

八週手持負重訓練對青少年立定跳遠成績之影響

林芝羽¹/唐瑞顯²/黃長福³

國立臺灣師範大學

摘要

近年來，國民中學將體適能列為升學加分之條件，高中術科測驗更將立定三次跳遠列為為評估受測者爆發力的指標之一，立定跳遠不止於升學考試所扮演重要之角色，亦是衡量身體能力的重要指標，過去相關文獻提出，負重有利於增進立定跳遠之表現。本研究主要目的：一、探討多少負荷為青少年的最佳負重？二、經過八週手持重物跳訓練之後，受試者能否提升立定跳遠距離。三、手持重物跳訓練前後，其立定跳遠動作之運動生物力學參數有何差異。研究方法：受試者為十五名國中田徑隊男生(身高 $173.1 \pm 6.63\text{cm}$ ，體重 $59.3 \pm 7.95\text{kg}$)，每個人接受未負重及負重立定跳遠測驗，負重方式採六種不同的重量負荷(0kg、1kg、2kg、3kg、4kg、5kg)進行檢測，選取負重表現最佳的一種，進行為期八週之負重訓練。本研究利用十部 Vicon 高紅外線速攝影機(250Hz)同步兩台 Kistler 測力板(1000Hz)擷取受試者之運動學和動力學參數，所得之數據使用成對樣本 t 檢定(Paired-Sample t test)進行比較分析，顯著水準為 $\alpha = .05$ 。研究結果：本研究之最佳負重為四公斤，本研究發現經過八週訓練，手持負重立定跳遠距離顯著提升約 18 %。八週訓練後，起跳重心水平速度、空中飛程、落地距離、起跳落地重心高度差、水平方向最大地面反作用力，都顯著提升。結論：本研究發現，經八週手持重物跳練習之後，能顯著增加立定跳遠距離，顯示本研究設計之負重跳練習能有效提升立定跳遠之表現。

關鍵詞：立定跳遠、負重跳遠、運動生物力學

通訊作者：黃長福

電子郵件：elbowcn@gmail.com

壹、緒論

一、研究背景

自民國九十七年起，台北市公立高中申請入學招生，超過八成的學校，將體適能列為升學加分之條件，全國大學術科測驗更將立定三次跳遠列為基本項目。國內許多國、高中體育班招生以及大學體育績優獨立招生入學考試，為招收身體能力較優良及競技表現優異之選手，亦將其列為測驗項目，以評估選手身體的瞬間爆發力。由此可見，立定跳遠不止於升學考試扮演重要之角色，亦是衡量身體能力的重要指標。

立定跳遠是國中小體適能測驗項目之一，欲提升跳遠距離之表現同時須掌握好起跳之時宜、身體控制、手部擺動等動作。透過腿部的屈膝伸展，手臂的擺動向上，身體重心的轉移來完成跳躍過程。其表現常被教練或運動團隊用來評估運動潛能與性能，預測選手的天賦 (Almuzaini & Fleck, 2008; Wu, Porter, & Brown, 2012)。Ashby and Delp (2006)發現立定跳遠加上適當的擺臂，重心起跳速度增加約 15%，速度增加之原因可能為擺臂促使下肢關節得以做更多的功來幫助起跳，且減少跳躍時身體過度旋前的現象，使身體能較平穩且協調的往前著地，因而有較好的跳躍表現。Harman, Rosenstein, Frykman, and ROsenStein (1990)研究結果指出，下蹲動作與擺臂動作都可以明顯提升跳躍高度，而擺臂動作的影響較大。

