的動作特徵；三、結語。

### 第一節 牽張縮短循環的工作效應

運動場上，常會看到運動員們在進行動作時，先反向伸展後再進行主要動作，就像是彈射橡皮筋一樣，其目的無非就是為了增進表現，就投擲動作或跳躍動作而言，肌肉的SSC工作形式確實能提高表現（Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Komi & Bosco, 1978a; Bosco et al., 1981, 1982; Komi, 1983; Aura & Komi, 1986; Gollhofer et al., 1992; Bobbert et al., 1996; Komi & Gollhofer, 1997; McCaulley, Cormie, Cavill, Nuzzo, Urbiztondo & McBride, 2007; Nuzzo, McBride, Cormie & McCaulley, 2008; Ruan & Li, 2008, 2009），回顧過去大量垂直跳相關的研究，不難發現跳深動作會有最佳表現，下蹲跳其次，蹲踞跳表現最差，從動作形式上來看，能明顯分辨出三種跳躍的差異，即反向動作的運用，反向運動是一種肌肉的特殊工作形式，又可稱為牽張縮短循環。

牽張縮短循環 (SSC) 是一種極為普遍且每天都在發生的肌肉工作形式，動作特徵為工作肢段先進行反向伸展後再進行主動收縮的一種工作方式 (Norman & Komi, 1979)。一般而言肌肉的工作型態可略分為動態 (dynamic) 與靜態 (static) 工作，但 Komi (1992) 認為，即便是更進一步分成等長收縮 (isometric)、向心收縮 (concentric) 與離心收縮 (eccentric)，仍然無法確實詳盡的描述肌肉工作形式。然而，動作產生的過程中，肌肉先進行離心工作後立即產生向心工作，這樣的工作形式促使肌肉工作交替於離心收縮與向心收縮，肌肉工作在這樣的結合下，產生了一種自然機制，而這樣的機制便稱之為牽張縮短循環 (Norman & Komi, 1979; Komi, 1984, 1992)，就各種肌力產生的方式來看，牽張縮短循環係一種相對比較獨特的肌力形式 (Komi, 1984; Gollhofer, 1987)，除此之外，SSC 不僅是離心收縮與向心收縮的簡單結合，而是一種相對獨立的運動機能 (Komi, 1984; Bosco, 1982; Gollhofer, 1987)，而過去研究認為，這樣的肌肉工作方式提高動作的表現因素大致可分為：一、彈性能の利用 (Bosco et al., 1982; Komi, 1983; Aura & Komi, 1986) 二、力學刺激的機制 (Bobbert et al., 1996) 與動作執行前收縮所產生的貢獻 (Bosco et al., 1982; Gollhofer et al., 1992; Komi & Gollhofer, 1997) 三、力量持續作用的效果 (Herzog & Leonard, 2000)。過去的垂直跳動作研究中也證明反向動作的介入提高了起跳時的離地速度，因而提昇了垂直跳的表現 (Komi & Bosco, 1978b; Van Ingen Schenau, Bobbert & De Haan, 1997)。

肌肉的 SSC 並非為獨立工作，一般將有發生 SSC 機制的運

動一併稱作反射性運動 ( reactive movement )，其產生的力則稱作反射性肌力 ( reactive strength )。SSC的瞬發肌力反應了有機體的神經肌肉通過制動 ( 離心 ) 動作帶來的效果。此外，在有限的時間裡盡可能產生向心收縮衝量的能力，這樣的運動過程常被稱為反射性運動 ( reactive movement ) ( 劉宇、江界山、陳重佑，1996 )。透過這樣的機制，SSC確實提高了表現水準，但是怎樣才算是有效的SSC工作？Komi與Gollhofer ( 1997 ) 認為，一個有效的SSC工作需滿足三個基本條件：離心收縮階段前的肌肉預先收縮 ( pre-stretch ) 刺激、急促且短暫的離心收縮階段以及離心收縮與向心收縮階段間的短時間延遲。也就是說，通過肌肉的預先收縮後，再經由快速短暫的離心收縮後立即產生相對快速的向心收縮工作，如此一來SSC便能有效率的發揮提升表現的作用，這樣的工作形式，在許多基本的運動技能基礎都能看到，例如：跑與跳所組成的動作表現，或是單一動作的型態，日常生活中肌肉的SSC機制伴隨著體育活動而無所不在。

所謂的SSC工作形式主要特徵為反向動作 ( counter-movement ) 的表現，並由於這樣的動作方式提高了動作表現。對於肌肉SSC的作用，若單獨比較向心收縮工作表現，學者Komi ( 1984 ) 認為SSC最後階段 ( 向心收縮 ) 的能力有所增強。說明SSC目的是提高動作最終階段的向心收縮效率 ( Komi, 1992 )。這樣工作形式的論點，過去學者們藉由電刺激離體肌肉 ( Cavagna, Saibene & Margaria, 1965, 1968 )、自然狀態或是各種活動情況下的動物實驗，( Gregoret et. al., 1988 ) 以及人體SSC最大肌力情形 ( Cavagna et al., 1968; Komi, 1983 ) 等研究中證實了這種肌肉的特殊工作形式

。學者 Huber (1987) 的研究也認為工作肌肉在收縮之前，如果先快速地伸展，將能產生更強而有力的收縮；在一定範圍下，離心收縮越快速，則相對產生的向心收縮將更有力。

過去，學者們認為垂直跳動作表現好壞取決於 SSC 的運用，藉由 SSC 的工作形式，作用肌群在離心收縮後能有更快速的向心收縮力量產生，因而有較高的表現，事實上，許多大肌肉動作相關的研究皆指出彈性能儲存與釋放運用的重要觀點，強調彈性能の利用可使得肌肉牽張效應增強，並產生較高的肌肉活性以提昇表現 (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Bosco et al., 1981, 1982)。

Ruan 與 Li (2008) 以 12 位大學男性排球運動員作為實驗參與者，探討水平助跑對跳深動作的機械能輸出影響。結果發現，通過助跑的跳深動作，於動作前期高了活動層級 (activation level)，且下蹲階段時提高了肌肉牽張反射 (stretch reflex) 與力量等級 (muscle force level)，使得此階段整體下蹲時間縮短，隨著下蹲動作時間減少，達到最大離心動作的時間變快，下肢肌肉的 SSC 產生較佳的水準，而整體膝關節伴隨著助跑在蹬離階段初期減少了關節角度，也就是說當介入速度後，較高的碰撞力迫使下肢關節的勁度 (stiffness) 提高，進而降低了關節活動度，此外在蹬離階段時，較遠的距離飛入，也造成膝關節功率與總功率上升。對於提升表現的因素來說，肌肉的 SSC 機制通過刺激牽張反射後，促使肌肉原件彈性能 (elastic energy) 的儲存與釋放更加有效率使得工作的肌肉產生更高的功率輸出，並且因此提高了下肢勁度的協調 (Bobbert et al., 1987a; Walshe, Wilson & Ettema, 1998)。

許多探討 SSC 的相關研究中，部分研究多以垂直跳做為研究的方法，像是 DJ、SJ、CMJ 等動作，無論是利用推蹬機（Finni Ikegawa & Komi, 2001; Horita, Hämaläinen, Komi & Avela, 2002）或是實際動作操作（McCaulley Cormie, Cavill, Nuzzo, Urbiztondo & McBride, 2007; Nuzzo, McBride, Cormie & McCaulley, 2008; Ruan & Li, 2008, 2009）的表現上都會有發現跳深的離地高度大於下蹲跳，下蹲跳高於蹲踞跳的情況（McCaulley et al., 2007），對於這樣的結果也證明了 SSC 工作的介入所達到有利於動作表現的效果。

綜合以上對於 SSC 動作表現影響的敘述後，可以發現，大部分動態運動中，肌肉的 SSC 工作是一種非常特殊且能有效提升表現的工作方式，是一種很生活化的動作形態，舉凡日常生活中的投擲動作與跳躍動作，都可以通過 SSC 來控制表現。總結來說，反向動作為 SSC 工作的外在表現，而內在因素大致可歸納為彈性能的儲存與利用、力學的刺激機制與力量的持續作用行為。

## 第二節 水平跳的動作特徵

日常生活中，跑、跳與投擲皆為人類的的基本動作，而各項運動的形式亦建立於此，跳躍動作是一種藉由與地面產生交互作用，進而利用或對抗反作用力而產生推蹬力，將身體向上蹬離至空中的一種動作，無論雙腳或單腳起跳，將身體垂直向上蹬起的動作，統稱為垂直跳，就其運動表現方式而言又可分為幾種，諸如：蹲踞跳、下蹲跳、跳深等。為了提

高垂直跳表現，過去發展了許多不同的策略，像是擺動動作，許多學者們提出，擺動動作可以增加蹬離地面的反作用力並且提高中心離地時的高度 (Dapena, 1999; Hall, 2003)，並且藉由起跳或非起跳手或腳的擺動能提高表現主因為地面反作用力的增加 (Dapena, 1999)。另有 SJ 與 CMJ 的比較，這一類型的比較上，CMJ 有較好的表現乃因 SSC 效應。過去研究也顯示出 CMJ 表現乃因預蹲動作引發牽張反射而有較好的表現 (Schmidtbleicher, 1992)。

#### 壹、原地垂直跳動作研究

在原地垂直跳動作方面，常見有 SJ 與 CMJ 兩種方式，而運動訓練上則常有 DJ 動作的形式。SJ、CMJ 與 DJ 動作最大差異則在於 CMJ 與 DJ 多了反向動作，在下蹲動作速度的比較上，相對於 DJ，CMJ 下蹲動作較慢，且過去許多研究皆顯示 DJ 表現 (理想下落高度時的最佳表現) 會高於 CMJ (Ruan & Li, 2008)；對於 CMJ 的表現會高過於 SJ 而言，過去的研究認為從 SJ 與 CMJ 的比較上來看，Bobbert (1996) 等學者認為造成這樣的差異原因可能為來自以下幾點：

- 一、相對於 SJ，CMJ 有較佳的協調來完成動作，這樣的協調乃因預蹲動作的效用，進而引發肌肉牽張反射的機制，造成此一結果。
- 二、CMJ 在肌肉執行向心收縮工作時，因反向動作的 SSC 機制引導下，達到最佳的反射張力。
- 三、由於 SSC 作用，CMJ 在離心收縮已開始儲存彈性能，因此相對 SJ 能較有效率儲存能量。
- 四、CMJ 因 SSC 作用，預先刺激離心收縮時的牽張反射，促

