

國立臺灣體育大學（臺中）
National Taiwan Sport University
體育研究所碩士學位論文

兒童擺臂與牽張－縮短循環
在垂直跳的年齡效應及性別差異
AGE AND GENDER DIFFERENCE
IN VERTICAL JUMP AS FUNCTION OF ARM
SWING AND STRETCH SHORTENING CYCLE
FOR CHILDREN



研 究 生：林義傑 撰
指 導 教 授：陳重佑 博士

中 華 民 國 98 年 6 月

論文名稱：兒童擺臂與牽張－縮短循環在垂直跳的年齡效應
及性別差異

總頁數：63 頁

院校組別：國立臺灣體育大學體育研究所

畢業時間及提要：九十七學年度第二學期碩士學位論文提要

研究生：林義傑

指導教授：陳重佑博士

中文摘要

本研究根據「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗垂直跳動作曲線的改變，探討不同年齡及性別的兒童表現有無擺臂及有無 SSC 行為的垂直跳動作之運動學特徵比較。實驗分別以 7、9、11 歲之男童與女童各 20 名為實驗參加者，通過 Kistler 測力板 (model 9287BA, 1200Hz) 收集實驗參加者執行叉腰蹲踞跳、叉腰垂直跳及擺臂垂直跳的地面反作用力曲線，並以 BioWare 3.26 版分析軟體進行生物力學參數的計算。統計方法採用 3 (年齡) × 2 (性別) 獨立樣本二因子變異數分析，並以 Duncan 法進行事後比較。研究結果顯示，三種垂直跳躍形式都有年齡及性別上的差異 ($p < .05$)，其中叉腰垂直跳表現的年齡差異是由於延長正衝量產生力量的作用力時間 ($p < .05$)，致使正衝量隨之增大 ($p < .05$)；而擺臂垂直跳的年齡和性別差異，主要是由於不同年齡及性別兒童擺臂的效益有差異，使正衝量會隨著年齡的增加而變大且男童大於女童 ($p < .05$)。由 SSC 高度提升率和擺臂提升率發現，7 歲兒童已經能有效使用 SSC 效益，而 9 歲兒童能有效使用擺臂效益，此外，本研究結果說明各年齡的 SSC 效益與擺臂效益並無性別差異之存在。

關鍵詞：年齡差異、性別差異、SSC、擺臂

Li, Yi Chieh (2009). Age and Gender Difference in Vertical Jump as Function of Arm Swing and Stretch Shortening Cycle for Children.

Unpublished master thesis, National Taiwan Sport University, Taichung.

ABSTRACT

Motor development researchers always regard the proper use of limb swing or proper use of countermovement as the critical indexes for motor skill in child transition to the mature stage. The peak height during a vertical jump is actually enhanced through the effect of vigorous arm swing and the effect of stretch shortening cycle (SSC) that counterbalances the lower extremities. The purpose of this study was to investigate the gender difference of the effect of arm swing and SSC in middle/late childhood. Ten boys and ten girls were recruited as the participants and were asked to perform squat jump (SJ), countermovement jump (CMJ) without arm swing, and countermovement jump with arm swing. A Kistler force platform system (type: 9287BA, 1000Hz) was used to acquire and to assess the performance of vertical jump. The results showed takeoff velocity in boys (SJ: 2.23 ± 0.21 m/s; CMJ-arms swing: 2.41 ± 0.22 m/s; CMJ-no arms: 2.31 ± 0.22 m/s) was higher than girls (SJ: 2.02 ± 0.13 m/s; CMJ-arms swing: 2.17 ± 0.14 m/s; CMJ-no arms: 2.12 ± 0.15 m/s) significantly ($p < .05$). The peak ground reaction force showed there were no gender difference in conditions of SJ, CMJ-no arms, and CMJ-arms swing ($p > .05$). The lengthening force applied time was the main factor to increase jumping height for three kinds of jump ($p < .05$). This study calculated the enhanced rates of arm swing effect and SSC effect, and found there were no statistical differences between boys (SSC: 6.7 ± 9.1 %; Arm swing: 10.0 ± 9.4 %) and girls (SSC: 10.1 ± 8.8 %; Arm swing: 5.4 ± 7.9 %) ($p > .05$). But the variability of enhanced rates within every gender group for SSC effect and arm swing effect were considerably large.

Keywords: age difference, gender difference, stretch shortening cycle, arm swing

謝誌

「人是一根繫在動物和超人之間的繩子。也就是深淵上方的繩索。走過去危險，停在中途也危險，顫抖也危險，停住也危險。」我的研究所之路走的亦是如此，因而陷入迷惘、困頓、慌張、害怕甚至於出現逃避的想法，感謝恩師陳重佑博士在我人生低潮時，即時拋出救命繩索，把一腳踩空將要跌入深淵的我，拉回現實的彼岸上，耐心一步步引領著我完成論文的寫作，並開拓我對舞龍舞獅運動的視野，拿到國際裁判證照。在重佑老師的身上，我看到一份追求學術執著的態度，每每凌晨時分看到研究室的燈還亮著，心有所愧四個字便油然而生，這種對學術無比熱忱的心，是值得我輩效法與學習的榜樣。亦要感謝許太彥老師及林靜兒老師對我的指導與教誨，讓我更加成長、茁壯。

最要感謝我的母親，從小幼我、撫我育我、哺我養我、輔我示我、鳴我濡我、教我孺我，含辛茹苦、無怨無悔的拉拔三個孩子，如今已近耳順之年，尚無法享受退休生活，仍要搬冰箱、洗衣機等重物，讓我無經濟上的擔憂。萬字難訴一點恩，點滴難報，湧泉何擔。另外，還要感謝柏毅學長和俊一，一起在五樓研究室奮鬥、互相勉勵與鼓勵的那段日子，亦要感謝郁婷對我的支援與協助。最後要感謝我的女友，因為你的支持、寬容、忍耐，讓我在課業和家庭上都能有良好的維繫。在此，將得來不易的成果誠摯的與妳分享。

林義傑 謹誌

中華民國 98 年 8 月

目錄

摘要	I
謝誌	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第壹章、緒論	1
第一節、問題背景	1
第二節、研究目的與假設	6
第三節、名詞解釋與操作性定義	6
第四節、研究範圍與限制	8
第五節、研究的重要性	9
第貳章、文獻探討	10
第一節、垂直跳動作牽張－縮短循環相關研究	10
第二節、垂直跳動作擺臂相關研究	12
第三節、兒童垂直跳的動作發展	16
第四節、本章總結	21
第參章、研究方法與步驟	22
第一節、實驗參加者	22
第二節、實驗儀器與設備	23

第三節、實驗設計	24
第四節、實驗流程與步驟	25
第五節、資料收集與處理方法	26
第六節、統計分析	28
第四章、結果與討論	29
第一節、叉腰蹲踞跳動力學特徵之差異	29
第二節、叉腰垂直跳動力學特徵之差異	32
第三節、擺臂垂直跳動力學特徵之差異	37
第四節、擺臂提升率與 SSC 提升率之差異	42
第五節、綜合討論	44
第五章、結論與建議	52
第一節、結論	52
第二節、建議	53
引用文獻	54
一 中文部分	54
二 外文部分	55
附錄一：垂直跳動作各參數之統計結果	60
附錄二：參加研究家長（監護人）同意書	63

表目錄

表 1：實驗參加者基本資料	22
表 2：各年齡與性別又腰蹲踞跳各項參數 平均值與標準差摘要表	30
表 3：又腰蹲踞跳騰空高度單純主要效果變異數分析 摘要表	30
表 4：各年齡與性別又腰垂直跳各項參數 平均值與標準差摘要表	33
表 5：又腰垂直跳正衝量單純主要效果變異數分析摘要 表	35
表 6：各年齡與性別擺臂垂直跳之各項參數	38
表 7：擺臂垂直跳騰空高度單純主要效果變異數分析 摘要表	38
表 8：各年齡與性別的擺臂提升率及 SSC 提升率 平均值與標準差摘要表	43
表 9：又腰蹲踞跳各參數二因子變異數摘要表	60
表 10：又腰垂直跳各參數二因子變異數摘要表	61
表 11：擺臂垂直跳各參數二因子變異數摘要表	62

圖目錄

圖 1：地面反作用力量的實驗儀器	23
圖 2：垂直跳動作形式	24
圖 3：實驗步驟流程圖	25
圖 4：原地垂直跳之生物力學曲線特徵	27

第壹章 緒論

第一節 問題背景

垂直跳是跳躍動作型態的一種，其動作發生往往伴隨著手臂的共同作用，成熟的手臂擺動可以提升跳躍動作表現，而跳躍亦經常是競技運動中不可或缺的動作元素，舉凡田徑、球類、體操、國術等運動競賽項目，皆有跳躍的動作形態涉及其中，可見跳躍是影響動作表現的關鍵要素，因此，運動訓練者及教學者必須具有跳躍動作發展的相關知識，才能在實際的運用上更加的落實。

人一生動作的發展涵蓋了成長和成熟兩方面，成長是隨著年齡的增加而有量的改變，如身高變高、體重變重；成熟是隨著年齡的增加而有質的改變，如技能、認知（Payne & Isaacs, 2002）。個體從出生後動作的發展可區分四個動作階段：反射動作期（reflexive）、初始動作期（rudimentary）、基本動作期（fundamental）以及特殊化動作期（specialized）（Gallahue & Ozmun, 2006）。一個人在成長過程中經歷了嬰幼兒期的反射動作階段與初始動作階段接踵而來的就是兒童期基本動作階段的養成，兒童經由大肌肉的身體活動和環境互相作用而發展基本性的動作技巧（如跑、跳、投擲…等動作），當一般的基本性動作技能熟練後，就能出現更流暢的技能表現，進而發展成特殊化動作技能。因此基礎性的動作是奠定特殊化動作的根基，亦是構成特殊化動作的必要條件，Gallahue（1996）亦指出成熟的基本動作如根基不穩定，

將會影響到特殊化動作的發展。中晚期兒童是熱愛身體活動的時期，追逐跑跳在遊戲活動中常出現的動作形式，是探索身體基本能力的階段，從生活化的遊戲中體會動作控制的技巧進而完成動作的表現，因此運動教學者無不強調基本動作的重要性，對於活動的設計應以基本動作技能的概念為主軸，以便更能迅速進入特殊化動作期。

以 Gallahue 對動作分類所提出的二維模式 (Gallahue's two-dimensional model) 概念，基礎性動作又可分為穩定性 (stability)、移動性 (locomotion) 及操作性 (manipulation) 技巧 (Gallahue & Ozmun, 2006)。穩定性強調個體在靜態和動態動作姿勢的控制 (例如走平衡木); 移動性強調個體點對點的轉移 (例如走路、跳躍); 而操作性則強調從一個物體接受力量或給予力量，例如揮拍、投擲球。移動性能力是兒童發展歷程的階段性指標，特別是有效率的移動性能力將代表兒童具有探索新奇外界環境的工作效率 (Gallahue & Ozmun, 2006; Thelen & Smith, 1994)。基本移動性技巧如走、跑、跳在日常生活中經常被使用，若就觀察其各項表現，基本移動性動作會以不同型態呈現。基本移動性動作可分為走 (walking)、跑 (running)、跳躍 (jumping)、大躍步 (leaping)、單足跳 (hopping)、垂直跳 (vertical jumping)、水平跳遠 (horizontal jumping)、墊步或疾馳步 (galloping)、滑步 (sliding)、踏跳步 (skipping) 等。其中，垂直跳的動作形式所牽涉到的技巧性勝於走與跑，身體肢段間需要更高度的協調和控制，就細部的動作形式進行觀察，垂直跳動作的成熟過程通常伴隨著上肢的擺動與肢體的反向動作，因此這兩大因素成為動作發展研究者在研究兒童垂直跳能力是否

已臻成熟的關鍵性指標 (Gallahue & Ozmun, 2006)。

成熟的垂直跳動作會增加跳躍的高度，其中擺臂效益和牽張-縮短循環 (stretch-shortening cycle, SSC) 效益扮演很重要的角色，擺臂動作會增加跳躍的表現主要是由於手臂的擺動促使離地速度提升而產生的效應 (Harman, Rosenstein, Frykman, & Rosenstein, 1990; Luhtanen & Komi, 1979; Shetty & Etnyre, 1989)，根據 Feltner、Fraschetti 和 Crisp (1999) 的研究指出擺臂效益會增加作用力時間，促進衝量進而提升動作的速度；而 SSC 效益會產生最佳化肌肉骨骼系統的協調，使得動作在向心收縮前會有較高水準的力量，而對肌肉預先牽張提升跳躍的高度 (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Soest, 1996)。雖然以往的研究已經累積了許多擺臂效益與 SSC 效益可以增加跳躍表現的知識，但這些結果都是針對已經發展成熟的垂直跳動作所做的研究，因此為了了解垂直跳動作的發展歷程，必須藉由不同年齡層表現垂直跳動作的差異作探討。