古代奧林匹克運動會跳遠項目，選手必須雙手持重物進行立定跳遠比賽，過去相關文獻詳細的記載並描述希臘運動員 Phayllos 在全能五項運動中的跳遠項目，締造出 55 呎優異的成績表現。其中五項運動包含跑步、鐵餅、跳遠以及角力運動(Harris, 1972; Kyle, 1990)。由於當時一呎的單位為 29.6 公分，換算成現今公尺單，Phayllos 的跳遠距離達 16.28 公尺(Gardiner, 1904)。有關 Phayllos 手持重物跳遠的真實性，Minetti and Ardigo (2002)發表的文章中討論，無論是刻在石板上的圖形或是出土文物，皆鮮明的紀錄著此一運動項目，有版畫顯示選手於落地前仍持重物，因此我們可以證明選手在跳遠時，應為全程持重物而未拋出。另外，根據出土文物顯示，運動員於競賽時應為立定跳遠而非助跑起跳。

立定跳遠是檢測身體爆發力的一項重要指標，為求跳遠距離之提升，過去針對古代運動員手持重物跳遠，曾有學者針對負重是否有利運動表現而討論。Lenoir, De Clercq, and Laporte (2005)研究發現，利用手持重物進行連續五次跳，經過一段時間練習後，可以明顯增加受試者的運動表現，負重連續五次跳成績為 14.64 ± 0.76 公尺，正常連續五次跳成績為 13.88 ± 0.70 公尺。研究者認為增進立定跳遠距離的原因為手持重物能增加每一次起跳瞬間重心水平速度，而且能在每一次的落地瞬間與起跳瞬間改變身體重心位置，讓受試者能更充分的運用身體力量提升運動表現。Minetti and Ardigo (2002)認為手持負重立定跳遠有助於提升跳

遠表現的原因，是因為負重能幫助跳躍者重心平移，並刺激上肢額外的肌群參與此動作，產生更大的地面反作用力，增加跳遠的距離。許多研究發現，負重立定跳遠的表現在起跳期會增加起跳瞬間重心水平速度、起跳水平衝量，因此可能提升立定跳遠的距離；另外負重立定跳遠於起跳期會降低起跳瞬間重心垂直速度，降低下肢各關節力矩與功率，則是影響動作之負面影響(唐瑞顯 & 黃長福, 2007)。

最適負重相關研究其中提到，適當增加負重有利於增進立定跳遠之表現，而負重過重則會降低運動表現(Butcher & Bertram, 2004; Minetti & Ardigo, 2002; Tang & Huang, 2008)。Minetti and Ardigo (2002)針對成年選手的實驗研究發現，當選手起跳手持負重 6 公斤時，能夠對重心增加約 2% 的垂直速度。當重量增加到 10-12 公斤時，成績表現開始下降。負重在 5-6 公斤左右時，會增加 5-7% 的距離。Butcher and Bertram (2004)在實驗室將受測者分為四組，嘗試無負重跳、持重物 1.4 公斤、2.3 公、3.6 公斤，結果發現男選手負重後最多可增加 25 公分，女選手負重後最多可增加 16 公分。Chenfu Huang 等人(2005)的研究中發現，經實驗設計之後，適當的負重能增加大學男生單次立定跳遠的距離，而最適負重介於 5-6 公斤之間。

根據肌肉牽張—收縮循環(Stretch-Shorten Cycle; SSC)動作解釋擺臂動作，肌肉有預先伸張的效果，儲存彈性位能，有助於隨後的肌肉收縮以提升運動表現。Lenoir et al. (2005)等人認為，負重之效果在於可延長肌肉被伸長的時間，增加牽張—縮短循環(Stretch-Shorten Cycle)之作用，協助肌肉向心作期之一至性，致使立定跳遠成績可能提升。本研究期望手持負重訓練能有效提升受試者的立定跳遠成績表現，幫助青少年於有效的八週訓練增進自身的身體能力，提升能力表現。

過去國內外相關文獻針對負重立定跳遠之研究，多半以手持負重能提升立定跳遠動作表現之影響，目前尚無文獻對於負重訓練介入以提升表現進行討論；為有效協助學生改善起跳技巧，增加立定跳遠的距離表現，本研究利用手持負重進行練習，藉由雙手擺動之效果，期望動員更多肌群參與起跳瞬間發力，提升起跳的重心速度。因此本研究設計為期八週之訓練，提供學生找到最適負重，並利用此負重進行立定跳遠之練習，期望在練習之後能達到預期目標，提升空手立定跳遠的成績。