使向心收縮時肌肉產生更大的能量與功。

五、Huber (1987) 認為由於 CMJ 中預先對肌肉牽張可致使肌肉收縮產生不同的結構條件，即意肌肉在離心階段調整肌肉適當張力，並由於前述能量的儲存，以至於隨後向心收縮更有效率。

綜合上述五點，林正常、黃勝裕與陳重佑 (1999) 發現蹲踞跳與下蹲跳兩種動作中，在跳躍高度、達最大力量時間與總功量有顯著的差異。這樣的差異，係因 CMJ 能較快達到最大力量，間接促使動作產生的過程中有較大的力量與功。

陳重佑 (2004) 招募 27 名大專校隊運動員作為實驗參與者，透過「獲取運動速度的最大衝量原理」(劉宇, 1998) 來推論運動速度增加可能因素為理論基礎，比較叉腰 (arms akimbo) 或擺臂 (arm-swing) 對垂直跳的有效衝量提升機制進行探討，透過測力板與影像分析後，其結果發現，擺臂後對於垂直跳的力量作用時間增加了，進而提升了離地時的正衝量，而此結果則不支持過去研究者 Harman、Rosenstein、Frykman 與 Rosenstein (1990) 和 Payne、Slater 與 Telford (1968) 所推論的擺臂垂直跳最大地面反作用力顯著大於叉腰垂直跳。

## 貳、介入助跑的垂直跳動作研究

過去大部分垂直跳研究皆屬原地垂直跳居多，以原地垂直跳為主，探討蹲踞跳與下蹲跳的差異或擺臂動作的介入與否，然而實際運動場上，先有水平跳而後跳躍的動作雖多，像是排球攔網、殺球或踏步後進行跳躍，這樣的運動方式類

似通過水平跳躍後進行垂直跳，水平跳後接續的跳躍卻非為單純的垂直跳工作，且過去對於介入水平跳的垂直跳動作研究則相對較少，且對於水平跳介入垂直跳動作的文獻方面亦較不多見。

Ruan 與 Li 在 2008 年以 12 位大學男性排球運動員作為實驗參與者，探討水平助跑對跳深動作的機械能輸出影響。這個研究探討了過去垂直跳動作課題較少去參與的部份，即為水平助跑，研究者通過水平助跑後，利用測力板與影像分析系統來進行資料的收集，結果發現水平助跑的介入，改變了過去跳深動作的最大高度限制，並且在總功率輸出方面有增高趨勢 (Bobbert, 1987)，作者對於這樣的結果認定為 SSC 的效應增強所導致，並且下肢肌肉因應較高的著地碰撞而有較高的勁度協調產生 (Walshe, Wilson & Ettema, 1998)，最後，此課題認為介入水平速度後能確實增進表現，並且能作為運動員下肢爆發力訓練的方法。綜合過去的研究，可以發現水平助跑對於垂直跳動作有增加表現的因素存在，對於提升垂直跳動作表現的因素而言，大多針對垂直跳力量峰值的增加而提高表現或是發力率的提升而提高表現，並且在力量表現的方面上，又以 SSC 機制產生較大能量進而提升表現所影響。

### 第三節 本章總結

在原地垂直跳動作的研究中，早期研究者通過擺臂動作介入與否進行改變表現機制的探討，而當時的論點皆是指向反向動作介入產生 SSC 機制，進而造成表現的提升；而另一

方面則是通過擺動動作的介入與否作為主軸進行研究，這類的研究通常以手臂的擺動與否作為主要控制因素，介入擺臂後，許多研究者皆認為擺臂造成地面反作用力的增加，進而導致垂直跳作用力增加而提升表現（Dapena, 1999），然而過去這樣的推論大多經由模擬垂直跳動作實驗而來，對於實際動作的研究尚無發表，直至1999年由Chen等人對於擺臂與叉腰垂直跳進行研究，通過測力板進行資料的收集與分析後發現：於力量鋒直上並無顯著差異，也不支持Dapena所認為的地面反作用力因擺臂而加大的推論。而此實驗的主要結果發現，提高垂直跳表現主因為作用力時間的延長，並非反作用力大小所造成。

從過去的文獻中，對於垂直跳，已能有相當程度的了解，並且透過動力學或運動學來進行動作的分析、解釋與說明；然而對於實際運動中水平助跑後再進行垂直跳的動作能屢現不鮮，是否在介入水平跳後，垂直跳動作的發展產生了不一樣的結果？在衡量的變化上，會有什麼樣的改變？如此疑問都需要深入分析探究。

## 第三章 研究方法

本研究通過 VICON 3D 影像分析系統與 Kistler 測力板同步收集運動學與動力學參數資料，經 Nexus 與 Polygon 軟體分析計算關節參數對表現的影響，探討急停跳對垂直跳表現的效應。本章的內容將依序分為下列四的部份：第一節、實驗參與者；第二節、實驗儀器與器材；第三節、實驗程序；第四節、資料處理與分析。

### 第一節 實驗參與者

本研究以國立臺灣體育學院體育學系學生為實驗參與者，以志願參加者 16 人為本實驗研究參與者，所有參加者基本資料如表 1 所示，他們的年齡為  $20.7 \pm 1.4$  歲、身高  $169.8 \pm 4.5$  公分與體重  $67.5 \pm 7$  公斤。所有參與者均應確實瞭解實驗參加者須知，並且在實驗進行中盡力達到研究所要求的目標，以及填寫個人同意書。

表 1：實驗參加者的基本資料

項 目	M	SD	max	min
年齡 (years)	20.7	1.4	23.5	18.1
身高 (cm)	169.8	4.5	181.5	161.0
體重 (kg)	67.5	7.0	88.5	59.0

## 第二節 實驗儀器與器材

本研究為收集實驗參與者在進行急停垂直跳動作，下蹲階段的運動學與動力學參數資料，使用之相關實驗器材與分析軟體，茲陳述如下：

本研究所使用測量下肢地面反作用力儀器為 Kistler 測力板，運動學資料收集則使用 VICON 三度空間影像擷取系統，使用 Nexus 軟體內建 Plugingait Fullbody (SACR) Model 進行參數資料的收集，實驗進行前，先以馬丁尺量測各關節肢段維度資料，再以 8 台紅外線攝影機（包含 4 台廣角鏡頭、2 台長鏡頭與 2 台一般鏡頭），收集實驗參與者反光球點之運動學資料，各肢段反光球置放點如表 2 所示，位置如圖 1 所示，再以測力板訊號同步接收盒，通過 Nexus 軟體進行影像資料與地面反作用力資料同步收集與計算。

### 壹、儀器設備

- 一、2 塊測力板（型號為：9260AA6）
- 二、8 紅外線高速攝影機（MX-F40）。
- 三、1 台數位訊號轉換盒（訊號同步接收）。
- 四、1 組馬丁尺。
- 五、鐵尺（100cm）。

### 貳、資料處理相關軟體

- 一、VICON Polygon 3.1 資料分析軟體。
- 二、VICON Nexus 1.6.1 影像系統資料分析軟體
- 三、Microsoft Excel 2007 中文版試算分析軟體。

四、SPSS 18.0 統計分析中文版軟體。

五、Origin Pro 7.03 版繪圖軟體。

表 2：Pluggingait Fullbody Model ( SACR ) 反光球放置表

肢段	位置
頭部	RFHD、LFHD、RBHD、LBHD
軀幹	C7、T10、CLAV、STRN、RBAK
右手臂	RSHO、RELB、RWRA、RWRB、RFIN
左手臂	LSHO、LELB、LWRA、LWRB、LFIN
髖部	LASI、RASI、SACR
左下肢	LTHI、LKNE、LTIB、LANK、LHEE、LTOE
右下肢	RTHI、RKNE、RTIB、RANK、RHEE、RTOE

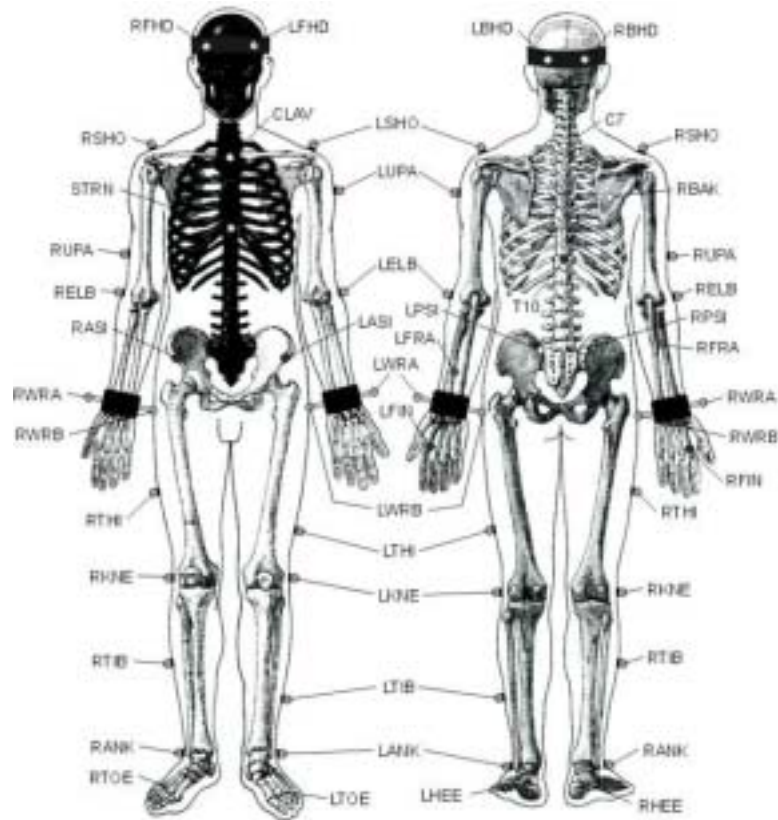


圖 1：VICON Pluggingait Model 反光球黏貼位置參照圖

(摘自 VICON Nexus 軟體說明書)

### 第三節 實驗過程

本實驗進行過程如下：

#### 壹、實驗參與者簽署「實驗參與者同意書」

研究者為實驗參與者說明本研究動作的要求，以及目的與相關時程後，請求填寫實驗參與同意書。待填寫完同意書後，進行實驗參與者的基本身體之段參數測量以及反光球點放置，為了使用 VICON Nexus 軟體計算下肢力矩，因此在反光球位置的選擇上必須依循其規定，於本實驗則以內建 Plugingait Fullbody Model 輸入人體測量學參數後計算其力矩。