Bernstein (1967) 的系統模式 (systems model)，認為動作的產生並非只由周邊神經系統或中樞神經系統發展而獲得，而是由許多系統彼此之間的交互作用所導致的結果，因此認為協調的能力是個體為了解決自由度 (degrees of freedom) 的問題所發展出來的能力，自由度所形成的協調結構，可使人體所表現出的動作以簡化的控制作聯結，在出現新的協調前會先凍結部分的自由度，使之得以容易控制，當協調經過重整之後，就會釋放先前所凍結的部分自由度，這樣的結果能使動作的精熟度更加提升。而動態系統理論 (dynamical systems theory) 的論點，則更進一步表達出這

種非線性的觀念，即動作行為的改變是不連續、非線性的歷程，即使是在某些次系統連續性的改變下，動作常以突現（emerging）的階段方式發展，動作的發展並非隨著年齡的增加呈線性的成熟，而是在不同的年齡呈現階段性的發展。動態系統的觀點在強調動作的發展是由環境（environment）、工作（task）及個體（individual）三個次系統（sub-systems）交互作用所產生。但由於個體本身的因素或受到外界的干擾，動作會有不穩定的狀態出現，通常這個階段被稱為動作轉變（transition）的關鍵期，此時個體經由自我組織（self-organization）去形成另一個動作型態，經過這個階段的發展後，動作狀態就會進入另一個穩定的階段，動作的發展因而形成（Magill, 2001）。由於每個人的成長和成熟有個別差異存在，但其動作發展的情況亦會隨著年齡的增長而發展（age-related）（Gallahue & Ozmun, 2006; Haywood & Getchell, 2001; Payne & Isaacs, 2002），兒童垂直跳動作的發展雖非隨著年齡的增長而呈線性的發展，而是在不同的年齡呈現階段的發展，其垂直跳動作的成熟年齡大致落在中晚期兒童的年齡階段（Gallahue & Ozmun, 2006），因此將兒童垂直跳動作的發展歷程再配合動態系統理論的觀點，就更能清楚瞭解兒童垂直跳躍動作的成熟變化。

關於垂直跳動作發展的研究，Bosco 和 Komi（1980）針對 4-73 歲的實驗參與者進行叉腰蹲踞跳（SJ）與叉腰垂直跳（CMJ）的比較，探討垂直跳躍動作中 SSC 發展歷程的年齡效應，研究指出 SSC 的工作隨著年齡的增加提升動作的表現持續至 20-30 歲，這種機制會在 20-30 歲之後逐漸減弱，而兒童 CMJ 較 SJ 動作相對提升 20% 的表現，成人僅增加 15%

的表現結果，指出兒童比成人有較大應用 SSC 機制的相對能力。而 Harrison 和 Gaffney (2001) 也針對 22 名 23 歲成人與 20 名 6 歲兒童進行 CMJ-SJ 離地速度比值的探討，結果顯示雖然兒童的 CMJ 表現均較 SJ 優異，這說明了 6 歲兒童已經可以有效利用 SSC 機制，但其動作的變異性相當大，這主要是兒童 SJ 動作變異較大的緣故，使得研究在計算 CMJ-SJ 離地速度比值產生較大的變異。

結合上述的論點得知，具有反向動作的 SSC 機制與上肢擺動的效益影響了許多的動作表現，但是仍缺乏關於動作發展的相關研究，而傳統的動作發展研究對於動作表現的分析，也僅止於外在行為表現的身體各部位進行比較，如觀察擺臂動作是否有完成，下肢彎曲的角度，動作表現看起來是否平衡等較為質化的分析 (Gallahue & Ozmun, 2006)。而 Harrison 和 Gaffney 的年齡差異研究又僅是根據完成跳躍動作時測得離地速度此單一結果進行量化分析，對於動作過程分析就沒有更進一步的探討，因此以更多運動學參數的量化分析了解不同年齡兒童垂直跳躍的過程表現，是本研究亟欲探討的目的。另外，Gallahue 和 Ozmun (2006) 從兒童的生理情況和動作發展的觀點來看，青春期前兒童會隨著年齡的增加，其量方面如身高、體重會穩定的成長，但卻不至於產生性別上的差異；而 Israel (1992) 提到青春期前男童和女童雖然沒有性別差異，但受社會因素的影響，使得男女童在肩部和上肢的力量還是會有性別差異存在。因此，探討青春期的中晚期兒童在垂直跳動作表現是否有性別差異，亦是值得探討的議題。

透過劉宇 (1998)「獲取運動速度的最大衝量原理」(the

principle of maximum impulse to achieve movement velocity) 指出增加力量-時間曲線面積的方法，可以用更多的運動學參數檢驗兒童垂直跳動作過程的表現。因此本研究的目的以「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗垂直跳動作曲線的改變，探討不同年齡及性別的兒童表現有無擺臂垂直跳動作與有無反向動作 SSC 行為的年齡與性別差異。

第二節 研究目的

本研究的主要目的即是透過「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗垂直跳動作曲線的改變，探討不同年齡及性別的兒童，在表現有無擺臂垂直跳動作與有無反向動作 SSC 行為的年齡和性別差異，以便更加了解中晚期兒童在垂直跳動作的發展過程。

第三節 名詞解釋與操作性定義

一、垂直跳

垂直跳是指以單腳或雙腳起跳以求較高的高度，並且以雙腳落地的過程 (Gallahue & Ozmun, 2006)。本實驗採用擺臂垂直跳 (the countermovement jump with arm swing)、叉腰垂直跳 (the countermovement jump with akimbo) 以及叉腰蹲踞跳 (the squat jump with akimbo) 3 種垂直跳方式，比較有無擺臂以及有無下肢反向動作的垂直跳表現。

二、中晚期兒童

Gallahue 和 Ozmun (2006) 將年齡接近 6 至 10 歲範圍的年齡層，依年齡順序歸類成中晚期兒童 (middle/late childhood)。本研究以年齡約 7、9、11 歲之國小一、三、五年級男女童為實驗參加者，此年齡層處於基本動作期的成熟階段，具有較為穩定的基礎性動作形態 (如走跑跳等)。

三、牽張-縮短循環效益及擺臂效益

下肢的牽張-縮短循環及手臂的擺動能提升垂直跳動作的表現，Harrison 和 Gaffney (2001) 及 Enoka (2002) 將牽張-縮短循環所提升的高度以一公式表示，其公式為 $((\text{叉腰垂直跳高度} - \text{叉腰蹲踞跳高度}) / \text{叉腰蹲踞跳高度})$ ，而陳重佑 (2004) 則模仿此種公式用於垂直跳中擺臂產生的效果，此公式為 $((\text{擺臂垂直跳高度} - \text{叉腰垂直跳高度}) / \text{叉腰垂直跳高度})$ 。本研究也依此種公式比較 7、9、11 歲男女童垂直跳的牽張-縮短循環效益及擺臂效益，探討中晚期兒童垂直跳動作的成熟年齡大致落於哪個年齡階段，及其是否有男女的性別差異存在。

四、年齡差異 (age differences)

本研究的年齡差異是採用橫斷式 (cross-sectional) 的實驗設計，獲得不同年齡層兒童表現三種垂直跳動作的資料。橫斷式實驗設計主要能同時研究不同發展階段群體的一種或多種行為，故此方式相較於縱貫式 (longitudinal) 的優點能在短時間內獲得各年齡階段發展之資料，且實驗參加者較不易流失，但因得到的資料非來自於同組個體，因此無法用來

解釋發展上的因果關係。

五、獲取運動速度的最大衝量原理

劉宇（1998）總結了衝量-動量關係，並觀察運動員所追求的最終目標，跑得快、跳得高、投擲得遠的高競技水準，提出了「獲取運動速度的最大衝量原理」指出運動員為了達到最大的運動速度，就必須使力量作用產生最大的衝量，而增加衝量即增加力量-時間曲線的面積有三種方法：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。依此原理探討垂直跳動作的跳躍高度、總衝量、正負衝量、最大力量、最大發力率、作用力時間等運動學參數之分析。

第四節 研究範圍與限制

由於以往對於垂直跳動作發展的研究大多觀察兒童垂直跳的擺臂動作是否有完成、下肢彎曲的角度、是否看起來平衡等質化的分析，以一系列的圖片描述不同年齡或成熟動作型態的改變，其中 Gallahue 和 Ozmun 更將動作發展分類成四個階段，但很少解釋為何動作發展會有此種階段性的改變發生，因此以量化分析加以驗證動作發展的階段是值得注意的方式。為了更清楚了解中晚期兒童垂直跳動作的年齡效應及是否會產生性別的差異，本研究以 7、9、11 歲男女童的自願實驗參加者為研究範圍，表現有無擺臂及有無反向 SSC 行為的三種垂直跳動作，以了解不同年齡及性別的垂直曲線在跳躍高度、總衝量、正負衝量、最大力量、最大發力率、作

用力時間等運動學參數所產生的變化，及擺臂效益和 SSC 效益的差異。

本研究在實驗開始時除了力求情境控制外，實驗參加者在表現垂直跳過程中也加以口語的鼓勵，但由於個體在表現又腰蹲踞跳及擺臂垂直跳的動作上會有認知上的差異，因此，本研究假定每位實驗參加者皆盡全力完成每個工作任務。另外，由於本研究為橫斷式研究，因此未來在縱貫年齡效應上，應注意無法解釋年齡改變的研究限制。

第五節 研究的重要性

跳躍動作是許多競技運動不可或缺的基礎動作，亦是構成特殊化動作的必要條件，因此運動教學者或教練應對兒童課程的安排及教學上有基本動作發展的了解。本研究可以了解中晚期兒童垂直跳動作年齡及性別的差異情形，使教學者對於不同年齡兒童及性別的跳躍型態有更全面的了解，特別是在面對不同性別兒童的課程安排上有更健全的知識。透過本研究可以了解中晚期兒童垂直跳動作控制發展的影響，可供運動教學者在教學上的參考。

第貳章 文獻探討

本章將以往的相關文獻加以整理探討，分為第一節、垂直跳動作牽張－縮短循環相關研究；第二節、垂直跳動作擺臂效益相關研究；第三節、兒童垂直跳的動作發展；第四節、本章總結。

第一節 垂直跳動作牽張－縮短循環相關研究

運動過程中為了增加運動的表現，個體肢段間常常會出現反向動作（countermovement）的現象，所謂反向動作意即運動與目標呈現相反的動作方向，例如棒球的投手投出球前手臂會先向後拉。這種使肌肉主要的工作肌群產生離心工作之過程稱為牽張－縮短循環（stretch-shortening cycle, SSC），為了了解 SSC 如何能增進動作表現，因此有學者提出了機制來解釋說明此種現象的原因，如 Cavagna、Dusman 和 Margaria（1968）指出肌肉在牽張的階段能提供更多的力量給予隨之而來的縮短階段，因此能增加動作的表現，而 Asmussen 和 Bonde-Petersen（1974）以肌腱構造的彈性能儲存和再利用（elastic energy storage and return）來解釋 SSC，但 Gregoire、Veeger、Huijing 和 van Ingen Schenau（1984）提出另一種說法認為肌肉的預先牽張（pre-stretch）在向心收縮開始會提高肌肉的增益現象（muscle potentiation）。爰此，總結上述的三種可能 1. 能量的儲存與再利用；2. 增加力量速度的關係；3. 肌肉的預先拉緊。說明了為何反向動作可以提

升動作表現的原因 (Zajac, 1993)。就垂直跳而言，身體在往上跳前會先下蹲來增加肌肉的力量，使肌肉活化，於身體向上推進時增加向上加速度，進而增進跳躍的表現。

Bobbert、Gerritsen、Litjens 和 Soest (1996) 則有更深一層的解釋，為了比較具有 SSC 工作的原地垂直跳 (counter-movement jump, CMJ) 動作表現優於僅是肌肉簡單產生向心收縮工作的蹲踞跳 (squat-movement jump, SJ)，以六名排球運動員為實驗參加者作下肢 EMG 和運動學的檢測，結果顯示 CMJ 的跳躍高度平均比 SJ 的跳躍高度高 3.4 公分，為了解釋此種現象而提出了五種 CMJ 跳躍高度高於 SJ 的原因：1. CMJ 比 SJ 擁有較佳的協調情境完成垂直跳，因為理想的控制會近似於協調，而 SJ 此類型的跳躍方式不能正確的被控制，因此 SJ 的協調性沒有 CMJ 好；2. CMJ 在向心收縮前的離心收縮會刺激肌肉達到最大的主動狀態，由於肌肉收縮達到最大刺激狀態時需要一點時間，CMJ 在做向心收縮之前的反向動作剛好提供了肌肉達到最大刺激狀態所需的時間；3. CMJ 會使肌肉預先伸長和吸收能量而暫時性的儲存彈性能；4. CMJ 預先對肌肉的牽張具有較高的刺激水準，因此在作向心收縮時也就是向上推蹬時會產生較大的力量跟功；5. CMJ 對肌肉的預先牽張會改變肌肉收縮的機制結構，使肌肉纖維作強直收縮而產生增益現象，說明了 CMJ 所產生的功總是比 SJ 高的原因。因此 Bobbert 等人認為 CMJ 的離地高度高過 SJ，最主要的原因在於肌肉在下蹲過程中拉長了下肢的伸肌而產生預先牽張的作用，使得伸肌達到較高程度的收縮狀態。