二、研究目的

本研究之目的：一、探討青少年最適負重（分別為 1 公斤、2 公斤、3 公斤、4 公斤、5 公斤）為多少負荷。二、經過八週手持負重訓練後，受試者能否提升立定跳遠的距離。三、探討手持重物跳訓練前後，其立定跳遠動作之運動生物力學參數有何差異。

貳、研究方法及步驟

一、研究對象

本研究受試者是十五名國中田徑隊男性(身高 $173.1 \pm 6.63\text{cm}$, 體重 $59.3 \pm 7.95\text{kg}$), 無手持負重訓練相關之經驗, 但熟悉立定跳遠之動作, 皆為身體健康且無身體外觀上之傷害, 亦無下肢關節之傷患者。研究符合受試者人體實驗之相關規定, 受試者皆在參與實驗前詳讀受試者須知, 清楚知悉研究之目的及實驗流程, 且有權於實驗過中之任何階段退出本研究, 並簽署受試者須知與同意書, 才參與本研究。

二、實驗方法

本研究使用十部 Vicon 紅外線高速攝影機(250Hz)與兩台 Kistler 測力板(1000Hz), 透過國立台灣師範大學體育學系運動生物力學實驗室之啟動訊號至測力板產生同步訊號(Impulse)。本研究在實驗設計上分成三階段, 第一階段:受試者將進行最適負重的立定跳遠測驗, 其中將未負重之所有數據定義為前測資料, 並找到全體受試者最適負重之重量, 進行第二階段訓練。第二階段:以最適負重進行為期八週的訓練。第三階段:經過八週訓練後的未負重試跳, 此稱為後測。

首先, 受試者在進行標準程序的熱身及伸展運動之後, 進行最適負重立定跳遠練習, 分別是無負重、1kg、2kg、3kg、4kg、5kg 的重量負荷。練習時, 請每位受試者先行抽籤(例如 3 公斤, 左右手各 1.5 公斤), 經 3 次成功試跳紀錄成績之後, 休息五分鐘再進行抽籤進行第二次重量試跳(例如 4 公斤, 左右手各 2 公斤), 休息五分鐘再進行抽籤進行第三次重量試跳(例如 5 公斤, 左右手各 2.5 公斤), 休息五分鐘再進行抽籤進行第四次重量試跳(例如 2 公斤, 左右手各 1 公斤), 休息五分鐘, 最後再進行第五次重量試跳(例如無負重)。最後再進行第六次重量試跳(例如 1 公斤, 左右手各 0.5 公斤)。每個重量負荷試跳三次, 取表現最佳的一次定義為本研究的最適負重。負重方式是用雙手握住啞鈴, 前後擺動雙臂至適當時機向前起跳, 在實驗場所進行矢狀面單一次立定跳遠跳躍之動作。座標方面, 水平方向定義為 X 軸, 垂直方向定義為 Y 軸, 另外每位受試者每次試跳之後, 均有五分鐘休息時間, 以免因體能耗損而造成研究誤差。

第二階段為八週手持負重立定跳遠訓練, 訓練課程內容包含原地的擺臂練習、垂直跳以及立定跳遠動作練習, 由簡單的動作開始訓練, 逐步讓學生適應重量負荷且慢慢增加重量, 直至能完成 4 公斤手持負重立定跳遠動作。訓練課程內容參考如表 1:

表 1

八週手持負重立定跳遠訓練課程內容

週數/	垂直	一般	負重	原地	負重
-----	----	----	----	----	----

項目	跳	立定 跳遠	立定跳遠	擺臂	原地 擺臂
第一 週	10x1 (1/0.5)			10	
第二 週			10 x1 (2/1)	10	
第三 週	10x1 (3/1.5)			10	
第四 週			10x2(5) (2/1)	10	
第五 週			10x1 (2/1)		10 (4/2)
第六 週			10x1 (3/1.5)		10 (5/2.5)
第七 週			10 (4/2)		10 (4/2)
第八 週		10x1	10 (4/2)	10x1	