#### 貳、實驗動作說明

本實驗進行三種垂直跳工作，實驗參與者以隨機 (random) 方式進行動作施測，隨機方式以擲骰子方式進行，擲出 1 點與 2 點代表進行原地垂直跳動作；5 點與 6 點代表 1 m 距離的急停垂直跳動作；3 點與 4 點則代表 0.5 m 距離的急停垂直跳動作。本研究施測前進行動作教學與說明，並且給予 5 分鐘時間進行暖身以及動作練習。

#### 參、練習試作

要求實驗參與者於 3 分鐘內進行施測動作練習，並已在先前完成暖身。

#### 肆、正式施測

正式實驗時，請實驗參與者與測力板上進行動作試作，次數由實驗參與者決定，施測以實驗參與者完成準備後告知開始，所有實驗參與者進行每種動作 3 次施測；在實驗過程中，要求實驗參與者盡全力向上做垂直跳動作。

### 第四節 資料處理與分析

利用測力板進行動力學資料收集採樣頻率為 1000Hz，VICON 動作影像擷取系統收集運動學資料，採樣頻率為 200Hz，並以內建程式 Nexus1.6.1 計算下肢各關節力矩，通過 Dempster (1955) 提出的人體之段參數參照，計算下肢力舉與功率等資料，透過各項資料輸出，以 SPSS 18.0 版軟體將運動學與動力學參數進行統計分析，三種跳躍的分析方式使用重覆量數單因子變異數分析，統計若達顯著差異，則以 LSD 法進行事後比較的處理。就本研究中自變相與依變相的關聯強度  $\eta^2$  而言，Kirk (1995) 認為  $.059 > \eta^2 \geq .01$  即表示低關聯強度， $.138 > \eta^2 \geq .059$  為中關聯強度， $\eta^2 \geq .138$  則為有較高關聯強度。統計的顯著水準定為  $\alpha = .05$ 。

## 第四章 結果與討論

本研究係以垂直跳動作為基礎，探討不同距離的急停跳動作對原地垂直跳動作的影響，並針對下肢各關節進行運動學與動力學參數的比較。實驗數據經分析後，將本章分為下列三節進行討論：一、下蹲動作過程的參數分析；二、蹬伸階段的參數分析；三、綜合討論。

### 第一節 下蹲動作過程的參數分析

#### 壹、跳躍表現

就垂直跳動作的動作表現特徵來看，重心高度是最明顯也最容易判斷的參數。通過不同的垂直跳工作，比較個體在不同距離的急停垂直跳動作，是否能有效的運用前一次跳躍的水平速度，進而使得後續原地垂直跳能有更佳表現。為了探討三種垂直跳工作是否影響影響跳躍表現，首先在著地瞬間的比較上，表 3 顯示出重心的水平速度在 0.5 m ( $1.03 \pm 0.13$  m/s) 與 1 m ( $1.41 \pm 0.23$  m/s) 的比較上有顯著差異， $t(15) = 7.28$ ,  $p < .05$ ,  $r = .60$ ，此外在著地瞬間的垂直速度比較上，0.5 m ( $1.95 \pm 0.35$  m/s) 與 1 m ( $2.01 \pm 0.41$  m/s) 則未發現顯著差異， $t(15) = 0.59$ ,  $p > .05$ ,  $r = .43$ ，說明了距離的控制造成重心的水平速度產生差異，並且重心水平速度隨著急停的距離增加而變快。而表 4 顯示三種跳躍工作表現的平均值與標準差，表 5 為跳躍表現參數之變異數分析與事後比較摘要表，經重覆量數單因子變異數分析後發現，無論是

單純以提升表現來看，原地垂直跳（ $61.8 \pm 6.2$  公分）、 $0.5$  m（ $61.2 \pm 6.6$  公分）與  $1$  m（ $61.1 \pm 6.3$  公分）並無顯著差異， $F(2, 30) = .66$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .04$ ,  $power = .15$ ，或是標準化後的表現，原地垂直跳（ $0.62 \pm 0.06$ ）、 $0.5$  m（ $0.61 \pm 0.07$  公分）與  $1$  m（ $0.61 \pm 0.06$  公分）也沒有顯著差異， $F(2, 30) = .66$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .04$ ,  $power = .15$  跳躍表現並未隨著立定急停跳距離的增加而增加。

表 3：著地瞬間重心速度平均值標準差與統計結果

參數	0.5 m		1 m		t (15)	r	p
	M	SD	M	SD			
水平速度 (m/s)	1.03	0.13	1.41	0.23	7.28*	.60	.00
垂直速度 (m/s)	1.95	0.35	2.01	0.41	0.59	.43	.56

\*p &lt; .05

表 4：跳躍表現參數之描述統計資料

參數	M	SD	Max	Min
高度 (cm)				
原地	61.8	6.2	71.4	52.1
0.5 m	61.2	6.6	72.3	51.1
1 m	61.1	6.3	70.8	53.1
標準化 (BH)				
原地	0.62	0.06	0.71	0.52
0.5 m	0.61	0.07	0.72	0.51
1 m	0.61	0.06	0.40	0.53

表 5：跳躍表現參數之變異數分析與事後比較摘要表

變異來源	MS	F	$\eta^2$	p	Power
高度					
跳躍方式 <sup>a</sup>	178.93	0.66	.04	.52	.15
殘差 <sup>b</sup>	269.98				
標準化高度					
跳躍方式 <sup>a</sup>	1.78	0.66	.04	.52	.15
殘差 <sup>b</sup>	2.69				

註： $\eta^2$  = 處理效果 (effect size)

<sup>a</sup>df = 2, <sup>b</sup>df = 30

## 貳、關節工作範圍與角速度

下蹲角度係指，垂直跳下蹲階段時下肢髖關節、膝關節與踝關節，著地瞬間的屈曲角度至關節屈曲最大值的範圍，角速度則為下蹲速度的最大值。表 6 顯示，三種垂直跳工作的下肢關節屈曲角度與角速度平均值與標準差，表 7 為髖關節、膝關節與踝關節分析結果摘要表。說明了在關節工作範圍部分，髖關節在原地垂直跳 ( $88.8 \pm 10.1^\circ$ ) 達顯大於 0.5 m ( $48.8 \pm 13.4^\circ$ ) 與 1 m ( $44.4 \pm 13.9^\circ$ )， $F(2, 30) = 143.65$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .91$ , power = 1.00；膝關節在原地垂直跳 ( $105.7 \pm 18.4^\circ$ ) 達顯大於 0.5 m ( $87.8 \pm 19.6^\circ$ ) 與 1 m ( $89.3 \pm 17.7^\circ$ )， $F(2, 30) = 19.56$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .57$ , power = 1.00；踝關節在原地垂直跳 ( $32.6 \pm 6.0^\circ$ ) 達顯大於 0.5 m ( $44.4 \pm 5.7^\circ$ ) 與 1 m ( $45.1 \pm 9.8^\circ$ )， $F(2, 30) = 31.11$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .68$ , power = 1.00。另外在下蹲的各關節角速度最大值比較上，髖關節在原地垂直跳 ( $4.86 \pm 0.73$  rad/s) 顯著慢於 0.5 m (

6.99 ± 1.13 rad/s) 與 1 m ( 6.52 ± 1.13 rad/s ),  $F(2, 30) = 36.29$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .07$ , power = 1.00; 膝關節在原地垂直跳 ( 5.34 ± 1.03 rad/s ) 顯著慢於 0.5 m ( 12.22 ± 2.07 rad/s ) 與 1 m ( 13.40 ± 1.98 rad/s ),  $F(2, 30) = 204.26$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .93$ , power = 1.00; 踝關節在原地垂直跳 ( 1.92 ± 0.44 rad/s ) 顯著慢於 0.5 m ( 7.32 ± 1.50 rad/s ) 與 1 m ( 7.32 ± 2.12 rad/s ),  $F(2, 30) = 74.42$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .83$ , power = 1.00。圖 2 至圖 4 分別為下肢腕關節、膝關節與踝關節角度時間曲線，在三種垂直跳動作過程中屈曲至蹬伸的曲線變化情況，其中在離地前的蹬伸角度最大值方面，膝關節與踝關節差異並不明顯；從關節屈曲角度最大值可以發現，離地瞬間前，三種垂直跳動作的腕關節、膝關節與踝關節角度最大值有順序性的發生，由近端關節開始然後遠端，隨著起跳動作的完成而發生，其中腕關節最先發生然後膝關節接著踝關節最晚。