反向動作增進動作的表現由以上的論述可以得到支持，

那是否意味著垂直跳的反向動作下蹲的深度愈低跳躍的動作表現就會愈好呢？為了探究下蹲深度是否會影響跳躍表現，Domire 和 Challis (2007) 以 10 名平均年齡 24 歲的男性為實驗參加者，要求其從下蹲最適深度與 3/2 最適深度兩種下蹲深度，作為蹲踞跳的起跳位置以完成最好的跳躍表現，結果顯示這兩種深度表現出來的跳躍高度並沒有差異存在，但由測力板顯示的地面反作用力發現，深蹲時的地面反作用力有顯著差異存在，表示實驗參與者在深蹲時的肌肉協調並不理想，這說明了實驗參與者很少做深蹲起跳的動作導致此種情形發生，如果能讓運動員熟悉此種深度的跳躍方式，或許可以增進跳躍的表現。

從以上反向動作的研究可以發現，反向動作所延長的這段時間是非常重要的關鍵要素，其最終目的能使離地時的速度增加，使動作能達到最好的表現，SSC 機制已經被研究很多年了，但是反向動作能增進動作表現的原因仍然不能夠完全被釐清 (Van Ingen Schenau, Bobbert, & Haan, 1997)。

第二節 垂直跳動作擺臂效益相關研究

人體在日常活動中若仔細觀察動作方式，常常會發現有其他肢體共同參與的作用，例如走路時能移動的肢體主要是雙腳，但是為了平衡身體的姿勢，手亦會參與走路的活動中，而且上肢擺動的運動方向通常跟下肢運動的方向相反，此種現象在劇烈的運動中更為明顯，運動員為了跨越 70 公分以上的高欄時，除了抬高下肢的跨步動作外，對側的上肢擺動亦

會大幅度的增加，生物力學研究者通常以角動量守恆（conservation of angular momentum）的觀點來解釋這種動作形式（Hay, 1993; Hall, 2003）。肢體除了產生平衡效果外，就不同的運動項目亦有不同的功能，如跳水和溜冰的運動項目中，選手利用手臂的擺動來帶動身體增加角動量，使翻轉的角速度增快，以便完成更高難度的動作。

手臂的擺動除了上述的效應之外，亦常常運用於跳躍動作上，運動員為了能跳的更高、更遠，會配合手臂的擺動來完成跳躍動作，許多生物力學研究者指出手臂的擺動可以增加跳躍的表現，若以生物力學的角度觀之，跳躍的高度要愈高，人體的離地速度就要愈快，因此跳躍時擺臂所提升的跳躍高度是由於增加離地速度所致，Feltner、Frascetti 和 Crisp（1999）指出手臂擺動時提升的動作表現，其中有 60% 是由於手臂的擺動促使離地速度提升而產生的效應；有幾篇研究顯示手臂的擺動會提升 6-10% 以上的離地速度（Harman, Rosenstein, Frykman, & Rosenstein, 1990; Luhtanen & Komi, 1978; Shetty & Etnyre, 1989）。然而，為了清楚知道擺臂是如何提升離地速度，Payne、Slater 和 Telford（1968）以力量傳遞假說（force transmission hypothesis）說明手臂在向上加速時，會產生一股向下穿過身體的力量，以增加地面反作用力，進而提升身體重心離地速度的動能。而 Dapena（1999）更以簡化的力量傳遞假說，通過 Alexander 的人體模型驗證手臂擺臂速度跟垂直跳離地速度的關係，認為擺臂動作除了有力量傳遞的功能增加離地速度外，擺臂也會減少腕關節伸肌向心工作的速度而加大了向下的地面反作用力。而 Feltner 等人（1999）則以關節力矩增加（joint torque

augmentation) 假說來解釋，認為擺臂動作在跳躍的推進階段會增加髖膝關節的力矩，使得髖膝關節的伸肌處於較佳的位置，以利於運用地面反作用力，進而增加額外的向下力量，提升離地的速度以促進跳躍的表現。

由以上的研究得知，擺臂的結果造成一連串的機制使得身體能加以運用地面反作用力，促進離地速度的增加而提升跳躍的表現，Lees、Vanrenterghcm 和 Clercq (2004) 以 20 名成年男性完成擺臂垂直跳跟沒有擺臂的垂直跳，結果顯示有擺臂的垂直跳比沒有擺臂垂直跳高了 8.6 公分，這是因為擺臂比沒有擺臂離地時的重心高度增加了 28%、離地速度增加了 72%，離地時所提升的重心高度是由於手臂肢段的提高所致；離地時所增加的速度是起源一系列複雜的能量轉移機制，擺臂動作能增加離地時運動的動量 (kinetic energy) 和位量 (potential energy)，在髖、膝、踝關節肌肉的儲存和再利用使肩膀產生一股把軀幹往上拉的力量。

就垂直跳而言，擺臂動作提升跳躍的高度代表著離地瞬間速度明顯的增加，而這離地速度的增加則源自於力量對時間曲線總面積 (意即總衝量) 的增加，也就是說擺臂的效益讓總衝量明顯的增加，因此提高了騰空的高度 (Chen, 1999)，然而，擺臂動作造成總衝量的增加是因為正衝量的增加，還是負衝量的減少呢？亦或是作用力的時間增加？曲線斜率的增加或是減少了？為了探究這些問題，劉宇 (1998) 則總結了衝量和動量的關係，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)」指出人體要達到最大的運動速度，就必須使力量作用產生最大的衝量，而增加衝量的方式亦即增加力量-時間

曲線面積的方法有三種：增加最大力量、增加作用力時間以及增加力量-時間曲線的面積。從過去探討擺臂垂直跳與沒有擺臂垂直跳的文獻上，都僅就最大力量的比較，如 Harman 等人（1990）的研究指出，擺臂垂直跳的最大地面反作用力顯著高於插腰垂直跳的最大地面反作用力，而 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而進行擺臂速度與離地速度關係的模擬。那是否表示擺臂動作使總衝量增加原因是來自於地面反作用力的增加呢？陳重佑（2004）則根據劉宇所提出的「獲取運動速度的最大衝量原理」比較擺臂與無擺臂垂直跳衝量因素的差異，結果顯示有無擺臂原地垂直跳的最大力量與最大的力量變化率均無顯著的差異，認為擺臂的作用機制是使腿後的肌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，以增進作用力時間，提升騰空的高度。

綜觀上述的文獻結果，擺臂垂直跳會影響下肢肌肉間有新的協調工作，使下肢產生最佳化的動力鏈之工作形式而增加髖關節的力矩，最後的結果就是能提升騰空的高度。然而，第一節與上述之研究都僅是針對成人研究得來的結果，對中晚期兒童而言，擺臂和牽張縮短循環的機制何時能如同成人般的運用呢？兒童垂直跳的動作是如何發展的呢？這些問題在下一節會有詳細的討論。

第三節 兒童垂直跳的動作發展

成熟理論主張發展是先生生理發展功能，是一連串動作技能的獲得。早期的神經成熟理論認為嬰幼兒動作行為的發生不需要特別的經驗，成熟觀點是動作發展傳統的觀念，重視神經成熟程度，認為神經成熟至哪部分，動作就會隨之發展至該階段，而中樞神經的成熟是影響動作發展的主要因素，強調動作的發展有其階段性與順序性，並隨著年齡的增加呈線性的發展。

Bernstein 在 1967 年提出自由度的觀念及周邊不確定性，認為自由度所形成的協調結構，可使人體所表現出的動作以簡化的控制作聯結，自由度可以由個體、環境和環境之間的互相作用而影響動作行為 (Newell, 1986)。因成熟觀點無法清楚解釋動作發展的現象與原因，所以自 Bernstein 提出凍結自由度、釋放自由度及利用反作用力後，這三種概念模式逐漸被接受，因此動作發展的思維逐漸偏向動態系統的理論模式。動態系統的觀點認為動作的出現會受到某些關鍵因素的影響，從限制觀點 (Newell, 1986) 來看，這些因素分別為個體、環境與工作三個面向的次系統 (sub-systems)，中樞神經只是個體次系統中的一個要素，而當這三個次系統在互相的交互作用下，就會產生特定的動作型態。這三種次系統存在著速率限制 (rate-limiting) 的問題，新動作會因為某些限制而無法出現，必須等速率限制中最慢的因素成熟後，才會出現新的動作型態 (Haywood & Getchell, 2001)。此外隨著因素的改變，個體會透過自我組織 (self-organization) 的能力，將會產生特定的動作型態，而

這種自我組織能力，猶如結構完整的白蟻窩，不需要有一個個體擁有完整宏觀的藍圖才能辦到，而是該群體裡面的每一個個體按照一簡單且彼此能夠互動的規則就可以產生。動態系統主要在解釋動作者如何由不穩定狀態動作系統下轉變成另一個穩定的狀況。由於動作本身會受到吸引子（attractor）的影響，使動作趨於穩定階段，吸引子如同漩渦中心點的位置，把水流吸引過去，而這種情況會形成一種穩定的狀態，但由於個體本身的因素或受到外界的干擾，動作會有不穩定的狀態出現，通常這個階段被稱為動作轉變（transition）的關鍵期，經過這個階段的發展後，動作狀態就會進入另一個穩定的階段（Magill, 2001）。而動作行為的改變是不連續、非線性的歷程，即使是在某些次系統連續性的改變下，動作常以突現（emerging）的階段方式發展，如人在行走的狀態有走路、小跑步與快跑等狀態，只要隨著跑步機速度的增加，就能使得行走的動作型態發生改變，由走路轉變成小跑步動作型態，或由小跑步的動作型態轉變成快跑的動作型態，只要越過臨界的閾值，動作形式就會以突現的方式全然改變而進入另一個穩定的階段。因此動作的發展並非隨著年齡的增加呈線性的成熟，而是在不同的年齡呈現階段性的發展。

Gallahue 和 Ozmun（2006）根據動態系統的觀點，將個體從出生後動作的發展區分為四個動作階段：反射動作期（reflexive）、初始動作期（rudimentary）、基本動作期（fundamental）以及特殊化動作期（specialized），依其功能性而言基本動作期又可分為穩定性（stability）、移動性（locomotion）及操作性（manipulation）三種技巧。垂直跳躍是屬於基本動作期的移動性動作技能，是以單腳或雙腳起

跳來達到所要求的高度，並且要雙腳同時落地，涉及到的技巧性勝於走與跑，身體肢段間需要更高度的協調和控制，因此，許多研究者透過整體手段（total body approach）或因素手段（component approach）來觀察兒童垂直跳躍的動作。整體手段進行研究的方式其優點較容易看出所有肢段間的動作配合與協調關係，但無法看出各肢段動作成熟的情形；而因素手段雖能看出各個肢段的成熟與否，但卻無法觀察整體動作的一致性與協調性。Wickstrom（1983）以整體手段的方式發現早期兒童在垂直跳躍的表現上有以下幾點特徵：1. 大腿在起跳時沒有完全的伸展；2. 落地時會有單腳先接觸地面的情形；3. 沒有擺臂的動作。早期兒童為了在落地時能保護身體，因此在起跳後至落地的過程中大腿都呈現屈曲的姿勢，會產生這種跳躍動作的型態是由於垂直跳躍動作還沒完全發展成熟之故。而新穎的外界環境趨使兒童探索的本能，在探索外界新奇環境的過程中，通常會以基本動作期的移動性技能達其目的，因此移動性能力是觀察兒童動作發展歷程的階段性指標（Gallahue & Ozmun, 2006）。Wickstorm（1983）發現成熟的移動性技能會有一些特點，包括在出力點周圍的活動範圍會變大、於動力鏈中會有更多的關節轉動參與其中、活動中較無中斷的情形出現，其動作過程更為順暢、屬於技能取向並非哪個年齡階段就會出現該動作技能的年齡取向。就原地垂直跳而言也有此特徵的出現，更切確的說法，成熟的原地垂直跳在下蹲時會有準備期，於動作開始時手臂迅速且用力的往上擺動，在飛程的階段身體呈現快速伸展的動作，且於落地時髖膝踝等部位會大幅地彎曲。

從以上兒童垂直跳躍的發展研究可以發現，垂直跳躍的

動作技能是隨著年齡的遞增而成熟。有關跳躍動作發展的相關研究，Frankenburg 和 Dodds (1967) 採用平均年齡的方式觀察兩歲至六歲之兒童單足跳躍能力發展情形，實驗參與者共 1036 人，結果顯示，1.25% 之 3 歲兒童具有單足跳躍的能力；2.50% 之 3.4 歲兒童具單足跳躍能力；3.75% 之 4 歲兒童具有單足跳躍能力；4.90% 之 4.9 歲兒童具有單足跳躍能力。Gutteridge (1939) 觀察 160 位年齡集中在 5 至 6 歲之兒童，結果發現其中有 51 位 5 歲的實驗參與者中，有 76% 能夠完成基本單足跳動作；65 位 6 歲之實驗參與者，有 91% 能熟練單足跳動作而且能展現出技巧性。