註：反覆次數 x 組數(休息時間/分鐘)

(雙手負荷總重量/單手持負荷重量)，單位：公斤

第三階段實驗為經過八週手持負重訓練後的未負重試跳，受試者將進行連續五次試跳，並選取較佳的三次成功資料進行分析，此稱為後測。本研究實驗最後將未接受訓練的前測資料數據與經過八週訓練後的後測資料，進行比較分析。

三、資料處理

本研究利用 Vicon 動作分析量測系統建立 3D 人體模型，透過 69 顆反光球決定 15 個人體肢段，分別是頭、軀幹、骨盆、右大腿、右小腿、右足掌、右上臂、右前臂、右手掌、左大腿、左小腿、左足掌、左上臂、左前臂、左手掌。反光球軌跡以 Butterworth 4 階零相濾波公式進行資料修勻，以 6Hz 低通濾波 (low-pass filter) 去除雜訊。利用 Visual 3D (C-Motion, Rockville, MD, USA) 處理反光球在空間中的軌跡，各關節角度參數依照 Carden angle 旋轉順序 XYZ 求得並進行運動學分析。

各參數定義與計算，如下：

- (一)起跳距離:受試者起跳瞬間，身體重心與足尖之水平距離。
- (二)落地距離:受試者落地瞬間，身體重心與足跟之水平距離。
- (三)空中飛程:受試者在空中滯留期間之重心水平位移 S ，以公式表達: $S=V_h \cdot T$ 。其中滯空時間 $T=\{V_v+(2gH+V_v^2)^{1/2}\}/g$; V_h 是指起跳瞬間重心水平速度; V_v 是指起跳瞬間重心垂直速度; H 指起跳與落地重心高度差 ; g 是重力加速度。
- (四)起跳與落地重心高度差:受試者在起跳瞬間與落地瞬間，其重心垂直高度之差異。
- (五)起跳瞬間水平速度:指受試者從起跳離地瞬間，其身體重心之水平速度。
- (六)起跳瞬間垂直速度:指受試者從起跳離地瞬間，其身體重心之垂直速度。
- (七)下肢關節角速度(髖、膝、踝):關節角度的定義是使用相鄰兩個肢段的空間相對方位，因此由股骨與骨盆的關係可求出髖關節角度、由脛骨與股骨的關係可求出膝關節角度，由腳掌與脛骨的關係可求出踝關節角度。本研究的各關節角度，在 X 軸方向代表在矢狀面運動，在 Y 軸方向代表在額狀面運動，在 Z 軸方向代表在水平面運動，各關節的定義如下：
 - 1、髖關節角速度：大腿與骨盆間的夾角與時間的關係求出角速度。
 - 2、膝關節角速度：大腿與小腿間的夾角與時間的關係求出角速度。
 - 3、踝關節角速度：小腿與腳掌間的夾角與時間的關係求出角速度。
- (八)起跳推蹬期:本實驗間推蹬時間定義為手腳聯合作用所產生向下及向後作用力量持續增加點，定義為推蹬期的開始，一直到起跳離開測力板期間所經歷之時間定義為推蹬期。
- (九)推蹬期水平衝量:在推蹬期從測力板所獲得之水平衝量。
- (十)推蹬期垂直衝量:在推蹬期從測力板所獲得之垂直衝量。
- (十一)前後方向最大地面反作用力(GRF_x):起跳前水平方向最大地面反作用力，由測力板在起跳過程中獲得；本研究之前後方向最大地面反作用力值經體重標準化後，再進行比較。
- (十二)垂直方向最大地面反作用力(GRF_z):起跳前垂直方向最大地面反作用力，由測力板在起跳過程中獲得；本研究之垂直方向最大地面反作用力值經體重標準化後，再進行比較。