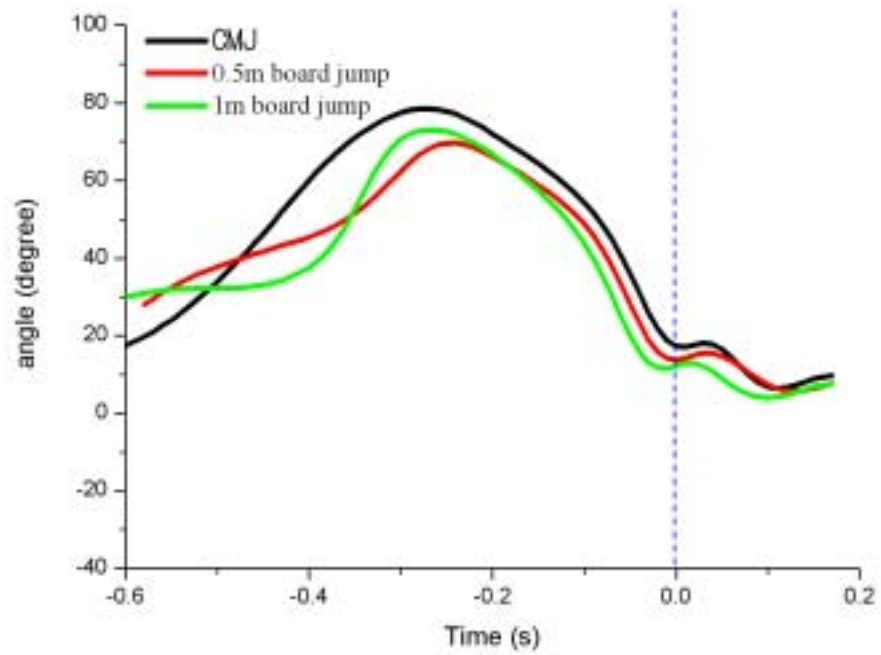


圖 2：下蹲階段髁關節角度。  
註：虛線為離地瞬間。

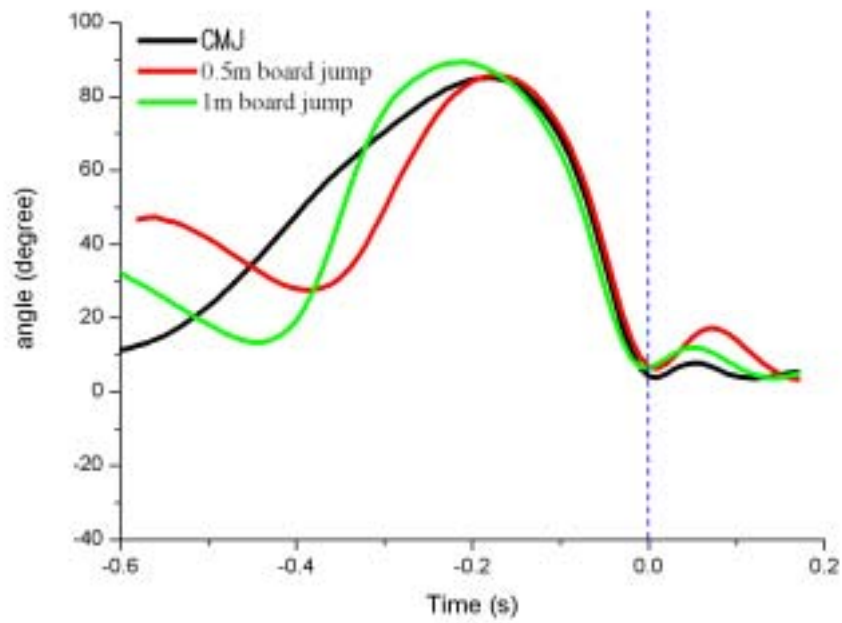


圖 3：下蹲階段膝關節角度。  
註：虛線為離地瞬間。

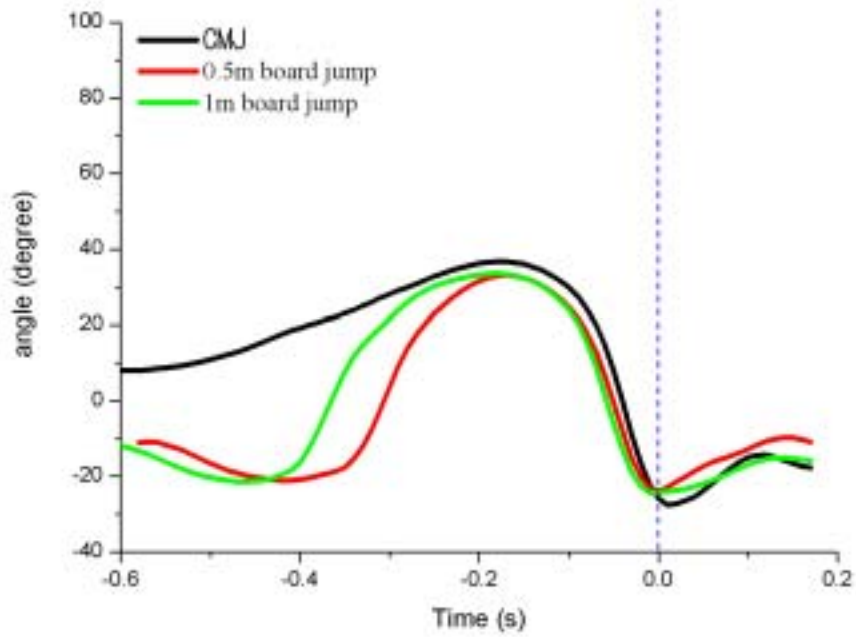


圖 4：下蹲階段踝關節角度。  
註：虛線為離地瞬間。

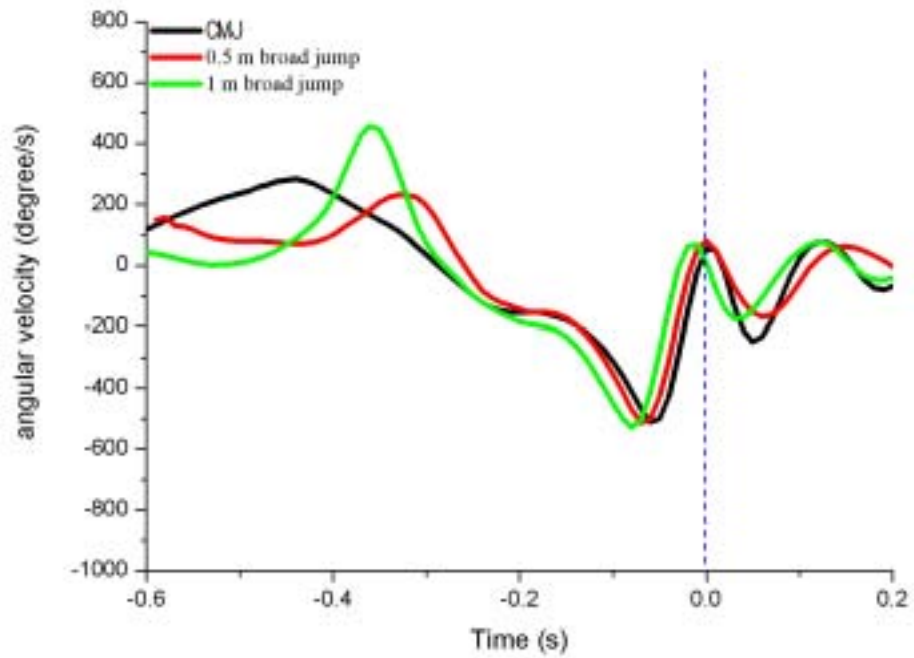


圖 5：下蹲階段髁關節角速度。  
註：虛線為離地瞬間。

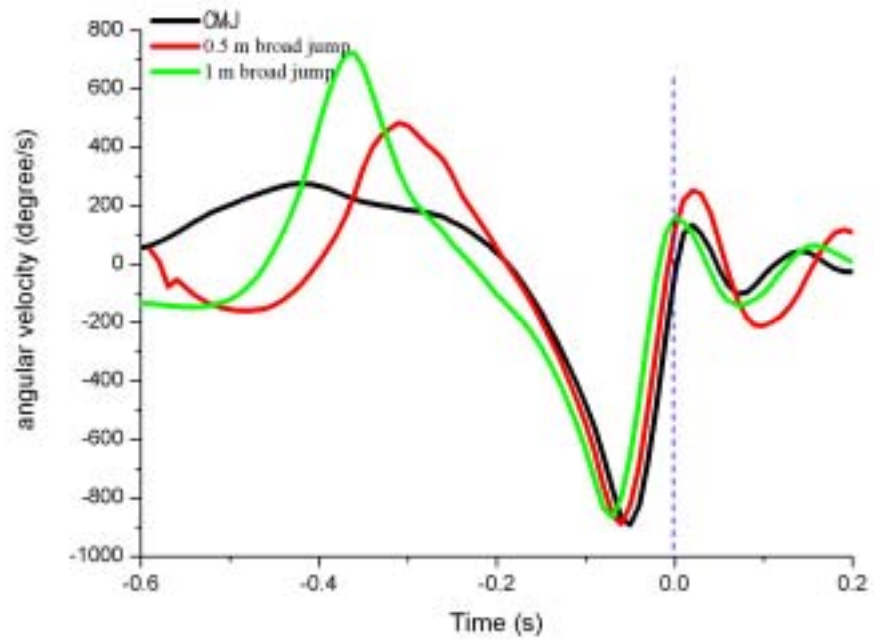


圖 6：下蹲階段膝關節角速度。  
註：虛線為離地瞬間。

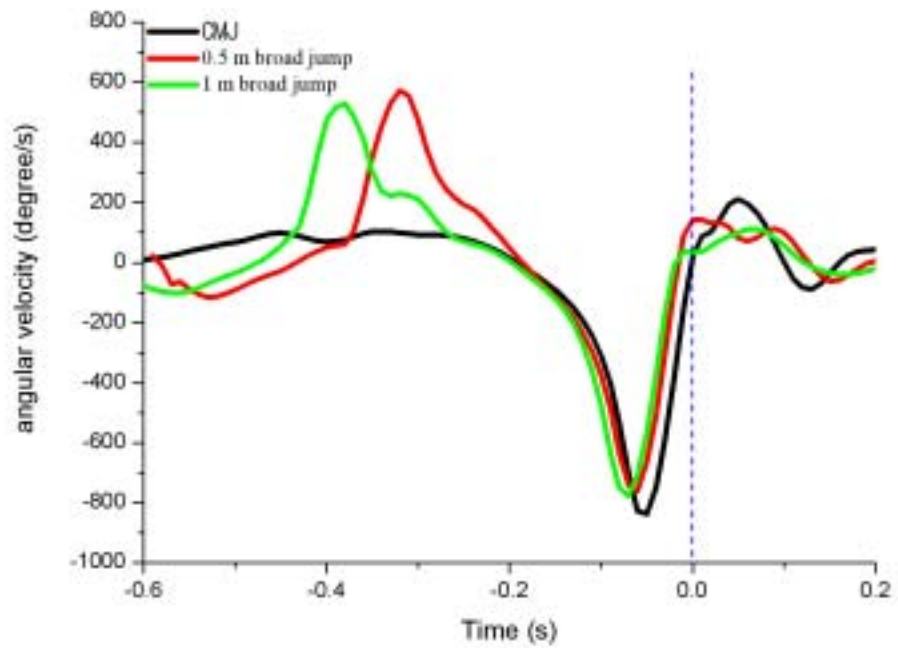


圖 7：下蹲階段踝關節角速度。  
註：虛線為離地瞬間。

表 6：下蹲階段運動學參數平均值 (M) 與標準差 (SD)

工作 參數	原地		0.5 m		1 m	
	M	SD	M	SD	M	SD
工作範圍 (°)						
髖	88.8	10.1	48.8	13.4	44.4	13.9
膝	105.7	18.4	87.8	19.6	89.3	17.7
踝	32.6	6.0	44.4	5.7	45.1	9.8
角速度 (rad/s)						
髖	4.86	0.73	6.99	1.13	6.52	1.13
膝	5.34	1.03	12.22	2.07	13.40	1.98
踝	1.92	0.44	7.32	1.50	7.32	2.12