上述的文獻得知，5 至 6 歲兒童單足跳躍的技能已開始進入成熟發展的階段，而需要高度身體肢段間的協調和控制的垂直跳躍是否亦於此階段開始進入成熟發展階呢？為了解這個問題，Bosco 和 Komi (1980) 曾針對 4-73 歲的實驗參與者進行叉腰蹲踞跳 (SJ) 與叉腰垂直跳 (CMJ) 的比較，研究指出由於肌肉牽張帶來的彈性能儲存與反射動作機制，使得 SSC 的工作隨著年齡的增加提升動作的表現持續至 20-30 歲，這種機制會在 20-30 歲之後逐漸減弱，而兒童 CMJ 動作較 SJ 動作相對提升 20% 的表現，成人僅增加 15% 的表現結果，研究顯示兒童比成人有較大應用 SSC 機制的相對能力。同樣的在 Harrison 和 Gaffney (2001) 的研究則針對 22 位 23 歲成人與 20 位 6 歲兒童進行 CMJ-SJ 離地速度比值的探討，結果顯示兒童 CMJ 表現均呈現優於 SJ 的表現，說明 6 歲兒童已經可以有效利用 SSC 機制，但其動作的變異性卻是相當高，這主要是兒童的 SJ 動作變異性較大，使得研究在計算 CMJ-SJ 離地速度比值產生了較大的變異使然。

由以上的結果可以得知，6 歲兒童在垂直跳躍的動作已經可以有效的利用 SSC 機制，代表身體肢段間已有相當高的協調和控制，但對於擺臂機制的年齡效益卻沒進一步的研究，因此將擺臂效益和 SSC 效益一起作年齡效益的探討，才能更了解兒童垂直跳躍動作的發展情形。

關於兒童性別差異的文獻，Israel (1992) 提到青春期前的男童和女童，其力量可訓練性是沒有區別的，而男童有一定的遺傳優勢，但女童的生長、發展優勢可以彌補。雖然如此，但男童和女童的力量還是會有性別差異存在，特別是肩部和上肢，會有這種情形出現主要是社會因素造成的影響，是教育對不同性別進行區分的結果。而從兒童的生理情況和動作發展的觀點來看，青春期前兒童會隨著年齡的增加，其量方面如身高、體重會穩定的成長，但卻不至於產生性別上的差異 (Gallahue & Ozmun, 2006)。

先前許多有關於垂直跳躍表現與性別差異的研究，已有針對年輕成年人與運動員的動作表現進行探討，如 Walsh、Bohm、Butterfield 和 Santhosam (2007) 針對 50 名有規律運動的體育大學學生為實驗參與者，其中男女生各 25 名，以四種不同的垂直跳躍動作探討男女性別差的研究，這四種垂直跳動作分別為叉腰蹲踞跳、叉腰垂直跳、擺臂蹲踞跳以及擺臂垂直跳，結果顯示女生在反向動作的跳躍表現上較男生在增加高度的比例理想，這是由於女生有較長的肌纖維束和較能利用離心階段的能量儲存；而男生在擺臂動作的跳躍表現上較女生好，可能是因為男生上半身較強健之緣故。而陳重佑 (2004) 沿用過去比較垂直跳牽張-縮短循環 (SSC) 效果的文獻，比較擺臂效果的高度提升率 ((擺臂跳高度 - 叉腰跳

高度) / 又腰跳高度)，使用這個方法的目的主要是排除肌力的因素，結果發現男性與女性沒有顯著差異存在，這說明了擺臂垂直跳的技術沒有性別的差異。但是有關兒童方面的探討確不多見，尤其是年齡介於 7 至 11 歲的中晚期兒童，其年齡、性別垂直跳躍表現方面的研究，實有必要進一步探索。

第四節 本章總結

新穎的外界環境趨使兒童探索的本能，在探索外界新奇環境的過程中，通常會以走、跑、跳等移動性技能達其目的，因此移動性能力是觀察兒童動作發展歷程的階段性指標。而垂直跳動作屬於基本動作期中的移動性動作技能，肢段間需要高度的協調與控制，成熟過程通常伴隨著上肢的擺動與肢體的反向動作，因此這兩大因素成為動作發展研究者在研究兒童垂直跳能力是否已臻成熟的關鍵性指標。就動態系統的觀點而言，兒童的動作發展是隨著年齡的遞增而成熟，且大部分的基本動作在 6 歲時已經開始步入成熟的階段(Gallahue & Ozmun, 2006)。根據以往的文獻得知，兒童在 6 歲時已經可以有效的利用 SSC 的機制，但卻沒探討垂直跳擺臂機制的年齡效應，因此如能探討 SSC 機制與擺臂機制的年齡效益，才能更了解兒童垂直跳發展的情形。此外，青春期前的男女童在垂直跳躍的動作技能上是否有性別差異的存在，亦是值得探討的議題。

第參章 研究方法與步驟

本研究根據研究問題的需要，分成下列內容說明：第一節、實驗參加者；第二節、實驗儀器與設備；第三節、實驗設計；第四節、實驗流程與步驟；第五節、資料收集與處理方法；第六節、統計方法。

第一節 實驗參加者

本研究的參加者為 7、9、11 歲無神經肌肉系統損傷、先天性及遺傳疾病之男女童各 20 名，共 120 名實驗參加者，表 1 為實驗參加者的基本資料，研究者在實驗前為每位實驗參加者及其家長或監護人說明實驗流程，並簽署「參與研究家長（監護人）同意書」。

表 1：實驗參加者基本資料

		7 歲組		9 歲組		11 歲組	
		M	SD	M	SD	M	SD
年齡(歲)	男	6.7	0.3	8.6	0.4	10.7	0.4
	女	6.8	0.3	8.7	0.3	10.7	0.3
身高(公分)	男	124.3	5.1	136.4	7.2	144.3	8.0
	女	123.0	4.6	135.0	5.6	143.8	5.2
體重(公斤)	男	24.8	3.7	33.5	8.0	39.9	10.7
	女	23.6	3.5	32.3	8.1	37.1	7.5

第二節 實驗儀器與設備

本研究所使用之實驗儀器設備與資料分析軟體分述如下：

一、實驗儀器：

(一) Kistler (model 9287BA) 測力板 (1200Hz)，見圖 1 (a)。

(二) Kistler 16 通道集線盒，見圖 1 (b)。

(三) 筆記型電腦一台。

(四) 馬丁尺。

二、資料分析軟體：

(一) BioWare 3.26 版分析軟體。

(二) SPSS for Windows 12.0 版統計分析軟體。

(三) Microsoft Excel 2007 版試算分析軟體。

(a)

(b)



圖 1：地面反作用力測量的實驗儀器。(a) Kistler 9287BA 測力板；(b) Kistler 訊號集線盒。

第三節 實驗設計

本研究旨在探討中晚期兒童垂直跳動作的年齡效應及性別差異，而垂直跳動作的發展過程通常伴隨著上肢的擺動與肢體的反向動作，因此，實驗要求參加者表現擺臂垂直跳（ CMJ_{AS} ）、叉腰垂直跳（ CMJ_{AA} ）以及叉腰蹲踞跳（SJ）三種垂直跳形式，藉以探討擺臂效益與 SSC 效益，以便了解兒童垂直跳動作的年齡效應及性別差異的情形。實驗參加者以隨機的方式完成三種垂直跳動作，每種垂直跳躍動作各做五次，三種垂直跳的動作形式如圖 2 所示，在叉腰蹲踞跳部分：實驗參加者叉腰下蹲在測力板上如 b，約半秒後，下蹲動作穩定時再起跳如 c，動作開始到結束手掌都置於兩腰際髌骨上緣；在叉腰蹲踞跳部分：實驗參加者叉腰站在測力板上如 a，等實驗參加者準備好後馬上下蹲起跳如 b、c，動作開始到結束手掌都置於兩腰際髌骨上緣；在擺臂垂直跳部分：實驗參加者以自然站立之姿勢站在測力板上如 d，下蹲的同時手向後擺如 e，向上跳的同時手往上擺如 f。

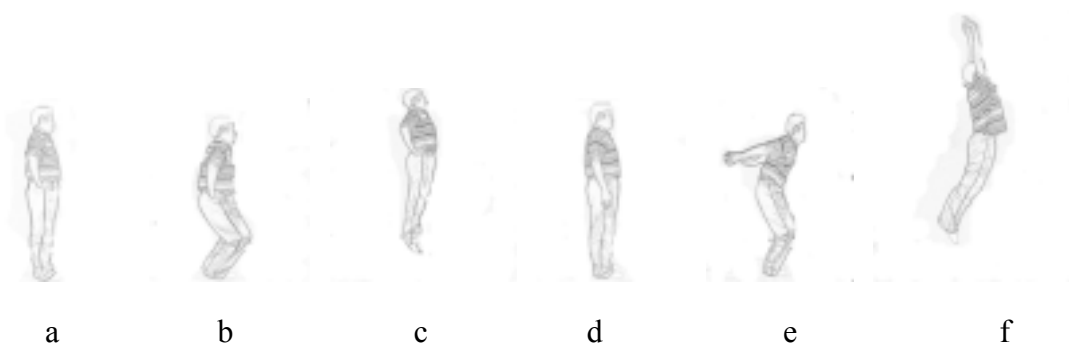


圖 2：垂直跳動作形式。

第四節 實驗流程與步驟

本研究的實驗參加者為 7、9、11 歲的男女童各 20 名，共 120 名，實驗開始前需先取得實驗參加者監護人的實驗同意書，並以馬丁尺測量其身高。

實驗參加者在實驗開始前，由實驗者告知實驗流程及注意事項，及示範 3 種垂直跳動作，之後由實驗參加者練習並進行熱身，在練習的過程實驗者會告知垂直跳動作應注意的細節。在實驗開始時實驗參加者隨機抽出 3 種垂直跳的先後順序，隨後在測力板上完成每種垂直跳動作各 5 次，每當完成一種垂直跳動作時，給予休息 1 分鐘，3 種垂直跳動作皆完成後，實驗參加者至休息區休息。實驗步驟的流程圖如圖 3 所示。

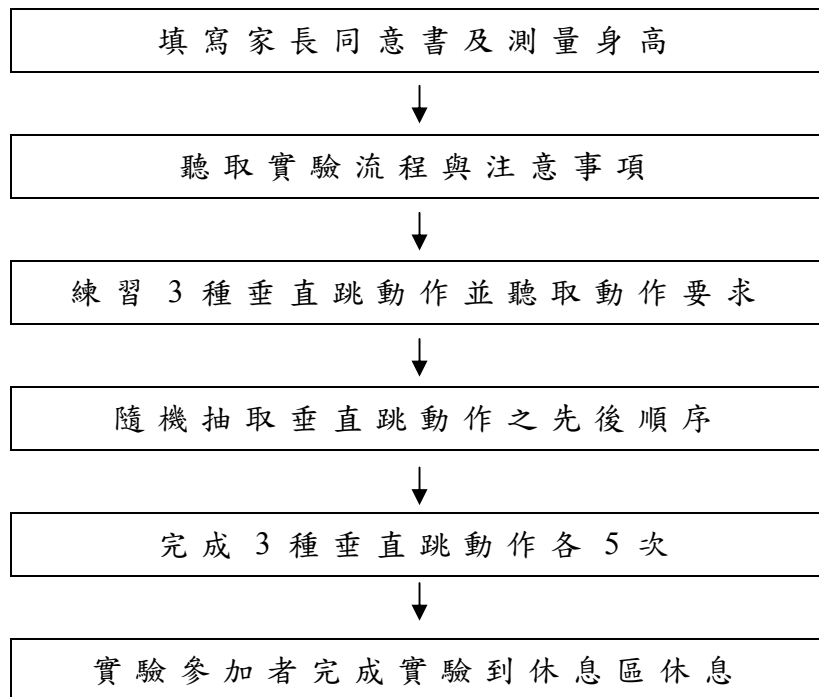


圖 3：實驗步驟流程圖。

第五節 資料收集與處理方法

本研究實驗所得測力板的動力學參數經 BioWare 3.26 版分析軟體計算合力、加速度、速度與位移，及動作過程的負衝量、正衝量、最大地面反作用力、最大發力率、與正負衝量產生的作用力時間等參數。此外，本研究亦比較實驗參加者在表現擺臂垂直跳與叉腰垂直跳產生的擺臂效益，及叉腰垂直跳與叉腰蹲踞跳產生的 SSC 效益進行提升率的計算。以下為垂直跳動力學參數與運動學參數的計算過程。

由測力板所得的地面反作用力-時間力量曲線減去動作者的體重 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，就可以獲得重心的速度；若重心速度對時間積分，就可獲得人體重心動做過程得位移曲線，通常力學上定義功率（power，也定義為爆發率）為速度與力量的乘積。