四、統計分析

本實驗經儀器測量所得之運動學與動力學參數，經 Visual 3D 資料處理後，以 SPSS for Windows 24.0 中文版統計套裝軟體，以成對樣本 t 檢定 (Paired-Sample t Test) 進行統計考驗，檢視前測與後測的身高、體重等基本資料，以及前、後測立定跳遠之運動學參數與動力學參數之差異，本研究所有資料的統計顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

參、結果與討論

一、結果

(一) 最適負重

本研究分別讓受試者共十五名練習無負重、1 公斤、2 公斤、3 公斤、4 公斤和 5 公斤的負重立定跳遠；測驗最適負重前，每位受試者先抽籤重量負荷(例如 3 公斤)，五分鐘之後抽籤決定下一個重量負荷(例如無負重、1 公斤、2 公斤、4 公斤和 5 公斤)，每種重量完成三次成功試跳，取其平均值，陸續完成六個不同重量負荷之立定跳遠。

本研究將無負重之試跳成績作為前測，最適負重則是依照每位受試者負重之後三次立地跳遠平均成績之優劣，排序最佳、次佳、第三、第四、第五成績，並依最多達最適負重之重量，定義為本研究之最適負重。全部受試者經過測驗之後，最適負重之重量為 4 公斤，因此本研究選定 4 公斤為受試對象之最適負重。五個負重的立定跳遠距離表現之排序結果，顯示如表 2。

表 2
受試者最適負重測量結果

受試者序號	1 公斤	2 公斤	3 公斤	4 公斤	5 公斤	前測身 高 (公分)	前測體 重 (公斤)	後測身 高 (公分)	後測體 重 (公斤)
受試者 1	5	4	3	2	1	180	79	180	80
受試者 2	4	3	2	1	5	170	46	171	50
受試者 3	5	4	3	1	2	170	57	171	58
受試者 4	4	3	2	1	5	176	60.1	177	62
受試者 5	3	2	1	4	5	158	51.7	163	54
受試者 6	5	4	2	1	3	175	57.4	176	59
受試者 7	5	4	2	1	3	176	58.7	179	63
受試者 8	4	2	1	3	5	177	67	178	79
受試者 9	5	4	3	1	2	175	69.4	176	72
受試者 10	4	3	2	1	5	161	52	161	56
受試者 11	5	3	2	1	4	173	54.3	174	56.5
受試者 12	4	3	2	1	5	173	61.2	175	63

受試者 13	4	3	1	2	5	184	60.7	185	63.5
受試者 14	4	3	2	1	5	177	59	179	59.5
受試者 15	4	2	1	3	5	172	56.5	173	58

(註：1-5 數值代表最適負重排序，1 代表最佳負重，2 代表次佳負重...以此類推至 5 代表第五負重排序。)

由於本研究前後測歷時兩個多月，本研究受試者正值青春期的發育有可能對研究結果產生影響，因此本研究列出受試者接受前後測之身高、體重。如表 3 所示，經成對樣本 t 考驗比較後發現，受試者在前、後測知身高達顯著差異 ($t=4.365, P<.05$)，而無負重之體重亦達顯著差異 ($t=4.063, P<.05$)。結果顯示本研究之青少年前測時的身高與體重，在兩個月後有顯著成長。

表 3

受試者前測與後測之基本資料分析

	年齡(年)	身高(公分)	體重(公斤)	BMI
前測	14.71(0.87)	173.1(6.63) *	59.3(7.95) *	19.8(2.03)
後測	14.97(0.87)	174.5(6.24) *	62.2(8.61) *	20.4(2.29)

* $p < .05$

(二) 運動學和動力學參數分析

本研究結果呈現之運動學參數為跳遠距離、起跳距離、空中飛程、落地距離、起跳瞬間重心水平速度、起跳瞬間重心垂直速度和下肢關節(踝、膝、髖)最大角速度，如表 4 所示。