表 7：下蹲階段運動學參數之變異數分析與事後比較摘要表

變異來源	MS	F	$\eta^2$	p	Power	Post hoc
腕關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	14235.71	143.65*	.91	.00	1.00	1 > 2, 3
殘差 <sup>b</sup>	99.10					
膝關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	1608.25	19.56*	.57	.00	1.00	1 > 2, 3
殘差 <sup>b</sup>	82.24					
踝關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	786.64	31.11*	.68	.00	1.00	2, 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	25.29					
腕關節角速度						
跳躍方式 <sup>a</sup>	19.88	36.29*	.07	.00	1.00	3 > 2 > 1
殘差 <sup>b</sup>	0.55					
膝關節角速度						
跳躍方式 <sup>a</sup>	303.06	204.26*	.93	.00	1.00	2 > 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	1.48					
踝關節角速度						
跳躍方式 <sup>a</sup>	155.26	74.42*	.83	.00	1.00	2, 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	2.09					

註： $\eta^2$  = 處理效果 (effect size)

\*p < .05

<sup>a</sup>df = 2, <sup>b</sup>df = 30

1 = 原地垂直跳, 2 = 0.5 m 急停跳, 3 = 1 m 急停跳

圖 5 至圖 7 分別為下肢髖、膝與踝關節在三種跳躍工作著地至起跳階段的角速度變化曲線，比較三種垂直跳工作，著地瞬間的關節屈曲角速度曲線特徵，1 m 急停垂直跳動作的膝關節與踝關節角速度，最大值發生時間較 0.5 m 急停垂直跳早約 0.05 s；比較起蹬伸階段的關節屈伸角速度最大值，下肢髖關節、膝關節與踝關節出現角速度最大值瞬間都相當接近，約為起跳前 0.05 s，並且三種垂直跳工作的關節角速度曲線也未呈現出極大的差異，可以看出三種跳躍工作，起跳前的關節角速度變化特徵均非常相似。

## 第二節 蹬伸階段的參數分析

### 壹、關節工作範圍與角速度

表 8 與表 9 分別顯示蹬伸階段時，下肢髖關節、膝關節與踝關節的工作範圍與角速度最大值的平均值與標準差，以及變異數分析摘要表，各項參數經統計分析後僅膝關節活動範圍達顯著差異，經 HSD 事後比較發現 0.5 m ( $117.8 \pm 19.0^\circ$ ) 與 1 m ( $118.8 \pm 18.1^\circ$ ) 大於原地 ( $85.1 \pm 7.6^\circ$ ) 有顯著差異， $F(2, 30) = 6.77$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .31$ ,  $\text{power} = .89$ 。

觀察圖 5 的 a、b、c，由實驗參與者 A 在三種跳躍的表現來看，膝關節力矩曲線特徵在三種跳躍工作上有較明顯的差異，力矩最大值由大到小依序為，0.5 m 的急停垂直跳大於 1 m 的急停垂直跳大於原地垂直跳，髖關節與踝關節力矩曲線最大值部分，則沒有較膝關節明顯；離地前的力矩曲線顯示出，三種跳躍工作的力矩曲線特徵則沒有很大的差別。

表 8：蹬伸階段運動學參數平均值 (M) 與標準差 (SD)

工作 參數	原地		0.5 m		1 m	
	M	SD	M	SD	M	SD
工作範圍 (°)						
腕	85.1	7.6	84.1	9.1	85.6	11.0
膝	110.9	17.1	117.8	19.0	118.8	18.1
踝	71.2	7.2	70.4	6.4	70.3	6.4
角速度 (rad/s)						
腕	9.36	1.56	10.22	1.19	9.55	1.63
膝	16.57	2.04	17.22	1.23	16.47	1.99
踝	14.74	2.21	14.37	1.80	13.75	1.59

表 9：蹬伸階段運動學參數之變異數分析與事後比較摘要表

變異來源	MS	F	$\eta^2$	p	Power	Post hoc
腕關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	9.36	0.28	.02	.76	.09	
殘差 <sup>b</sup>	33.92					
膝關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	301.72	6.77*	.31	.00	.89	2, 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	44.60					
踝關節工作範圍						
跳躍方式 <sup>a</sup>	4.05	0.26	.02	.77	.09	
殘差 <sup>b</sup>	15.47					
腕關節角速度						
跳躍方式 <sup>a</sup>	3.23	5.69	.28	.01	.82	
殘差 <sup>b</sup>	0.57					
膝關節角速度						
跳躍方式 <sup>c</sup>	3.63	1.81	.11	.19	.29	
殘差 <sup>b</sup>	1.52					
踝關節角速度						
跳躍方式 <sup>a</sup>	3.95	1.85	.11	.18	.35	
殘差 <sup>b</sup>	2.14					

註： $\eta^2$  = 處理效果 (effect size)

\*p < .05

<sup>a</sup>df = 2, <sup>b</sup>df = 30, <sup>c</sup>df = 1.471

1 = 原地垂直跳, 2 = 0.5 m 急停跳, 3 = 1 m 急停跳

## 貳、關節力矩與功率

表 10 與為下肢動力學參數的平均值與標準差，表 11 為變異數分析摘要表，三種跳躍工作的力矩與功率最大值，經統計分析結果發現髖關節、膝關節力矩有差異，踝關節功率有差異，並且經 HSD 事後比較發現，髖關節力矩在 0.5 m (  $169.2 \pm 32.4$  Nm ) 與 1 m (  $171.6 \pm 27.7$  Nm ) 顯著大於原地 (  $138.3 \pm 28.2$  Nm )， $F(2, 30) = 14.46$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .49$ ， $power = 1.00$ 。膝關節力矩在 0.5 m (  $158.8 \pm 60.8$  Nm ) 與 1 m (  $159.8 \pm 54.2$  Nm ) 顯著大於原地 (  $126.3 \pm 42.3$  Nm )， $F(2, 30) = 12.31$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .45$ ， $power = .99$ 。踝關節功率在原地 (  $12.17 \pm 2.03$  W/BW ) 大於 0.5 m (  $11.62 \pm 2.06$  W/BW ) 與 1 m (  $10.62 \pm 2.09$  W/BW ) 達顯著差異， $F(2, 30) = 6.77$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .31$ ， $power = .89$ 。

從圖 8 至圖 10 可觀察出，三種跳躍動作起跳階段的下肢髖、膝與踝關節力矩曲線特徵非常相似，尤其以離地前 0.1 s 至離地的過程，可以看出下肢髖關節、膝關節與踝關節力矩在三種跳躍工作的工作情況相同，但是就圖中所表現出的值來看，依然可以發現到髖關節與膝關節力矩，在原地垂直跳動作的最大值表現，有低於 0.5 m 與 1 m 急停垂直跳的情況，這樣的現象說明了急停垂直跳的工作特性，確實造成下肢關節工作的改變，只是，如此的差異並未造成跳躍表現的提昇。另外圖 11 至圖 13 為髖、膝與踝關節在三種跳躍工作的功率曲線特徵來看，踝關節功率較能看出差異的現象，由其以起跳前約 0.05 s 的時候，可以發現原地垂直跳的功率大於兩種急停垂直跳動作。