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

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

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為 $F(t)-mg$ ，此時若是合力外力對時間積分（意即 $F(t)$ 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

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

也就是說， $F(t)$ 對體重線下方的面積就為負衝量（ A_1 ），

$F(t)$ 對體重線上方的面積則為正衝量（ A_2+A_3 ），如圖 4 所示。

可見垂直跳的動作中，若減少負衝量的面積或是加大正衝量的面積，均可以讓人體獲得離地瞬間較大的速度。

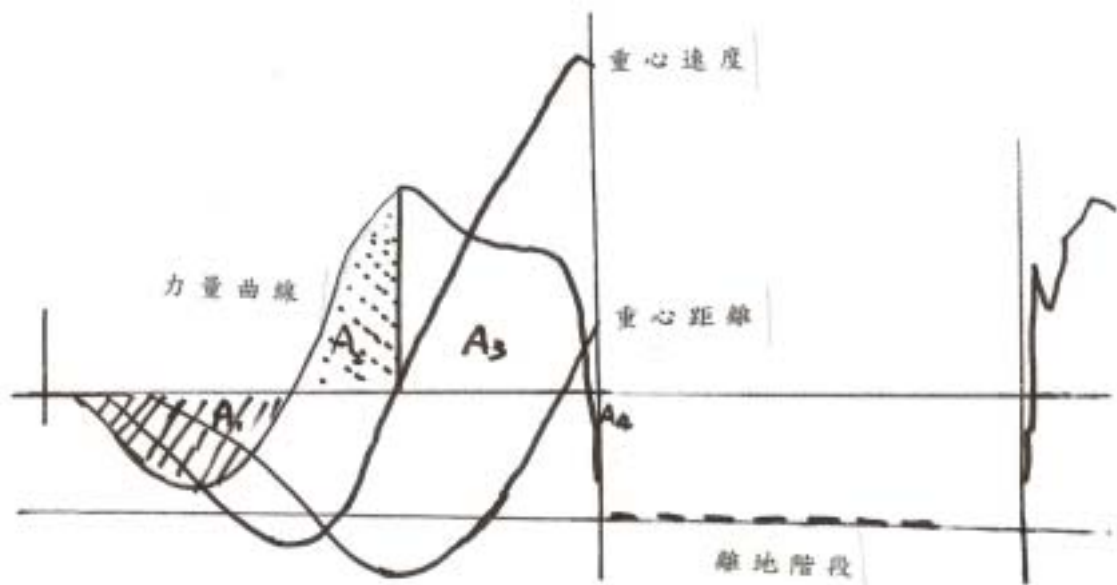


圖 4：原地垂直跳之生物力學曲線特徵。A1 負衝量和負衝量時間；A2+A3 為正衝量和正衝量時間。

第六節 統計分析

研究以每一種垂直跳躍動作的最佳表現（以離地重心高度最大值判定）作為統計分析的參數與進行曲線特徵的比較，分析處理後的各參數資料，利用 SPSS for Windows 12.0 版軟體，將各參數以 3（年齡）× 2（性別）獨立樣本二因子變異數分析，進行不同年齡與性別的差異統計考驗。交互作用若達顯著差異，則進行單純主要效果分析，並採用 Duncan 法進行事後比較；若不達顯著則進行各因子主要效果分析，其中年齡因子主要效果若達顯著，則採 Duncan 法進行事後比較。本研究統計水準 $\alpha = .05$ 。

第肆章 結果與討論

本研究主要目的在探討不同性別與不同年齡兒童，在垂直跳動作表現上各項運動學參數特徵的差異，實驗所得數據經過處理後，將結果分為五節加以說明：第一節、叉腰蹲踞跳動力學特徵之差異；第二節、叉腰垂直跳動力學特徵之差異；第三節、擺臂垂直跳動力學特徵之差異；第四節、擺臂提升率與 SSC 提升率之差異；第五節、討論。

第一節 叉腰蹲踞跳動力學特徵之差異

一、叉腰蹲踞跳高度

本節針對叉腰蹲踞跳表現及其動力學參數作分析，比較不同年齡及性別的差異情形，而表 2 是各年齡層與性別在叉腰蹲踞跳高度及影響其動作表現的動力學參數之平均值與標準差。在比較叉腰蹲踞跳表現的差異時，年齡與性別交互作用達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 3.19, p < .05, \eta^2 = .05, \text{power} = .59$)。因此進行單純主要效果分析 (見表 3)。在年齡因子的單純主要效果中 11 歲組的男童在叉腰蹲踞跳表現高於 9 歲與 7 歲組的男童 ($F_{(2, 114)} = 17.00, p < .05$)；在女童方面則 11 歲與 9 歲組高於 7 歲組 ($F_{(2, 114)} = 8.00, p < .05$)。接著再分析性別因子的單純主要效果，結果發現 7 歲組男童的叉腰蹲踞跳表現優於女童 ($F_{(1, 114)} = 10.00, p < .05$)，9 歲組男女童的單純主要效果未達顯著差異 ($F_{(1, 114)} = 1.00, p > .05$)，11 歲組男童的叉腰蹲踞跳表現優於女童 ($F_{(1, 114)} =$

23.00, $p < .05$)。

表 2：各年齡與性別又腰蹲踞跳各項參數之平均值與標準差

性別	年齡	騰空高度 *+ (cm)	總衝量 *+ (BW · s)	最大力量 (BW)	最大發力率 * (BW/s)	總衝量時間 (s)
男生						
	7 歲組					
	平均值	20.41	1.98	1.99	16.04	0.510
	標準差	3.89	0.21	0.17	4.48	0.160
	9 歲組					
	平均值	20.95	2.01	1.93	17.46	0.560
	標準差	2.04	0.09	0.16	4.37	0.137
	11 歲組					
	平均值	25.65	2.23	1.99	11.23	0.493
	標準差	4.89	0.21	0.19	2.79	0.137
女生						
	7 歲組					
	平均值	17.21	1.80	1.88	14.51	0.568
	標準差	3.26	0.19	0.18	4.98	0.129
	9 歲組					
	平均值	20.11	1.97	1.99	18.65	0.502
	標準差	3.74	0.19	0.18	6.24	0.130
	11 歲組					
	平均值	20.88	2.03	1.98	10.84	0.560
	標準差	2.63	0.12	0.20	2.59	0.120

註：年齡，* $p < .05$ ；性別，+ $p < .05$

BW 為單位體重

表 3：又腰蹲踞跳騰空高度單純主要效果變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	事後比較
年齡			
男童 ^a	0.017	17*	11 歲組 > 9, 7 歲組
女童 ^a	0.008	8*	11, 9 歲組 > 7 歲組
性別			
7 歲組 ^b	0.010	10*	男童 > 女童
9 歲組 ^b	0.001	1	
11 歲組 ^b	0.023	23*	男童 > 女童
誤差 ^c	0.001		

註：adf = 2；bdf = 1；cdf = 114

* $p < .05$

二、總衝量

比較各年齡層與性別在叉腰蹲踞跳的總衝量差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 2.46$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .49$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 18.05$, $p < .05$, $\eta^2 = .24$, $\text{power} = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加叉腰蹲踞跳的總衝量越大，11 歲組叉腰蹲踞跳的總衝量比 9 歲及 7 歲組大，而 9 歲組兒童叉腰蹲踞跳的總衝量又比 7 歲組大。性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 18.39$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$, $\text{power} = .99$)，結果顯示男童叉腰蹲踞跳的總衝量比女童大。

三、最大力量及最大發力率

比較各年齡層與性別在叉腰蹲踞跳的最大力量差異情形來看，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異水準 ($F_{(2, 114)} = 1.01$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .25$)。而年齡因子主要效果亦未達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 0.96$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .21$)。在性別因子的主要效果也沒有顯著差異 ($F_{(1, 114)} = 1.24$, $p > .05$, $\eta^2 = .11$, $\text{power} = .20$)。

另外針對各年齡層與性別在叉腰蹲踞跳的最大發力率差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用沒有顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.96$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .21$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 25.50$, $p < .05$, $\eta^2 = .31$, $\text{power} = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，發現叉腰蹲踞跳的最大發力率並沒有隨著年齡的增加而

變大，反而 9 歲組又腰蹲踞跳的最大發力率大於 7 歲與 11 歲組，而 7 歲組又大於 11 歲。性別因子的主要效果則未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 0.09$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $\text{power} = .06$)，男女童在又腰蹲踞跳的最大發力率沒有性別的差異存在。

四、總衝量作用力時間

比較各年齡層與性別在又腰蹲踞跳正衝量產生的力量作用時間差異情形，不僅在年齡與性別交互作用沒有顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.32$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .28$)，在年齡因子的主要效果亦沒有達到顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 0.51$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $\text{power} = .13$)，而性別因子的主要效果也沒有達到顯著水顯 ($F_{(1, 114)} = 0.06$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $\text{power} = .05$)。這說明了不同年齡與性別的兒童在又腰蹲踞跳的過程中，衝量的作用力時間是沒有差異情形存在。

第二節 又腰垂直跳動力學特徵之差異

一、又腰垂直跳高度

本節針對又腰垂直跳表現及其動力學參數作分析，比較不同年齡及性別的差異情形，而表 4 是各年齡層與性別在又腰垂直跳表現及影響其動作表現的動力學參數之平均值與標準差。在比較又腰垂直跳表現的差異時，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異水準 ($F_{(2, 114)} = 2.44$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .48$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 26.04$, $p < .05$, $\eta^2 = .31$, power

= 1.00)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加又腰垂直跳的表現越好，其中 11 歲組兒童又腰垂直跳的表現優於 9 歲和 7 歲，而 9 歲兒童的表現亦優於 7 歲。性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 15.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$, $power = .975$)，結果顯示男童在又腰垂直跳的表現上優於女童。所以不同年齡與不同性別在又腰垂直跳表現上存在年齡與性別的差異，因此研究者進一步探討又腰垂直跳的衡量關係，又腰垂直跳高度愈高是否表示總衡量會越大？如果總衡量變大，那原因是正衡量或負衡量的增加或減少？因此進一步作以下分析，以便了解年齡與性別效應在又腰垂直跳躍表現與衡量的關係。

表 4：各年齡與性別又腰垂直跳各項參數之平均值與標準差

性別	騰空 高度 *+	總衡量 *+	負衡量 *	正衡量 *+	最大 力量 (BW)	最大 發力 率* (BW/s)	負衡量 時間 * (s)	正衡量 時間 * (s)
男生								
7 歲組								
平均值	20.68	2.01	0.87	2.88	2.49	24.90	0.142	0.189
標準差	3.56	0.18	0.13	0.26	0.45	12.55	0.045	0.045
9 歲組								
平均值	22.45	2.10	1.00	3.10	2.36	19.16	0.151	0.208
標準差	2.41	0.11	0.20	0.28	0.26	7.00	0.040	0.040
11 歲組								
平均值	27.33	2.31	1.22	3.53	2.32	18.33	0.169	0.249
標準差	5.24	0.22	0.20	0.33	0.28	7.62	0.027	0.027
女生								
7 歲組								
平均值	18.40	1.90	0.89	2.79	2.38	26.14	0.141	0.193
標準差	2.72	0.14	0.15	0.26	0.35	9.84	0.047	0.047
9 歲組								
平均值	21.52	2.06	1.04	3.10	2.47	23.41	0.214	0.214
標準差	3.18	0.15	0.19	0.27	0.39	9.70	0.052	0.052
11 歲組								
平均值	22.97	2.12	1.10	3.28	2.27	17.62	0.153	0.226
標準差	3.10	0.15	0.13	0.23	0.18	6.00	0.036	0.036

註：年齡，* $p < .05$ ；性別，+ $p < .05$

BW 為單位體重

二、總衝量、正衝量及負衝量

在比較總衝量差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.96$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$, $\text{power} = .40$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 25.28$, $p < .05$, $\eta^2 = .30$, $\text{power} = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，又腰垂直跳的總衝量越大，11 歲組又腰垂直跳的總衝量大於 9 歲與 7 歲組，而 9 歲組又大於 7 歲組。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 14.56$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$, $\text{power} = 1.00$)，結果顯示男童的又腰垂直跳總衝量比女童大。由以上的結果得知，又腰垂直跳的表現越好，代表著總衝量必然會越大，也就是說兒童隨著年紀的增加，其又腰垂直跳的總衝量亦會隨之增加。

在比較各年齡層與性別在又腰垂直跳的負衝量差異，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 2.55$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .50$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 28.24$, $p < .05$, $\eta^2 = .33$, $\text{power} = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，又腰垂直跳的負衝量越大，11 歲組大於 9 歲與 7 歲組，而 9 歲組又大於 7 歲組。在性別因子的主要效果則未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 0.39$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $\text{power} = .10$)，由此可知男女童向下深蹲的整體作用是沒有性別的差異，但有年齡的差異存在。