表 4

立定跳遠表現之運動學參數結果

運動學參數	前測	後測
跳遠距離 (m) *	2.06(0.20)	2.43(0.19)
起跳重心水平速度 (m/s) *	3.05(0.29)	3.41(0.23)
起跳重心垂直速度 (m/s)	1.84(0.21)	1.76(0.08)
起跳距離 (m)	0.56(0.07)	0.60(0.071)
空中飛程 (m) *	1.25(0.12)	1.49(0.111)
落地距離 (m) *	0.24(0.05)	0.33(0.037)
起跳落地重心高度差 (m) *	0.32(0.020)	0.39(0.020)

踝關節最大角速度 (rad/s) *	10.27(1.52)	13.01(1.17)
膝關節最大角速度 (rad/s)	11.94(1.16)	12.22(1.44)
髖關節最大角速度 (rad/s) *	6.54(0.78)	8.34(0.66)

* $p < .05$

立定跳遠距離在無負重時測試為 2.06 公尺，經過八週訓練後，在無負重的情況下測試進步為 2.43 公尺，受試者後測的結果相較於前測增加 37 公分，在成績表現較前測有顯著進步（約為 18%）。前測起跳重心水平速度，無負重立定跳遠為 3.05 公尺/秒，而後測起跳重心水平速度為 3.41 公尺/秒，較前測有顯著進步 ($P < .01$)。空中飛程約佔立定跳遠距離的 55%-66% 左右，對於跳遠距離具有較大幅度之影響，前測無負重空中飛程距離為 1.25 公尺，後測無負重空中飛程距離為 1.49 公尺，前、後測達顯著差異，後測較前測有顯著進步 ($P < .01$)。前測無負重落地距離為 0.24 公尺，後測無負重落地距離為 0.33 公尺，後測較前測有顯著進步 ($P < .01$)。起跳落地重心高度差部份，前測無負重為 0.32 公尺，經過八週訓練後起跳重心高度差增大，後測無負重增加為 0.39 公尺，前後測達顯著差異 ($P < .01$)。下肢踝關節最大角度，前後測達顯著差異。髖關節最大角度，前後測達顯著差異 ($P < .01$)，經過八週訓練後，下肢踝關節與髖關節角速度與前測相比較，皆顯著提升（如圖 1、2 所示）。

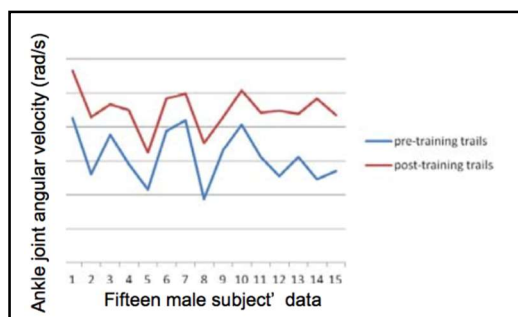


圖 1 下肢踝關節最大角速度

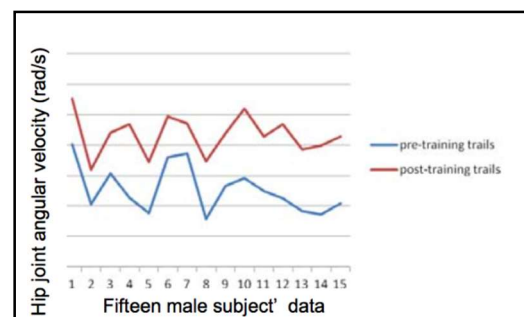


圖 2 下肢髖關節最大角速度

動力學參數，本研究結果呈現起跳推蹬期、起跳水平衝量、起跳垂直衝量、前後方向最大地面反作用力、垂直方向最大地面反作用力，如表 5 所示：

表 5

立定跳遠表現之動力學參數結果

動力學參數	前測	後測
起跳推蹬期 (s)	0.43(0.05)	0.42(0.02)
起跳水平衝量 (Ns/kg) *	2.13(0.28)	2.58(0.29)
起跳垂直衝量 (Ns/kg)	4.09(0.56)	4.45 (0.46)