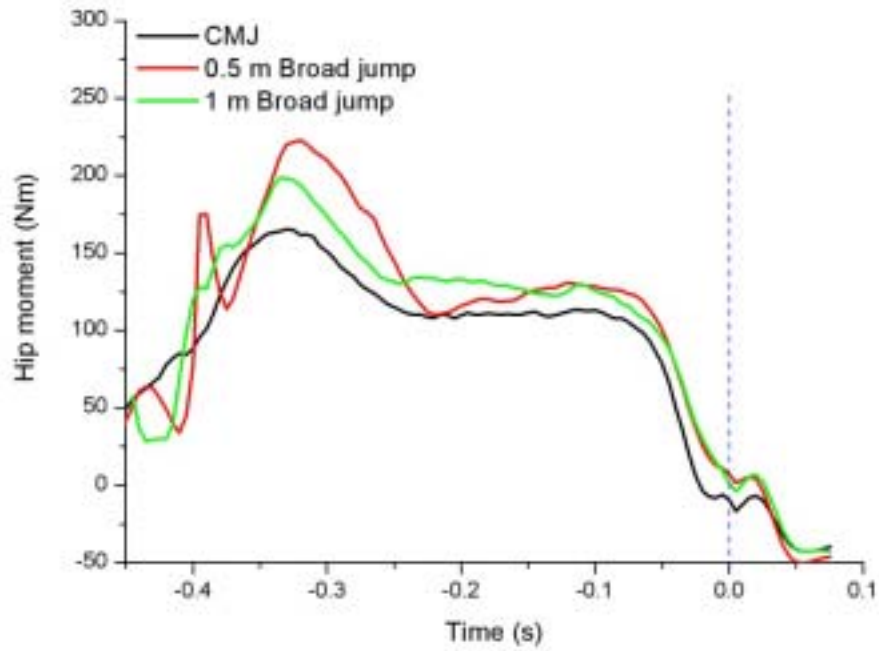


圖 8：三種跳躍工作動作過程髖關節力矩。  
註：虛線為離地瞬間。

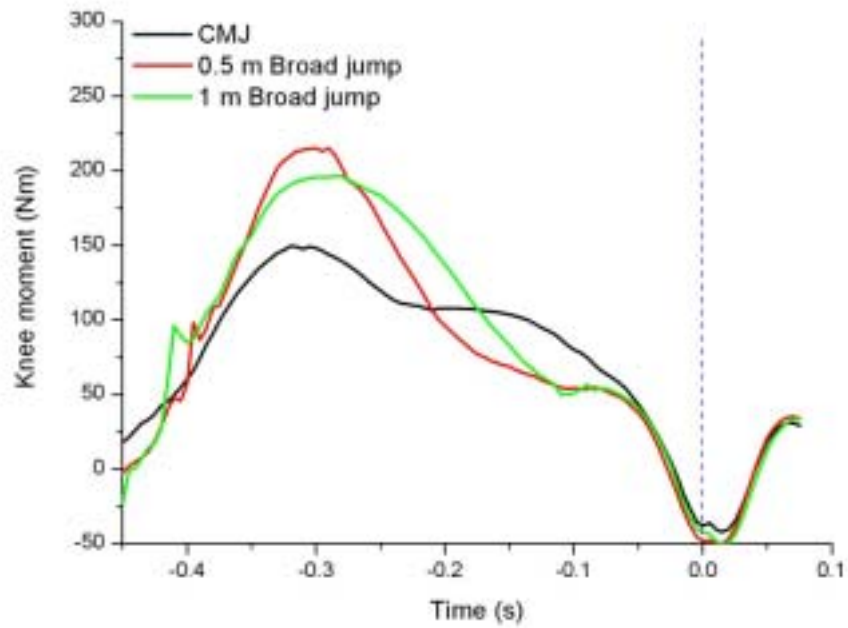


圖 9：三種跳躍工作動作過程膝關節力矩。  
註：虛線為離地瞬間。

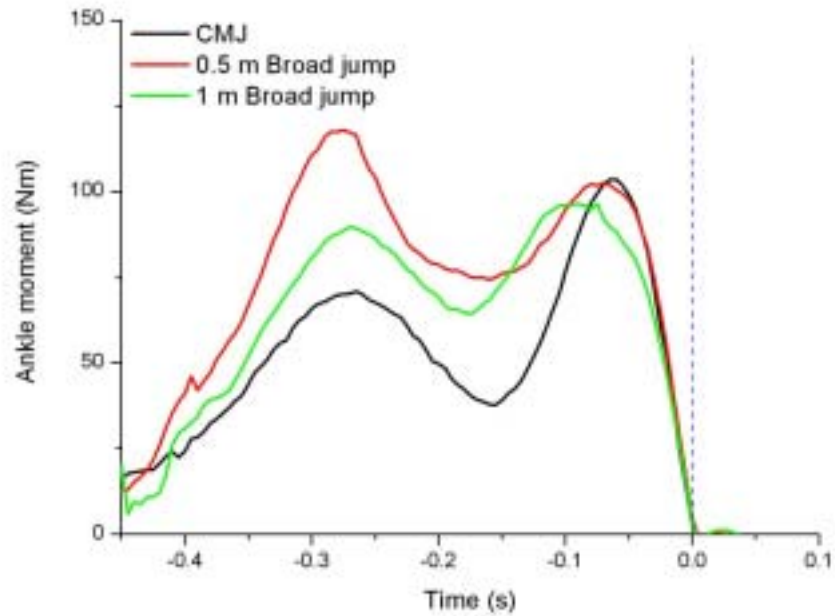


圖 10：三種跳躍工作動作過程踝關節力矩。  
註：虛線為離地瞬間。

表 10：蹬伸階段動力學參數平均值 (M) 與標準差 (SD)

工作 參數	原地		0.5 m		1 m	
	M	SD	M	SD	M	SD
力矩 (Nm)						
髖	138.3	28.2	169.6	32.4	171.6	27.7
膝	126.3	42.3	158.8	60.8	159.8	54.2
踝	110.2	17.0	114.2	15.0	113.4	14.1
功率 (W/BW)						
髖	8.00	2.68	8.38	1.93	8.04	2.12
膝	11.35	2.91	11.04	1.86	11.49	2.43
踝	12.17	2.03	11.62	2.06	10.62	2.09

表 11：蹬伸階段動力學參數之變異數分析與事後比較摘要表

變異來源	MS	F	$\eta^2$	p	Power	Post hoc
腕關節力矩						
跳躍方式 <sup>a</sup>	5569.1	14.46*	.49	.00	1.00	2, 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	385.1					
膝關節力矩						
跳躍方式 <sup>a</sup>	5812.4	12.31*	.45	.00	.99	2, 3 > 1
殘差 <sup>b</sup>	472.2					
踝關節力矩						
跳躍方式 <sup>a</sup>	74.9	0.57	.04	.57	.14	
殘差 <sup>b</sup>	131.4					
腕關節功率						
跳躍方式 <sup>c</sup>	1.0	0.269	.02	.68	.09	
殘差 <sup>b</sup>	3.7					
膝關節功率						
跳躍方式 <sup>a</sup>	.8	0.39	.03	.68	.11	
殘差 <sup>b</sup>	2.1					
踝關節功率						
跳躍方式 <sup>a</sup>	9.8	6.77*	.31	.00	.89	1, 2 > 3
殘差 <sup>b</sup>	1.5					

註： $\eta^2$  = 處理效果 (effect size)

\*p < .05

<sup>a</sup>df = 2, <sup>b</sup>df = 30, <sup>c</sup>df = 1.403

1 = 原地垂直跳, 2 = 0.5 m 急停跳, 3 = 1 m 急停跳

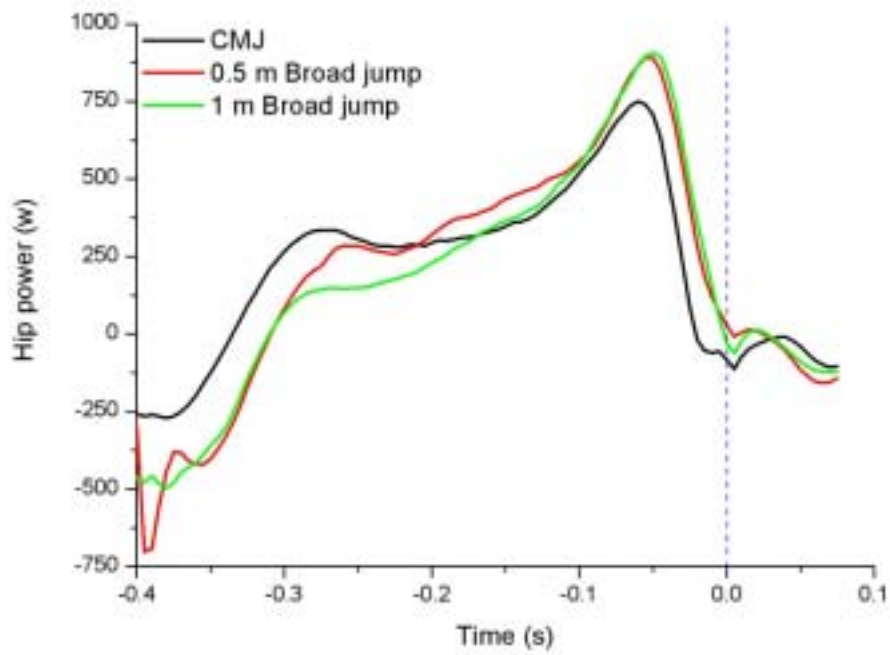


圖 11：三種跳躍工作動作過程髖關節功率。  
註：虛線為離地瞬間。

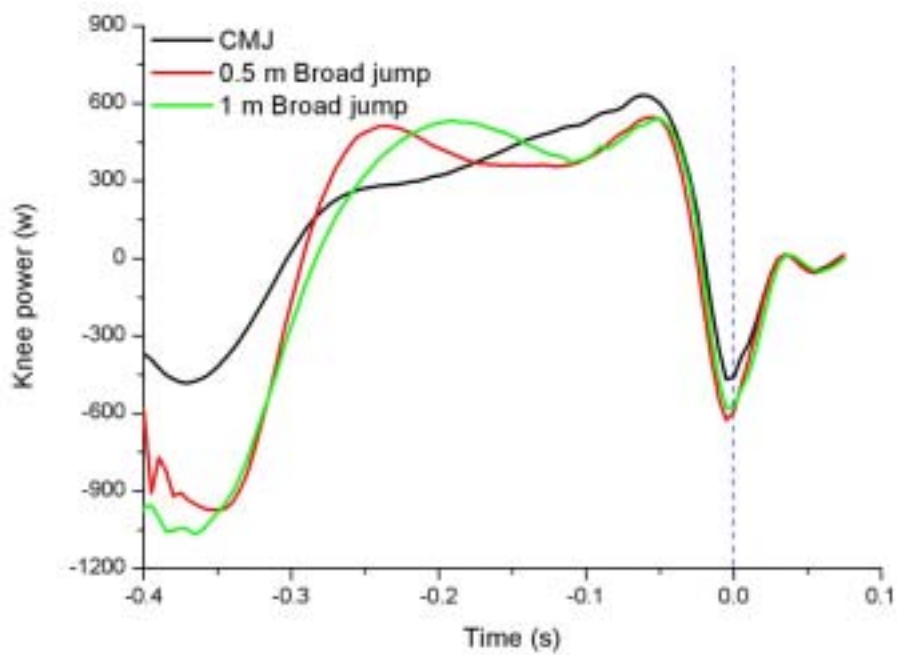


圖 12：三種跳躍工作動作過程膝關節功率。  
註：虛線為離地瞬間。

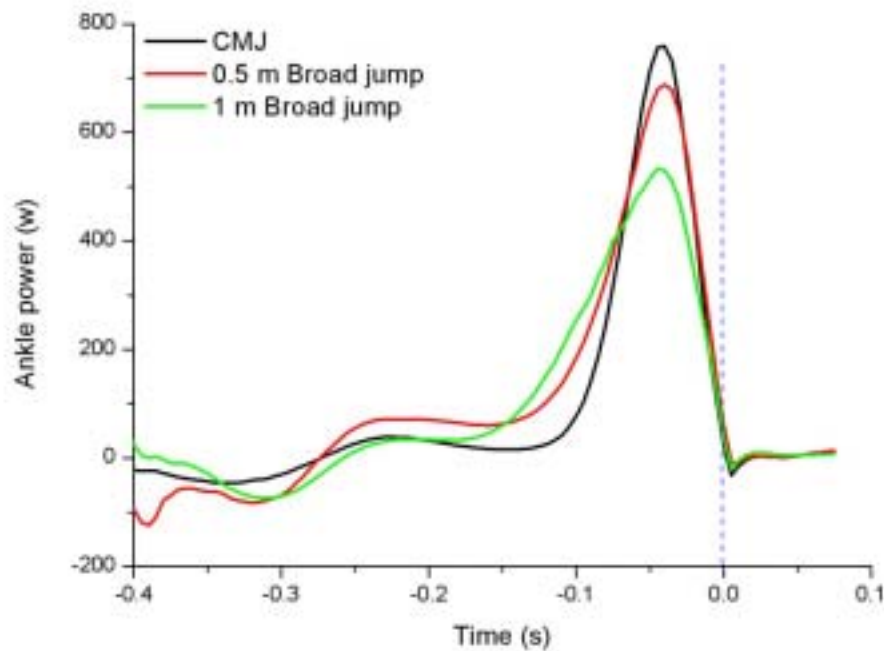


圖 13：三種跳躍工作動作過程踝關節功率。  
註：虛線為離地瞬間。

### 參、下蹲時間與蹬伸時間

將本研究動作劃分為兩個階段，可通過地面反作用力曲線與重心位移曲線進行判斷，下蹲階段與蹬伸階段分別指的是，在原地垂直跳中，動作開始瞬間至下蹲最低點瞬間為下蹲階段，0.5 m 與 1 m 垂直跳則是著地瞬間至下蹲最低點瞬間。而蹬伸階段皆為下蹲最低點瞬間至離地瞬間。然而表 11 與 12 分別為下蹲與蹬伸階段時間的平均值與標準差，經統計分析三種垂直跳工作在下蹲階段與蹬伸階段的作用時間，結果顯示三種跳躍工作的下蹲時間達顯著差異， $F(2, 30) = 336.73$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .96$ ,  $power = 1.00$ 。並且事後比較顯示原地垂直跳的下蹲時間 ( $0.52 \pm 0.07$  s) 大於 0.5 m ( $12.17$