比較各年齡層與性別在又腰垂直跳的正衝量差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 3.26$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$, $\text{power} = .61$)。因

此進行單純主要效果分析（見表 5）。在年齡因子的單純主要效果中，11 歲組男童在叉腰垂直跳的正衝量上大於 9 歲與 7 歲組的男童，而 9 歲組男童的正衝量又大於 7 歲組（ $F_{(2, 114)} = 29.73$ ， $p < .05$ ）；女童叉腰垂直跳的正衝量則 11 歲與 9 歲組大於 7 歲組（ $F_{(2, 114)} = 13.55$ ， $p < .05$ ）。接著再分析性別因子的單純主要效果，結果發現 7 歲組男女童的叉腰垂直跳正衝量沒有顯著差異（ $F_{(1, 114)} = 1.03$ ， $p < .05$ ），9 歲組男女童的單純主要效果亦未達顯著差異（ $F_{(1, 114)} = 0.00$ ， $p > .05$ ），11 歲組男童的叉腰垂直跳正衝量比女童大（ $F_{(1, 114)} = 12.58$ ， $p < .05$ ）。由總衝量、負衝量及正衝量的分析來看，隨著年齡的增加，總衝量、負衝量及正衝量也隨之增加，因此本研究繼續分析最大發力率、最大力、負衝量與正衝量作用力時間。

表 5：叉腰垂直跳正衝量單純主要效果變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	事後比較
年齡			
男童 ^a	2.201	29.73*	11 歲組 > 9 歲組 > 7 歲組
女童 ^a	1.003	13.55*	11、9 歲組 > 7 歲組
性別			
7 歲組 ^b	0.076	1.02	
9 歲組 ^b	0.000	0.00	
11 歲組 ^b	0.931	12.58*	男童 > 女童
誤差 ^c	0.074		

註：adf = 2；bdf = 1；cdf = 114

* $p < .05$

三、最大力量與最大發力率

在比較各年齡層與性別在叉腰垂直跳的最大力量差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未

達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.19$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .26$)。而年齡因子主要效果 ($F_{(2, 114)} = 2.15$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .43$) 與性別因子的主要效果 ($F_{(1, 114)} = 0.04$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .06$)，均未達顯著水準，因此說明了最大力量並不影響年齡與性別的叉腰垂直跳表現。

另外，比較最大發力率的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.76$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $\text{power} = .18$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 6.98$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$, $\text{power} = .92$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果發現 7 歲組兒童最大發力率比 11 與 9 歲組兒童大，而 11 歲與 9 歲組兒童無顯著差異。在性別因子的主要效果則未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 0.93$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $\text{power} = .16$)。這樣子的結果與正衝量隨著年齡的增加而增大並不一致，因此最大發力率似乎不是影響正衝量增加的原因。

四、負衝量與正衝量作用力時間

在比較各年齡層與性別在叉腰垂直跳負衝量作用力時間的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.45$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $\text{power} = .12$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 3.81$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$, $\text{power} = .68$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示 11 歲組兒童叉腰垂直跳負衝量作用力時間較 7 歲組長。而在性別因子的主要效果則未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 2.39$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $\text{power} = .33$)。

在比較正衝量作用力時間的差異情形，其二因子變異數

分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.40$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $power = .30$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 12.49$, $p < .05$, $\eta^2 = .18$, $power = .97$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，又腰垂直跳的正衝量作用力時間越長，其中 11 歲組的正衝量作用力時間長於 9 歲組，9 歲組的正衝量作用力時間又長於 7 歲組。而在性別因子的主要效果則未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 0.34$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $power = .09$)。由以上的結果得知，正衝量與負衝量隨著年齡的增加而變大，其中正負衝量的作用力時間似乎是影響衝量變大的主要因素。

第三節 擺臂垂直跳動力學特徵之差異

一、擺臂垂直跳高度

本節針對擺臂垂直跳表現及其動力學參數作分析，比較不同年齡及性別的差異情形，而表 6 是各年齡層與性別在擺臂垂直跳表現及影響其動作表現的動力學參數之平均值與標準差。在比較擺臂垂直跳表現的差異時，由二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用達顯著差異水準 ($F_{(2, 114)} = 3.14$, $p < .05$, $\eta^2 = .52$, $power = .59$)。因此進行單純主要效果分析 (見表 7)。在年齡因子的單純主要效果中 11 歲組的男童在擺臂垂直跳表現高於 9 歲與 7 歲組的男童，而 9 歲組又比高 7 歲高 ($F_{(2, 114)} = 28.00$, $p < .05$)；在女童方面則 11 歲與 9 歲組高於 7 歲組 ($F_{(2, 114)} = 12$, $p < .05$)。接著再分析性別因子的單純主要效果，結果發現 7 歲組男童的擺

臂垂直跳表現優於女童 ($F_{(1, 114)} = 6.00, p < .05$)，9歲組男女童的單純主要效果未達顯著差異 ($F_{(1, 114)} = 3.00, p > .05$)，11歲組男童的叉腰蹲踞跳表現優於女童 ($F_{(1, 114)} = 33.00, p < .05$)。因此進一步分析總衝量、負衝量及總衝量。

表 6：各年齡與性別擺臂垂直跳各項參數之平均值與標準差

性別 年齡	騰空 高度 *+ (cm)	總衝量 *+ (BW·s)	負衝量 *+ (BW·s)	正衝量 *+ (BW·s)	最大 力量 (BW)	最大 發力率 *+ (BW/s)	負衝量 時間 (s)	正衝量 時間 *+ (s)
男生								
7歲組								
平均值	22.39	2.09	0.81	2.90	2.26	22.21	0.182	0.231
標準差	3.39	0.16	0.20	0.30	0.18	9.73	0.049	0.041
9歲組								
平均值	25.77	2.25	0.95	3.20	2.29	16.45	0.181	0.271
標準差	2.41	0.14	0.19	0.28	0.18	4.97	0.040	0.046
11歲組								
平均值	29.92	2.42	1.05	3.47	2.23	22.00	0.188	0.282
標準差	3.23	0.22	0.22	0.32	0.18	13.85	0.038	0.038
女生								
7歲組								
平均值	19.86	1.97	0.75	2.72	2.19	20.99	0.175	0.228
標準差	3.25	0.16	0.21	0.31	0.15	10.42	0.047	0.027
9歲組								
平均值	24.02	2.17	0.84	3.01	2.32	15.46	0.176	0.241
標準差	3.18	0.18	0.16	0.24	0.23	5.31	0.054	0.054
11歲組								
平均值	24.14	2.19	0.87	3.06	2.18	14.14	0.178	0.248
標準差	3.79	0.15	0.22	0.27	0.18	3.74	0.049	0.041

註：年齡，* $p < .05$ ；性別，+ $p < .05$

BW 為單位體重

表 7：擺臂垂直跳騰空高度單純主要效果變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	事後比較
年齡			
男童 ^a	0.028	28*	11歲組 > 9歲組 > 7歲組
女童 ^a	0.012	12*	11、9歲組 > 7歲組
性別			
7歲組 ^b	0.006	6*	男童 > 女童
9歲組 ^b	0.003	3	
11歲組 ^b	0.033	33*	男童 > 女童
誤差 ^c	0.001		

註：adf = 2； bdf = 1； cdf = 114

*p < .05

二、總衝量、正衝量及負衝量

在比較正衝量差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.91$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$, $power = .39$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 25.87$, $p < .05$, $\eta^2 = .31$, $power = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，擺臂垂直跳的正衝量越大，其中 11 歲組兒童擺臂垂直跳的正衝量比 9 歲與 7 歲大，而 9 歲組又比 7 歲組大。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 20.65$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$, $power = 1.00$)，結果顯示男童擺臂垂直跳的正衝量比女童大。因此擺臂垂直跳的表現越好，代表著總衝量必然會越大，也就是說兒童隨著年紀的增加，其擺臂垂直跳的總衝量亦會隨之增加，而且男童會大於女童。

在比較負衝量差異的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.93$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $power = .21$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 8.59$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$, $power = .96$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，又腰垂直跳的負衝量越大，其中 11 歲組兒童擺臂垂直跳的負衝量比 9 歲與 7 歲大，而 9 歲組又比 7 歲組大。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 10.10$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$, $power = .883$)，由此可知男女童在擺臂垂直跳向下深蹲的整體作用有性別的差異。

另外比較各年齡層與性別在擺臂垂直跳的正衝量差異情

形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.97, p > .05, \eta^2 = .03, \text{power} = .40$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 25.96, p < .05, \eta^2 = .31, \text{power} = 1.00$)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示隨著年齡的增加，擺臂垂直跳的正衝量越大，其中 11 歲組兒童擺臂垂直跳的正衝量比 9 歲與 7 歲大，而 9 歲組又比 7 歲組大。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 24.43, p < .05, \eta^2 = .17, \text{power} = 1.00$)，結果顯示男童擺臂垂直跳的正衝量比女童大。由衝量的分析來看，隨著年齡的增加，總衝量、負衝量及正衝量也隨之增加。由性別來看，男女童的總衝量、負衝量及正衝量亦有性別差異存在，研究者在進一步分析最大力量、最大發力率、負衝量與正衝量作用力時間。

三、最大力量與最大發力率

在比較各年齡層與性別在擺臂垂直跳的最大力量差異情形，其混合設計二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.88, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .20$)。而年齡因子主要效果 ($F_{(2, 114)} = 3.21, p > .05, \eta^2 = .05, \text{power} = .60$) 與性別因子的主要效果 ($F_{(1, 114)} = 0.86, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .15$)，均未達顯著水準，因此說明了最大力量並不影響年齡與性別的叉腰垂直跳表現。

另外，比較最大發力率的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.98, p > .05, \eta^2 = .03, \text{power} = .40$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 4.23, p < .05, \eta^2 = .07, \text{power}$

= .73)，故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示 7 歲組兒童最大發力率比 9 歲兒童大。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 4.39$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$, $\text{power} = .54$)，顯示男童最大發力率比女童大。這樣子的結果與正衝量隨著年齡的增加而增大並不一致，因此最大發力率似乎不是影響擺臂垂直跳正衝量增加的原因。

四、負衝量與正衝量作用力時間

在比較各年齡層與性別在擺臂垂直跳負衝量作用力時間的差異情形，其混合設計二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 0.03$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $\text{power} = .05$)。年齡因子主要效果 ($F_{(2, 114)} = 0.14$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$, $\text{power} = .07$) 與性別因子的主要效果亦皆未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 0.87$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$, $\text{power} = .15$)。

在比較正衝量作用力時間的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異 ($F_{(2, 114)} = 1.62$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$, $\text{power} = .34$)。但年齡因子主要效果達顯著水準 ($F_{(2, 114)} = 7.85$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$, $\text{power} = .95$)，故以 Duncan 進行事後比較，發現 11 歲與 9 歲組兒童正衝量作用力時間長於 7 歲。在性別因子的主要效果亦達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 8.65$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$, $\text{power} = .83$)，男童正衝量作用力時間比女童長。此種結果似乎暗示著 9 歲組與 11 歲組兒童擺臂垂直跳的技術似乎是一樣的。

第四節 擺臂提升率與 SSC 提升率之差異

本節旨在探討不同年齡及性別的兒童，在比較擺臂垂直跳與叉腰垂直跳所產生的擺臂效益，及比較叉腰垂直跳與叉腰蹲踞跳所產生 SSC 效益是否有年齡及性別的差異，因此以一公式計算擺臂提升率及 SSC 提升率，其公式為（（擺臂垂直跳高度－叉腰垂直跳高度）／叉腰垂直跳高度）及（（叉腰垂直跳高度－叉腰蹲踞跳高度）／叉腰蹲踞跳高度），用以判斷哪個年齡層的兒童已經可以有效的運用擺臂效益與 SSC 效益，及其是否有性別的差異。而表 8 是各年齡層與性別在擺臂提升率及 SSC 提升率之平均值與標準差。

一、擺臂提升率

比較不同年齡與性別的擺臂提升率差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異（ $F_{(2, 114)} = 0.26$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .01$ ， $power = .09$ ）。但年齡因子主要效果達顯著水準（ $F_{(2, 114)} = 3.21$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .05$ ， $power = .60$ ），故以 Duncan 進行事後比較，結果顯示 9 歲組的擺臂提升率比 11 歲高。而在性別因子的主要效果則沒達顯著水準（ $F_{(1, 114)} = 2.47$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .02$ ， $power = .34$ ）。

二、SSC 提升率

在比較 SSC 提升率的差異情形，其二因子變異數分析結果顯示，年齡與性別交互作用未達顯著差異（ $F_{(2, 114)} = 0.88$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .02$ ， $power = .20$ ）。而年齡因子主要效果沒達顯著水準（ $F_{(2, 114)} = 1.14$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .02$ ， $power = .25$ ）。

而性別因子的主要效果亦未達顯著水準 ($F_{(1, 114)} = 3.42$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$, $power = .45$)。研究發現兒童在 7 歲時已經能有效的使用 SSC 效益。