前後最大地面反作用力 (N/kg) *	10.13(0.91)	11.83(1.49)
垂直最大地面反作用力(N/kg)	20.13(1.44)	21.10(1.86)

* $p < .05$

在起跳水平衝量部分，在前後測無負重立定跳遠分別為 2.13 Ns/kg 與 2.58 Ns/kg，前後測達顯著差異($P < .01$)。在地面反作用力部分，本研究是將受試者雙足之地面反作用力分開來收集(雙足分別立於不同測力板上)，但資料呈現是將雙足產生之地面反作用力一起計量。在前後方向地面反作用力，前測無負重為 10.13 N/kg，而後測無負重則為 11.83 N/kg，前、後測無負重彼此間達顯著差異($P < .01$)。

二、討論

(一) 最適負重

本研究之最適負重為四公斤與其他研究之結果有些差異；早期 Ebert (1963) 讓受試者手持 2.5kg 重物進行立定跳遠，結果發現，每個單次跳的成績增加了 15-20 公分。Minetti and Ardigo (2002) 先用電腦模擬來進行跳遠選手跳躍動作成績之預測，實驗發現，當選手起跳手持負重 6 公斤時，能夠對重心增加約 2% 的垂直速度。當重量增加到 10-12 公斤時，成績表現開始下降。Minetti 再找四名受試者來進行手持重物的跳躍動作測試，負重在 5-6 公斤左右時，會增加 5-7% 的距離。Butcher and Bertram (2004) 在實驗室將受測者分為四組，嘗試無負重跳、持重物 1.4 公斤、2.3 公、3.6 公斤，結果發現男選手負重後最多可增加 25 公分，女選手負重後最多可增加 16 公分。Chenfu Huang 等人(2005)的研究中發現，經實驗設計之後，適當的負重能增加大學男生單次立定跳遠的距離，而最適負重介於 5-6 公斤之間。本研究之受試對象為國中學生，正值青春發育階段，生理發展尚未完全成熟，所有受試者的最適負荷重量，依最多達最適負重之重量，定義為本研究之最適負重。然而，其中編號五號的受試者是所有受試者中身材最嬌小，四公斤顯然不是其最適負荷重量，然而經過未負重與手持負重的測試發現，受試者從 1.58 公尺進步為 2.02 公尺，經過四公斤的手持負重後受試者進步 44 公分，研究中若針對五號受試者，以其最適負重三公斤負荷進行測試，想必能更有效率地提升立定跳遠距離。本研究與其他研究相比(其他研究受試者多為大專學生)，最適負荷重量較輕一些。另一個面向討論此問題，Butcher and Bertram (2004) 的研究中其受試者為進行訓練之後測。表示負重立定跳遠對於新手而言有提升。本研究發現經過八週訓練後，四公斤負重在後測時或許已經不是這些受試者的最適負重。

(二) 負重立定跳遠的正面影響

本研究得以發現經過八週的手持負重訓練，受試者於起跳距離、落地距離、起跳水平速度、起跳重心高度差、水平與垂直衝量和前後、垂直地面反作用力等參數皆有顯著的提升。負重對於落地距離有明顯的助益，造成此一結果，推論為

手持負重訓練提升上半身的穩定度，由於身體負重與身體平衡受到改變，落地瞬間的身體姿勢因而產生了變化。但也有可能因為經過負重訓練，提升受試者產生更大的身體控制能力，使得下半身在落地過程中抬高，以延緩落地，而產生較優異的跳遠距離。手臂上擺相對於身體能產生較大的垂直速度，然而擺動的方向與速度將能帶動身體拋出去的位置，經過負重訓練後，受試者的肌肉力量被改變，另一方面透過多次的練習後，受試者能對於立定跳遠的動作有更熟練之表現，在起跳瞬間的發力與空中的動作控制，能幫助提升更好的距離表現。