$\pm 2.03$  s) 與 1 m ( $12.17 \pm 2.03$  s) 的垂直跳工作。

表 12：下蹲與蹬伸階段時間平均值 (M) 與標準差 (SD)

工作 參數	原地		0.5 m		1 m	
	M	SD	M	SD	M	SD
下蹲時間 (s)	0.52	0.07	0.25	0.05	0.24	0.05
蹬伸時間 (s)	0.32	0.04	0.31	0.04	0.31	0.05

表 13：下蹲與蹬伸階段時間之變異數分析與事後比較摘要表

變異來源	MS	F	$\eta^2$	p	Power	Post hoc
下蹲時間						
跳躍方式 <sup>a</sup>	623636.40	336.73*	.96	.00	1.00	1 > 2, 3
殘差 <sup>b</sup>	1852.04					
蹬伸時間						
跳躍方式 <sup>c</sup>	1396.34	2.07	.12	.16	.31	
殘差 <sup>b</sup>	673.55					

註： $\eta^2$  = 處理效果 (effect size)

\*p < .05

<sup>a</sup>df = 1.299, <sup>b</sup>df = 30, <sup>c</sup>df = 1.268

1 = 原地垂直跳, 2 = 0.5 m 急停跳, 3 = 1 m 急停跳

### 第三節 綜合討論

為了探討急停跳躍對垂直跳表現的影響，本研究藉由不同急停距離的操控，進行三種垂直跳工作，各項生物力學參

數經統計分析比較，以重心高度的改變為依據，比較三種垂直跳工作的跳躍表現，結果發現，距離並未有提升跳躍表現的效益，進一步比較 Ruan 與 Lee 研究助跑跳深動作，發現跳深動作藉由助跑可以提高動作表現，此一部份於本研究中並無發現，而在下肢關節角度的改變方面，下肢各關節角度隨著助跑步數增加而減少，也就是說速度越快，關節角度會逐漸減小，此一結果於本研究中也有相同的發現。

另外 Domire 與 Challis 的蹲深對垂直跳表現研究中，指出蹲深對於垂直跳表現沒有影響，而該研究提出刻意蹲深方式，並無法提昇跳躍表現；本研究在關節屈曲的最大角度部分，只有髖關節隨著距離增加而減少，這樣的結果與 Ruan 與 Lee 的助跑跳深研究有相同的結果，造成這樣的差異，推測是因急停跳後的垂直跳動作，個體帶有速度與外力，為了降低個體本身具有的速度與外力的作用，髖關節藉由降低著地時的屈曲角度來穩定後續的垂直跳工作，相較於原地垂直跳動作的關節屈曲角度，並沒有這樣的問題產生；下蹲階段的膝關節屈曲速度最大值與踝關節屈曲角速度最大值皆有顯著差異 ( $p > .05$ )，與過去助跑跳深的研究有相同的發現，相較之下，本研究三種跳躍工作的急停跳距離對於著地瞬間造成關節角速度的改變，並且距離越遠所導致下蹲速度越快，推測是跳進目標區的急停著地動作階段，個體本身帶有的水平速度所影響，觀察圖 4 三種跳躍方式在起跳時的伸髖關節、膝關節與踝關節速度最大值方面，會發現曲線的特徵與原地垂直跳相似，並未因急停跳遠所帶來的速度或外力不同，造成起跳時下肢運動學參數改變。

另外從下肢動力學參數的統計分析比較上，以力矩的統

計結果來看，本研究的三種跳躍方式，僅膝關節力矩有差異，在髌關節與踝關節方面並沒有太大的改變，而造成膝關節力矩差異的因素，應是急停垂直跳動作的著地階段，個體必須對抗著地瞬間地面反作用力所帶來的力，以及應付各體著地時下肢膝關節與踝關節額外速度，因此膝關節為了穩定後續的垂直跳動作，在著地至起跳的過程必須增加動作時間以減少著地時的碰撞力量，並立即轉換成為起跳的蹬力，所以造成膝關節力矩在三種跳躍中有顯著的差異，且主要的差異來自 1 m 距離的急停跳躍大於原地垂直跳，此外，膝關節力矩最大值的差異與助跑跳深的研究也有相同的結果，下肢關節的力矩隨著急停跳躍的距離增加而提高。

綜合上述結果，本研究認為急停後的垂直跳動作與助跑跳深所操弄的水平速度參數對於垂直跳動作的確有產生相關的效應，尤其以著地瞬間至下蹲階段的髌關節、膝關節與踝關節的屈曲角度、下蹲階段膝關節與踝關節角速度最大值與膝關節的力矩有顯著的差異產生。這些現象與助跑跳深的研究相互比較後，助跑跳深的研究結論認為，較高的功率輸出係因著地時較小關節活動範圍，導致下肢瞬間勁度增加，進而產生較佳的肌肉牽張反射效果，使得肌肉彈性機械元件能更有效地儲存與釋放彈性位能，造成較高的功率輸出，而有較好的表現。但是在本研究中，雖然跳躍表現並未有顯著差異，最遠的急停跳躍距離並無法造成明顯的助益；進一步比較關節角度，僅髌關節下蹲角度在原地垂直跳有較明顯的改變，而急停跳後的垂直跳動作則造成第一次著地時下肢膝關節與踝關節的下蹲角速度明顯快於原地垂直跳動作，並且急停跳躍工作的膝關節與踝關節，在下蹲階段關節角速度隨急

停跳距離增加而變快。

綜合動力學的參數統計分析後，觀察幾個重要的參數並沒有明顯的差異，僅發現髖關節與膝關節的力矩以及踝關節功率最大值有明顯的差異，髖關節力矩隨著距離的增加而提升，而膝關節力矩則是 0.5 m 的急停垂直跳大於 1 m 的急停垂直跳，這樣的差異推測是因為急停著地後，膝關節必須在著地瞬間抵抗個體因急停動作所具有外速度與外力，並使後續的垂直跳動作能有效的進行，而造成髖關節與膝關節力矩最大值明顯的增加，而踝關節功率則是兩種急停垂直跳工作顯著大於原地垂直跳，就整體的動力學參數分析而言，本研究將運動場上各種常見的跳躍動作進行運動生物力學的基礎分析，依所獲得的結果顯示並無顯著差異，若以肌肉工作的刺激效應來看，研究以原地垂直跳動作的下蹲時間與蹬伸時間為標準，比較急停動作後的垂直跳下蹲與蹬伸時間，僅得到急停垂直跳工作下蹲時間上的差異，而重要的蹬伸時間無差異，也就是說，下蹲時間的差異僅能推測來自於個體本身具有的速度造成，而三種跳躍工作的蹬伸時間沒差異，即說明急停垂直跳的工作形式沒有增加下肢肌肉的工作時間，因此也未能提高跳躍表現。

綜合上述的結果，經由收集原地垂直跳、0.5 m 急停垂直跳與 1 m 急停垂直跳三種動作，所得參數經有系統的分析後得到以下結論，以急停垂直跳動作與原地垂直跳來看，跳躍表現未有提昇，而髖與膝關節的屈曲角度降低以及髖、膝與踝關節下蹲時的屈曲角速度差異，以上結果僅能用來解釋，急停垂直跳的跳躍方式必須更注意著地階段肢體穩定的維持，並無法解釋跳躍表現的改變，再者以膝關節力矩來看，

推測個體著地時為了減緩碰撞力，與穩定後續跳躍的推蹬力而有差異的，因此，若針對垂直跳高度表現來看，急停垂直跳動作並無法更有效率的帶給運動員實際的效益。而急停垂直跳的動作形式，應是有另外更重要的目的，而非單純僅為了提高跳躍表現。

圖 14 為實驗參與者 A，表現 1 m 急停垂直跳動作的實際動作情況，可以觀察到本研究急停垂直跳動作中幾個重要時項，通過圖 14 的動作情況，以及地面反作用力大小與方向的同步圖示，可以發現在著地瞬間，身體必須克服面對而來的地面反作用力，然後進一步做原地垂直跳動作，由於地面反作用力的作用力矩在下蹲階段與蹬地階段皆通過膝關節，此時的力矩對於膝關節造成屈膝的作用，無法造成蹬地時伸膝的助力，或許這一點即是造成表現無法有突破性發展的主要因素。

既然本研究設計動作無法讓垂直跳表現能有更佳表現，運動場卻又不斷的可以看到各種球類運動中類似的動作表現？若以動作的目的來探討，踏步跳躍、急停跳躍動作又能有怎樣的表現呢？Tai 與 Chen (2008) 以 18 位手球國家代表隊運動員進行跳躍射門的研究中，在有目地的跳躍射球動作與原地垂直跳動作做比較，發現跳躍射門的重心高度較原地垂直跳低，而地面反作用力則較大，並且起跳蹬伸動作較為快速，也就是說，為了攻擊射門目的，跳躍射球屬於一種快速離地的動作，而這樣的結果是為了能獲取更佳的攻擊機會而產生，然而這樣的情況是否也符合本研究的實際情況，透過功率以及向心工作的時間來看，並未有顯著差異，上述的情況並發生在本研究中，因此，可以進一步的說明，急停動作

並未提升後續的原地垂直跳動作表現。

此外，針對運動場上的實際運用狀況而言，本研究認為這樣的動作無法有實際的效益，但為何在許多的運動場上仍然可以看到相似的跳躍動作？因此本研究推論，急停跳躍的動作類型目的並非提高重心的垂直高度，而是有其特殊性的要求。

就運動場上幾種不同目的跳躍動作來看，手球的跳躍射門並非求高度，但排球的跳躍殺球卻又要求能在最高點做出攻擊，羽球的跳躍殺球也是要求在最高點出手，那麼若單就手球的跳躍射門來探討，是否在動作的設計上以運動員習慣的跳躍方式能得到更多有用的訊息，建議未來的研究者可以朝這方向去思考。

另外從訓練的觀點來看，增強式訓練為近年來熱門的訓練方式，跳深的研究中指出下肢的肌肉刺激能有效的提升離心與向心工作的效益，而本研究的實驗設計上是否有類似跳深動作的效果，或許未來可以再進一步的進行探討，因為在本研究的動作設計上，下肢必須先進行離心工作後接著進行向心工作，而這樣的肌肉工作方式與跳深動作是類似的，並且在負荷的程度上也較跳深低，或許在輕度負荷的訓練上，能有不錯的效益，期待未來的研究者能有更為深入的探討。