表 8：各年齡與性別擺臂提升率及 SSC 提升率之平均值與標準差

	7 歲組		9 歲組		11 歲組	
	男	女	男	女	男	女
擺臂提升率*						
平均數	9.36	8.19	15.19	11.70	10.02	5.45
標準差	13.38	11.32	12.53	8.69	9.40	7.92
SSC 提升率						
平均數	2.30	8.42	7.48	07.87	06.86	10.15
標準差	9.88	12.30	9.84	7.53	9.07	8.75

註：年齡，* $p < .05$

第五節 綜合討論

過去許多垂直跳動作的研究都廣泛的審查 SSC 機制或擺臂機制如何提升跳躍表現 (Zajac, 1993; Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van soest, 1996; Harman, Rosenstein, Frykman, & Rosenstein, 1990; Luhtanen & Komi, 1979; Shetty & Etnyre, 1989; Feltner, Frasceti, & Crisp, 1999)。近來動作發展研究者較關心這些動作功能機制如何成熟，及隨著年齡改變的關係，如 Bosco 和 Komi (1980) 針對 4-73 歲的實驗參與者進行叉腰蹲踞跳 (SJ) 與叉腰垂直跳 (CMJ) 的比較，探討垂直跳躍動作中 SSC 發展歷程的年齡效應，研究指出 SSC 的工作隨著年齡的增加提升動作的表現持續至 20-30 歲，這種機制會在 20-30 歲之後逐漸減弱。Harrison 和 Gaffney (2001) 也針對 22 名 23 歲成人與 20 名 6 歲兒童進行 CMJ-SJ 離地速度比值的探討，認為 6 歲兒童已經可以有效利用 SSC 機制。而陳重佑 (2004) 以「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗垂直跳曲線的改變，藉由增加衝量的方法比較不同性別男女生的最大力量、作用力的時間與力量-時間曲線的斜率。因此本研究亦以同樣的方法透過「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗兒童垂直跳曲線，並藉由增加衝量的方法即增加最大力量、增加作用力的時間與增加力量-時間曲線的斜率及擺臂效益、SSC 效益，探討兒童表現垂直跳的年齡效益及性別差異情形。

叉腰蹲踞跳是不具有擺臂動作與 SSC 行為的跳躍動作，而本研究欲了解此種跳躍形式有何年齡效益及性別差異，對叉腰蹲踞跳進行動力學的探討。在比較叉腰蹲踞跳表現時，

年齡與性別交互作用達顯著差異，其結果顯示 11 歲組男童在又腰蹲踞跳表現高於 9 歲與 7 歲組的男童；在女童方面則 11 歲與 9 歲組高於 7 歲組。接著再分析性別因子的單純主要效果，結果發現 7 歲組男童的又腰蹲踞跳表現優於女童，9 歲組男女童的單純主要效果未達顯著差異，11 歲組男童的又腰蹲踞跳表現優於女童。有了此種結果後進一步探討總衝量關係，在比較又腰垂直跳的總衝量時其年齡因子與性別因子的主要效果達顯著差異，這一結果從力學原理推論也必然反應在不同年齡與性別又腰蹲踞跳的離地速度，且這離地速度來自於總衝量對身體質量的商，因此總衝量也顯示隨著年齡增加又腰蹲踞跳的總衝量也會越大，且男童大於女童。而在比較最大力量、最大發力率及總衝量作用力時間時，發現最大力量和總衝量作用力時間的交互作用、年齡因子和性別因子的主要效果都沒顯著差異，由此可知，最大力量和總衝量作用力時間不是影響總衝量隨著年齡的增加而變大的原因。在最大發力率年齡因子的主要效果達到顯著差異，但卻是 9 歲組最大發力率比 7 歲與 11 歲組大，而 7 歲組又大於 11 歲組，這結果與總衝量隨著年齡的增加而變大的結果不同，表示最大發力率亦不是影響總衝量的因素，因此推論影響不同年齡與性別總衝量的因素，可能是又腰蹲踞跳曲線型態的關係造成的結果。

又腰垂直跳是具有 SSC 行為的跳躍形式，在表現的過程中會先向下蹲後再起跳，因此為了清楚知道不同年齡與性別在多了 SSC 行為的垂直跳動作有何差異，研究再進一步比較兒童又腰垂直跳表現的差異，結果發現年齡與性別因子的主要效果達顯著差異，表示隨著年齡的增加又腰垂直跳的騰空

高度越高，其中 11 歲組又腰垂直跳的騰空高度比 9 歲和 7 歲組兒童高，而 9 歲組又比 7 歲組高，在性別方面則男童高於女童。研究繼續探討又腰垂直跳的總衝量時發現，年齡因子與性別因子的交互作用達顯著差異，其中 11 歲組男童又腰蹲踞跳的總衝量大於 9 歲和 7 歲組男童，11 歲和 9 歲組的女童大過 7 歲組的女童，而性別因子只有 11 組的男女童有顯著差異存在。由於又腰垂直跳的地面反作用力-時間曲線的總衝量來自於正衝量與負衝量的總合，因此本研究進一步針對負衝量與正衝量各別分析。負衝量在性別與年齡的交互作用沒有顯著差異，年齡因子的主要效果達到顯著差異，11 歲大於 9 歲大於 7 歲，而性別因子的主要效果沒有達到顯著差異，表示男女童向下深蹲的整體作用會隨著年齡的增加而變大，但此作用並無性別差異。正衝量在性別與年齡的交互作用沒有顯著差異，年齡因子與性別因子的主要效果均達到顯著差異，表示又腰垂直跳的正衝量 11 歲組比 9 歲與 7 歲組大，而 9 歲組又大於 7 歲組且男童大於女童。又腰垂直跳是具有 SSC 行為的跳躍動作，因此在下蹲的過程會有負衝量的產生，由上述的結果得知，年齡愈大的兒童下蹲時產生的負衝量愈大，而總衝量又來自於正衝量與負衝量的總合，因此總衝量隨著年齡的增加而變大的原因，是由於下深蹲的整體作用會因為年齡的增加使得身體向上時的正衝量隨之增加所造成的結果。而在負衝量性別因子的主要效果沒顯著差異，總衝量及正衝量的性別因子卻有顯著差異存在，因此推測不同年齡及性別的兒童下蹲的結果除了會產生負衝量的差異外，亦會使正衝量產生差異，也就是說年齡愈大的兒童愈會利用下蹲動作產生的整體作用來增加正衝量，而且男童產生的正衝量

會比女童大。

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、增加力量-時間曲線的斜率與增加作用力的時間，因此本研究針對貢獻正衝量的最大力量、最大發力率（力量-時間曲線的斜率）與作用力時間進行比較。結果發現最大力量在年齡與性別的交互作用、年齡因子的主要效果與性別的主要因子均無顯著差異存在，顯然最大力量不是影響兒童正衝量差異的原因；最大發力率在年齡與性別的交互作用、性別的主要因子均無顯著差異存在，而在年齡因子的主要效果有顯著差異存在，其中 7 歲兒童大於 11 與 9 歲兒童，這結果與正衝量隨著年齡的增加而變大的結果互相違背，似乎表示最大發力率亦不是影響兒童正衝量差異的原因。在進一步分析正衝量產生的力量作用時間，本研究發現年齡與性別的交互作用及性別因子的主要效果沒有顯著差異，而年齡因子的主要效果均達到顯著差異，隨著年齡的增加而延長正衝量作用力的時間，結果表示正衝量產生力量的作用時間才是影響兒童正衝量差異的原因。另外研究者亦分析負衝量產生的力量作用力時間，其年齡與性別的交互作用及性別因子的主要效果沒有顯著差異，而年齡因子的主要效果達到顯著差異，表示不同年齡負衝量的差異是由負衝量產生力量的作用力時間的多寡使然。

總結以上的結果得知，年齡愈大的兒童愈能利用向下深蹲的整體作用，使得正衝量增加，而正衝量的增加代表正衝量作用力時間增長，如果假定正衝量產生力量的作用力時間為叉腰垂直跳技術的指標，表示兒童隨著年齡的增加，其叉腰垂直跳的技術會變好。而叉腰垂直跳騰空高度的性別差

異，主要是因為正衝量的差異所造成的結果。

對於不同年齡及性別的兒童擺臂垂直跳表現，發現年齡與性別交互作用達顯著差異，結果顯示 11 歲組男童在擺臂垂直跳表現高於 9 歲與 7 歲組的男童，其中 9 歲組又高於 7 歲組；在女童方面則 11 歲與 9 歲組高於 7 歲組。接著再分析性別因子的單純主要效果，結果發現 7 歲組男童的擺臂垂直跳跳表現優於女童，9 歲組男女童的單純主要效果未達顯著差異，11 歲組男童的又腰蹲踞跳表現優於女童。而在總衝量上必然也會隨著年紀的增加而變大，且男童大於女童，進一步針對負衝量與正衝量各別分析。負衝量在性別與年齡的交互作用沒有顯著差異，年齡因子的主要效果達到顯著差異，表示兒童向下深蹲的整體作用 11 歲與 9 歲大於 7 歲，性別因子的主要效果亦達到顯著差異，顯示男女童向下深蹲的整體作用有性別差異存在且男童大於女童。陳重佑（2004）指出擺臂垂直跳會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動作形式。這是否意味著 9 歲兒童已經能有效利用擺臂的效益，使得 9 歲與 11 歲的負衝量大於 7 歲。而正衝量在性別與年齡的交互作用沒有顯著差異，年齡與性別因子的主要效果均達到顯著差異，表示隨著年齡的增加正衝量會隨之變大且男童大於女童。擺臂垂直跳動作產生的負衝量 9 歲與 11 的兒童會大於 7 歲的兒童，但總衝量卻顯示 11 歲大於 9 歲和 7 歲組，而 9 歲又大於 7 歲組，顯然表示兒童擺臂垂直跳會有年齡差異，主要是由於正衝量的增加造成的結果。陳重佑（2004）比較不同性別成年運動員有無擺臂的垂直跳，發現擺臂的作用能使正衝量增加。因此本研究再進一步比較正衝量的最大力量、最大發力率（力量-時間曲線的斜

率) 與作用力時間。結果發現最大力量在年齡與性別的交互作用、年齡因子的主要效果與性別因子的主要效果均無顯著差異存在，顯然最大力量不是影響兒童正衝量差異的原因；最大發力率在年齡與性別的交互作用無顯著差異存在，而在年齡因子與性別因子的主要效果有顯著差異存在，其中 7 歲兒童大於 9 歲兒童且男童大於女童，這結果與正衝量隨著年齡的增加而變大的結果互相違背，表示最大發力率亦不是影響兒童正衝量差異的原因。而在正衝量產生的力量作用時間，本研究發現年齡與性別的交互作用主要效果沒有顯著差異，而年齡因子與性別因子的主要效果均達到顯著差異，且隨著年齡的增加而延長正衝量作用力時間，這結果表示正衝量產生力量的作用時間似乎是影響不同年齡及性別兒童正衝量差異的原因。另外研究者亦分析負衝量產生的力量作用力時間，其年齡與性別的交互作用的主要效果沒有顯著差異，且年齡因子與性別因子的主要效果亦未達顯著差異，表示兒童負衝量產生的力量作用力時間沒有差異。由以上的結果得知，不同年齡擺臂垂直跳總衝量的差異主要是由於正衝量的增加所致，而正衝量的差異又來自於正衝量產生力量作用時間的差異。如果研究者假定作用力時間是屬於垂直跳躍技術方面的指標，表示 9 歲與 11 歲兒童擺臂垂直跳有同樣的動作技能，而且男童大於女童。

最大力量與最大發力率無論在叉腰蹲踞跳、叉腰垂直跳及擺臂垂直跳上，似乎都不是影響正衝量增加的因素，在本研究中叉腰蹲踞跳、叉腰垂直跳及擺臂垂直跳上並無支持是力量大小或發力率的多寡影響垂直跳躍的表現。

本研究為了了解兒童垂直跳動作何時能進入成熟階段，

因此比較不同性別與年齡兒童的 SSC 效果與擺臂效果的高度提升率，在比較 SSC 高度提升率（ $(\text{叉腰垂直跳高度} - \text{叉腰蹲踞跳高度}) / \text{叉腰蹲踞跳高度}$ ），結果顯示年齡因子的主要效果沒達顯著差異，表示 11 歲、9 歲、7 歲有相同的 SSC 高度提升率，顯然 7 歲兒童已經能有效的利用 SSC 效益，這結果與 Harrison 和 Gaffney (2001) 的結果一致，其比較成人和 6 歲兒童 SSC 離地速度的提升率，結果發現 6 歲兒童已經能有效使用 SSC 效益，但卻與 Bosco 和 Komi (1980) 的研究結果不一樣，其認為 SSC 的工作隨著年齡的增加提升動作的表現持續至 20-30 歲。