唐瑞顯、黃長福(2007)研究發現負重後受試者的起跳推蹬期會隨之增加，然而本研究經過八週訓練後，再進行後測卻發現與前測無負重的表現無顯著差異，造成的原因可能為，經過八週訓練後，受試者有疲勞介入或重量負荷適應之情形，所以在後測無負重的狀態下，相較於前測無負重在起跳推蹬期的部分無顯著提升。倘若於後測給予更重之重量負荷，推論結果將與過去研究相符合。

(三) 負重立定跳遠的負面影響

唐瑞顯、黃長福(2007)研究指出，在空中飛程階段，超負重與無負重、超負重與輕負重有達顯著差異，而超負重對於空中飛程有很大的負面影響。推論是因重量增加造成起跳瞬間垂直速度下降，導致滯空時間縮短，間接造成空中飛程時間縮短，本研究之最適負重為四公斤，遠低於該研究之最大負重(12 公斤)，因此亦不影響空中飛程的時間，本研究於後測實驗發現，由於受試者起跳水平速度已提升，空中飛程亦隨之提升。重心垂直速度是決定滯空時間的關鍵因素，本研究之實驗經過八週手持負重訓練後，受試者的重心垂直速度下降，可能造成的原因為受試者平均全身的重量增加 6.6%，因此在重心垂直速度有較大的影響。

肆、結論與建議

一、結論

本研究受試對象均為男性國中生，研究中發現手持負重的重量負荷約佔受試者體重的 6.67%，青少年的手持負重之最適負重為四公斤。本研究之設計，經過八週手持負重訓練之後，能顯著提升青少年立定跳遠之距離(進步約 18%)，起跳重心水平速度、空中飛程、落地距離、起跳落地重心高度差、水平方向最大地面反作用力，亦都顯著提升。本研究結果顯示經過八週手持負重訓練後，能有效提升立定跳遠之表現。

二、建議

本研究受試對象尚處於成發育階段，由於研究僅招募十五名受試者列為實驗組，無對照組可驗證八週訓練後，造成立定跳遠距離提升的原因是否因為中學生成長發育之因素而產生影響，期望未來研究可以針對相關議題進一步釐清與探討。邀請不同年齡層之受試者參與實驗研究，比較其訓練效果及立定跳遠的成績表現。

參考文獻

- 唐瑞顯, & 黃長福. (2007). 神話或是史蹟? 負重立定跳遠之運動生物力學分析. *大專體育學刊*, 9(3), 79-88.
- Almuzaini, K. S., & Fleck, S. J. (2008). Modification of the standing long jump test enhances ability to predict anaerobic performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1265-1272.
- Ashby, B. M., & Delp, S. L. (2006). Optimal control simulations reveal mechanisms by which arm movement improves standing long jump performance. *Journal of biomechanics*, 39(9), 1726-1734.
- Butcher, M. T., & Bertram, J. E. (2004). Jump distance increases while carrying handheld weights: Impulse, history, and jump performance in a simple lab exercise. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 285-297.
- Gardiner, E. N. (1904). Further notes on the Greek jump. *The Journal of Hellenic Studies*, 24, 179-194.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., & ROSENSTEIN, R. M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 22(6), 825-833.
- Harris, H. (1972). The method of deciding victory in the pentathlon. *Greece & Rome*, 19(1), 60-64.
- Kyle, D. G. (1990). Winning and watching the Greek pentathlon. *Journal of Sport History*, 17(3), 291-305.
- Lenoir, M., De Clercq, D., & Laporte, W. (2005). The “how” and “why” of the ancient Greek long jump with weights: A five-fold symmetric jump in a row? *Journal of sports sciences*, 23(10), 1033-1043.
- Minetti, A. E., & Ardigo, L. P. (2002). Biomechanics: Halteres used in ancient Olympic long jump. *Nature*, 420(6912), 141-142.
- Tang, R.-h., & Huang, C.-f. (2008). *BIOMECHANICS OF STANDING LONG JUMP WITH HADNHELD WEIGHT*. Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Wu, W. F., Porter, J. M., & Brown, L. E. (2012). Effect of attentional focus strategies on peak force and performance in the standing long jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1226-1231.