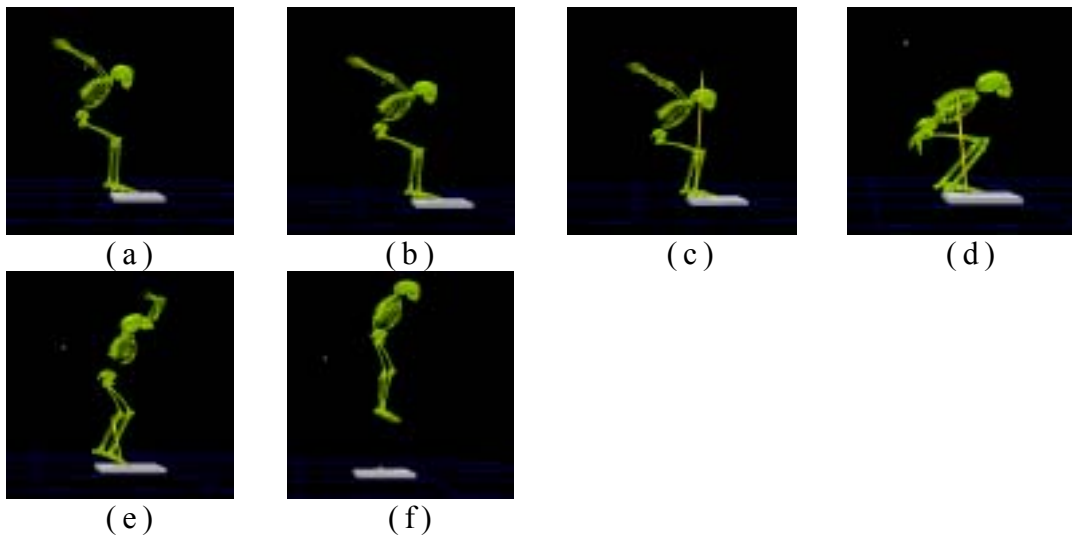


圖 14：1 m 急停垂直跳動作過程，黃色箭頭為地面反作用力大小以及方向。

註：a 為著地瞬間、b 為下蹲階段膝關節屈曲速度最快、c 為著地碰撞瞬間地面反作用力最大、d 為下蹲重心最低、e 為離地前重心速度最快、f 重心最高。

## 第五章 結論與建議

本研究以運動生物力學方法，探討急停跳躍動作對於垂直跳表現的影響，以不同距離的實驗設計，了解下肢關節的運動學與動力學參數的改變，試著解釋改變跳躍動作的控制因子。以下根據實驗的結果與討論，總結研究的發現；並且對於本研究課題的後續研究與發展提供可行的建議。

### 第一節 結論

本研究為了瞭解實際球類運動場上，常見的急停跳躍動作，通過距離的急停垂直跳動作，進行下肢髖關節、膝關節與踝關節，運動學與動力學參數比較，經統計分析後的結果發現，垂直跳表現並未因急停動作而提昇。可能是因為實驗參與者對於動作的不熟悉，或是被要求在定的範圍內進行垂直跳工作，在工作（三種跳躍方式）與環境（實驗室的情境）所造成的限制。

從另一角度來看，影響表現的因素並非完全來自於不同距離的操弄，急停跳的速度對於垂直跳表現並無幫助，事實上，手球運動射門動作要求的最終目標是得分，並非跳高，相較之下，射門動作在意的是，利用有限的空間範圍快速的起跳，並盡可能的縮短與球門距離進行攻擊，因此手球的跳躍射門動作較注重向前的飛行距離，而非高度，因此提高表現的機制仍有待進一步深入探討。

純粹以運動生物力學的觀點分析，進行急停垂直跳動作時，下肢髖、膝與踝關節屈曲角度較小，著地瞬間的速度較

快，而在離地前蹬伸階段，髖關節與膝關節力矩較高，通過這些參數改變的分析，急停垂直跳動作對於垂直跳表現有影響，並未造成極大的表現改變，也就是說飛入的動作產生較大下肢關節力矩，然而力矩的來源可能是在穩定下肢後續的跳躍工作，因此跳躍表現可能因下蹲階段較大的力量抵消，導致下肢關節力量對後續的跳躍表現無法產生提升的效應。

## 第二節 建議

本研究以 VICON 3D 影像分析系統與 Kistler 測力板同步收集個體三種垂直跳動作參數資料，以 Nexus 軟體計算下肢各項參數運動學與動力學資料。

本研究探討急停跳躍的方式是否影響垂直跳表現，由於實驗參與者對於本研究的工作要求較無經驗，因此可能造成跳躍表現沒有差異產生，其次，急停垂直跳動作對於跳躍動作的表現實際運用效益為何？需要進一步了解，提昇重心高度與提昇表現是否有相關？再者，本研究結果既然沒有提昇垂直跳表現，為何運動場上仍可以看到相似的動作表現？運動員選擇進行這樣的動作表現原因為何？就訓練工作上，急停跳躍也是一種增強式訓練的方法，強度較負重方式或跳深方式輕，這樣的工作對於訓練，是否能有不同以往的應用？以及本研究並未設定目標物讓參與者能盡力的完成動作，僅對於實驗參與者做口頭上的鼓勵。因此，建議後續研究可增加目標物，以利參與者能有更好的發揮。以上的問題，都是可以建立在本研究基礎上，作為未來深入探討的方向。

## 引用文獻

### 一、中文部份

- 石罕池、顏克典和相子元（2006）。不同運動項目選手下肢動力特性之探討。大專體育學刊，1(8)，165-173。
- 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。於許樹淵編，運動力學（pp. 69-78）。臺北市：中華民國體育學會。
- 劉宇、江界山和陳重佑（1996）。肌力與肌力診斷的生物力學基礎。臺灣師大體育學報，2，151-179。
- 蔡豐任（2007）。優秀女子排球選手下肢負重增強式動作的神經力學分析。未出版博士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。

## 二、英文部分

Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91, 385-392.

Aura, O., & Komi, P. V. (1986). Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 137-143.

Bobbert, M. F., Gerriten, K. G. M., Litjens, M. C. A., & Soest, A. J. V. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 28(11), 1402-1412.

Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987a). Drop jumping. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 332-338.

Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987b). Drop jumping. II. The influence of dropping

- height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 339-346.
- Bosco, C., Ito, A., Komi, P. V., Luhtanen, P., Rahkila, P., & Rusko, H. V. (1982). Neuromuscular function and mechanical efficiency of the human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 543-550.
- Bosco, C., Komi, P. V., & Ito, A. (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-565.
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V., & Luhtanen, P. (1982). Combined effects of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-565.
- Brown, M. E., Mayhew, J. L., & Boleach, L. W. (1986). Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 26(1), 1-4.

- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, *1*, 21-32.
- Cavagna, G. A., Saibene, F. P., & Margaria, R. (1965). Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *Journal of the Physiological Society of Japan*, *4*, 21.
- 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.
- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2006). The influence of squat depth on maximal vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, *25*(2), 193-200.
- Finni, T., Ikegawa, S., & Komi, P. V. (2001). Concentric force enhancement during human movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, *173*, 369-377.

- Gollhofer, A., Komi, P. V., Miyashita, M., & Aura, O. (1987). Fatigue during stretch-shortening cycle exercises: changes in mechanical performance of human skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 71-78.
- Gollhofer, A., Strojnik, V., Rapp, W., & Schweizer, L. (1992). Behavior of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64, 283-291.
- Gregor, R. J., Roy, R. R., Whiting, W. C., Hodgson, J. A., & Edgerton, V. R. (1988). Force-velocity potentiation in cat soleus muscle during treadmill locomotion. *Journal of Biomechanics*, 21, 721-732.
- 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 effect of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 22(6), 825-833.

- Horita, T., Komi, P. V., Härmäläinen, I., & Avela, J. (2003). Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. *European Journal Applied Physiology*, 88(6), 527-534.
- Kirk, R. E. (1995). *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences* (3rd ed.). New York: Brooks/Cole.
- Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Review*, 12, 81-121.
- Komi, P. V. (1992). Stretch-shortening cycle. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 169-179). Oxford: Blackwell Scientific.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978a). Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. In E. Asmussen (Ed.), *Biomechanics VI-A*, 79-86.

- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978b). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, *10*, 261-265.
- Komi, P. V., & Gollhofer, A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, *13*, 451-460.
- Komi, P. V., Fukashiro, M. S., & Ja Èrvinen, M. (1992). Biomechanical loading of Achilles tendon during normal locomotion. *Clinical Journal of Sport Medicine* *11*, 521-531.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *41*(1), 159-164.
- Norman, R. W., & Komi, P. V. (1979). Electromyographic delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiologica Scandinavica*, *106*, 241-248.
- Nuzzo, J., McBride, J., Cormie, P., & McCaulley, G. (2008).

- Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 699-707.
- 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.
- Ruan, M., & Li, L. (2008). Influence of a horizontal approach on the mechanical output during drop jumps. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77, 1-9.
- Ruan, M., & Li, L. (2009). Approach run increases preactivation and eccentric phases muscle activity during drop jumps from different drop heights. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(5), 932-938.
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 381-395). Oxford: Blackwell Scientific.
- van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied*

*Biomechanics*, 13, 389-415.

Walshe, A. D., Wilson, G. J., & Ettema, G. J. (1998).  
Stretch-shorten cycle compared with isometric preload:  
Contributions to enhanced muscular performance.  
*Journal of Applied Physiology*, 84, 97-106.

附錄一

實驗參加同意書

首先非常感謝你志願參與本次的實驗研究，所填寫之相關資料僅提供學術研究時使用及參考，絕對保密並不作其他用途，本次所要研究的主题是「急停跳對垂直跳表現的影響」，為使實驗進行順利並求得正確的實驗結果，請配合以下說明事項：

1. 施測日期：100年1月5日
2. 集合時間：早上8點30分
3. 集合地點：國立臺灣體育學院體操館
4. 因實驗所需，每位實驗參與者當天穿著貼身束褲。

而為瞭解你的健康狀況，煩請填寫運動安全問卷：

1. 是 否 你時常到保健中心接受治療嗎？
2. 是 否 你的腿部曾經扭傷過而目前造成不便嗎？
3. 是 否 你的其他身體部位曾經動過手術和受過嚴重外傷嗎？
4. 是 否 有上述未提到而不能參加運動的原因嗎？

～感謝您的真誠協助和參與～

國立臺灣體育學院體育研究所

指導教授 陳重佑 博士

研究生 戴偉勳