在比較擺臂高度提升率（ $(\text{擺臂垂直跳高度} - \text{叉腰垂直跳高度}) / \text{叉腰垂直跳高度}$ ），結果顯示年齡因子的主要效果達顯著差異，其中 9 歲兒童大於 11 兒童，而性別的主要因子未達顯著差異，這樣子的結果似乎表示 9 歲兒童是能有效使用擺臂效益的重要階段。垂直跳動作的表現通常伴隨著手臂的擺動與 SSC 行為，因此如果同時考慮 SSC 高度提升率與擺臂高度提升率，9 歲兒童垂直跳動作型態才是進入成熟發展的階段，而這結論明顯與 Gallahue 和 Ozmun (2006) 所認為 6 歲兒童垂直跳動作型態是進入成熟發展結段明顯的不同，Harrison 和 Bowker (2000) 在分析垂直跳運動學時表示動作發展過程應該以關節運動學的變異性大幅降低的特徵為發展階段，這裡所謂的階段是指成熟過程的範圍優於穩定的動作形態時期。而本研究 SSC 高度提升率及擺臂高度提升率的標準差有幾個都大過平均值，表示動作的變異性很大。後續研究如能以縱貫式的實驗方式持續追蹤更大範圍的年齡層並以 Harrison 和 Bowker 所提的變異性要大幅的降低來對照

Gallahue 所分類的動作階段，如此才能更加了解不同年齡與性別兒童的垂直跳發展過程。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究透過「獲取運動速度的最大衝量原理」檢驗 7、9、11 歲的男女童表現又腰蹲踞跳、又腰垂直跳及擺臂垂直跳的曲線。在又腰蹲踞跳動作表現上，顯示隨著年齡的增加又腰蹲踞跳的高度愈高，而且男童大於女童，造成年齡差異及性別差異的主要因素，是由於總衝量的差異導致的結果。又腰垂直跳表現的年齡差異是由於延長正衝量產生力量的作用力時間，致使正衝量隨之增大。而擺臂垂直跳的年齡和性別差異，主要是由於不同年齡及性別兒童擺臂的效益有差異，使正衝量會隨著年齡的增加而變大且男童大於女童。無論在又腰蹲踞跳、又腰垂直跳及擺臂垂直跳上，最大力量與最大發力率在本研究都沒有支持是影響正衝量增加的因素。

另外本研究探討不同年齡與性別的兒童垂直跳動作發展歷程，因此比較 SSC 效益與擺臂效益的高度提升率，結果發現兒童在 7 歲時已經能有效利用 SSC 效益，而擺臂效益的高度提升率上顯示兒童在 9 歲時能有效利用擺臂的效益。因垂直跳動作伴隨著 SSC 行為與手臂的擺動，因此 9 歲兒童為開始進入垂直跳動作的成熟發展。

第二節 建議

根據結果顯示，SSC 高度提升率與擺臂提升率的標準差都非常大，後續研究如能以縱貫式的實驗方式持續追蹤更大範圍的年齡層並以 SSC 高度提升率與擺臂高度提升率之變異性大幅的降低來對照 Gallahue 所分類的動作階段，才能更加了解不同年齡與性別兒童的垂直跳發展過程。

本研究發現男童與女童使用 SSC 效益沒有顯著差異存在，且在擺臂高度提升率上也無性別差異情形，因此未來在體育課程的安排及教學上應該一視同仁，不宜有性別差異的觀念。

引用文獻

中文部分

- 陳重佑 (2004)。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。《國立臺灣體育學院學報》，14，1-15。
- 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。

外文部分

- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiology Scandinavia*, 91, 385-392.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movement*. Oxford: Oxford University.
- 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. (1980). Influence of ageing on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 45, 209-219.
- Cavagna, G., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously worked muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24, 21-32.
- Chen, C. Y., Lin, Y. P., Huang, C. F., & Liu, Y. (1999). Application of maximum impulsive principle in the study of the countermovement vertical jump. In R. H. Sanders & B. J. Gibson (Eds.), *Scientific proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 177-180). Perth, Australia: Edith Cowan University.
- 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. (2007). The influence of squat
 depth on maximal vertical jump performance. *Journal of
 Sport Sciences, 25*(2), 193-200.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement*
 (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Feltner, M. E., Frascchetti, D. J., & Crisp, R.J. (1999). Upper
 extremity augmentation of lower extremity kinetics
 during countermovement vertical jump. *Journal of
 Sports Sciences, 17*, 449-466.
- Frankenburg, W., & Dodds, J. (1967). The Denver
 Developmental Screening Tests. *Journal of Pediatrics,*
71, 181-191.
- Gallahue, D. L. (1996). *Developmental physical educational*
for today's children (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2006). *Understanding motor*
development: Infants, children, adolescents, adults (6th
 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Gregoire, L., Veeger, H. E., Huijing, P. A., & van Ingen
 Schenau, G. J. (1984). Role of mono- and biarticular
 muscles in explosive movements. *International Journal
 of Sports Medicine, 5*, 301-305
- Gutteridge, M. (1939). A study of motor achievement of young
 children. *Archives of Psychology, 244*, 1-178.

- 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., & Bowker, P. (2000). The effect of motor development on kinematics of vertical jump. In P. J. Prendergast & T. C. Lee & A. J. Carr (eds.), *Proceeding: 12th Conference of the European Society of Biomechanics, Dublin*, 95.
- Harrison, A. J., & Gaffney, S. (2001). Motor development and gender effects on shortening cycle performance. *Journal Science and Medicine in Sport*, 4(4), 406-415.
- Hall, S. J. (2003). *Basic biomechanics* (4th ed.). New York: McGraw Hill.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2001). *Life span motor development* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Israel, S. (1992). Age-related changes in strength and special groups. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 319-327). Oxford: Blackwell.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & Clercq, D. D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37, 1929-1940.
- Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1978). Segmental contribution to

- forces in vertical jump. *European Journal of Applied Physiology*, 38, 181-188.
- Magill, R. A. (2001). *Motor learning: Concepts and applications* (6th ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control*. Amsterdam: Martius Nijhoff.
- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2002). *Human motor development: A lifespan approach* (5th ed.). Mountain View, CA: Mayfield.
- Payne, A. H., Slater, W. J., Telford, T. (1968). The use of a force platform in the study of athletic activities. *Ergonomics*, 11, 123-1143
- Shetty, A. B., & Etnyre, B. R. (1989). Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 11, 198-201.
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamical approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M., & De Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 389-415.
- Walsh, M. S., Böhm, H., Butterfield, M. M., & Santhosam, J.

- (2007). Gender bias in the effects of arms and countermovement on jumping performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 362-366.
- Wickstrom, R. L. (1983). *Fundamental motor development*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Zajac, F. E. (1993). Muscle coordination of movement: A perspective. *Journal of Biomechanics*, 26(Suppl. 1), 109-124.

附錄一：垂直跳動作各參數之統計結果

表 9：叉腰蹲踞跳各參數二因子變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	η^2	power	事後比較
總衝量					
性別 ^a	0.57	18.39*	0.14	0.99	男 > 女
年齡 ^b	0.56	18.05*	0.24	1.00	11 > 9 > 7
年齡 × 性別 ^b	0.08	2.46	0.04	0.49	
誤差 ^c	0.03				
最大力量					
性別 ^a	0.04	1.24	0.01	0.20	
年齡 ^b	0.03	0.96	0.02	0.21	
年齡 × 性別 ^b	0.04	1.15	0.02	0.25	
誤差 ^c	0.03				
最大發力率					
性別 ^a	1.80	0.10	0.00	0.06	
年齡 ^b	499.19	25.50*	0.31	1.00	9 > 7 > 11
年齡 × 性別 ^b	18.79	0.96	0.02	0.21	
誤差 ^c	19.57				
總衝量作用力時間					
性別 ^a	0.00	0.06	0.00	0.06	
年齡 ^b	0.01	0.51	0.01	0.13	
年齡 × 性別 ^b	0.04	1.32	0.02	0.28	
誤差 ^c	0.03				

註：adf = 2；bdf = 1；cdf = 114

*p < .05

表 10：叉腰垂直跳各參數二因子變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	η^2	power	事後比較
叉腰垂直跳高度					
性別 ^a	0.02	15.69*	0.12	0.98	男>女
年齡 ^b	0.03	26.04*	0.31	1.00	11>9>7
年齡×性別 ^b	0.00	2.44	0.04	0.48	
誤差 ^c	0.00				
總衝量					
性別 ^a	0.39	14.56*	0.11	0.97	男>女
年齡 ^b	0.67	25.28*	0.31	1.00	11>9>7
年齡×性別 ^b	0.05	1.96	0.03	0.40	
誤差 ^c	0.03				
負衝量					
性別 ^a	0.01	0.39	0.00	0.01	
年齡 ^b	0.82	28.24*	0.33	1.00	11>9>7
年齡×性別 ^b	0.07	2.55	0.04	0.25	
誤差 ^c	0.03				
最大力量					
性別 ^a	0.01	0.04	0.00	0.06	
年齡 ^b	0.24	2.15	0.04	0.43	
年齡×性別 ^b	0.13	1.19	0.02	0.02	
誤差 ^c	0.11				
最大發力率					
性別 ^a	76.36	0.93	0.01	0.16	
年齡 ^b	571.44	6.98*	0.11	0.92	7>11,9
年齡×性別 ^b	62.52	0.76	0.01	0.18	
誤差 ^c	81.92				
正衝量作用力時間					
性別 ^a	0.00	0.34	0.00	0.09	
年齡 ^b	0.02	12.49*	0.18	1.00	11>9>7
年齡×性別 ^b	0.00	1.40	0.02	0.30	
誤差 ^c	0.00				
負衝量作用力時間					
性別 ^a	0.00	2.39	0.02	0.33	
年齡 ^b	0.00	3.81*	0.06	0.68	11>7
年齡×性別 ^b	0.00	0.45	0.01	0.12	
誤差 ^c	0.03				

註：adf = 2； bdf = 1，； cdf = 114 *p < .05

表 11：擺臂垂直跳各參數二因子變異數分析摘要表

變異來源	MS	F	η^2	power	事後比較
總衝量					
性別 ^a	0.61	20.65*	0.15	1.00	男 > 女
年齡 ^b	0.77	25.87*	0.31	1.00	11 > 9 > 7
年齡 × 性別 ^b	0.06	1.91	0.03	0.39	
誤差 ^c	0.03				
負衝量					
性別 ^a	0.40	10.10*	0.08	0.88	男 > 女
年齡 ^b	0.35	8.59*	0.13	0.96	11 > 9 > 7
年齡 × 性別 ^b	0.04	0.93	0.02	0.21	
誤差 ^c	0.04				
正衝量					
性別 ^a	2.02	24.43*	0.18	1.00	男 > 女
年齡 ^b	2.15	25.96*	0.31	1.00	11 > 9 > 7
年齡 × 性別 ^b	0.16	1.97	0.03	0.40	
誤差 ^c	0.08				
最大力量					
性別 ^a	0.03	0.86	0.01	0.15	
年齡 ^b	0.11	2.21	0.05	0.47	
年齡 × 性別 ^b	0.03	0.88	0.02	0.20	
誤差 ^c	0.04				
最大發力率					
性別 ^a	337.58	4.39*	0.04	0.55	男 > 女
年齡 ^b	325.76	4.23*	0.07	0.73	7 > 9
年齡 × 性別 ^b	152.06	0.76	0.03	0.40	
誤差 ^c	76.97				
正衝量作用力時間					
性別 ^a	0.02	8.65*	0.07	0.83	
年齡 ^b	0.01	7.85*	0.12	0.95	11, 9 > 7
年齡 × 性別 ^b	0.00	1.62	0.03	0.34	
誤差 ^c	0.00				
負衝量作用力時間					
性別 ^a	0.00	0.87	0.01	0.15	
年齡 ^b	0.00	0.14	0.00	0.07	
年齡 × 性別 ^b	0.00	0.03	0.00	0.05	
誤差 ^c	0.04				

註：adf = 2； bdf = 1； cdf = 114 *p < .05

附錄二：參與研究家長（監護人）同意書

親愛的家長您好：

我是國立臺灣體育大學（臺中）體育研究所的研究生，目前進行一項有關兒童垂直跳動作發展的研究，由於貴子弟年齡及身體狀況非常適合本次研究的條件，因此特邀貴子弟能參與本次研究。本次研究的地點設於臺中縣太平市東平國小，全部時間為 30 分鐘，測量的動作在測力板上完成 3 種垂直跳動作各 5 次。動作過程中會先有適當的熱身運動，因此動作過程不會對小朋友造成傷害。為了尊重您的權益，您可以自由選擇要不要讓貴子弟參與本次研究。本次的研究測量的結果只當作研究之用，而相關資料的隱私權也將獲得保障。

最後，非常期盼您的協助！如果您對本次研究或是貴子弟的權益有任何問題，歡迎以電話聯絡臺灣體育大學（臺中）體育研究所研究生林義傑 0910398994。

研究生 林義傑 敬上

經過閱讀，並且了解以上陳述，我同意我的孩子參與上述研究。

學生姓名：_____

家長簽名：_____

感謝您的支持與參與！