

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

運動競技學系

碩士論文

Department of Athletic Performance

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

誘發式爆發力訓練對三級跳遠運動表現影響

之個案分析

The Effect of Post-Activation Potentiation Power Training on

Triple Jump Performance- Case Study

黃俊穎

Wong Chun Wing

指導教授：蔡於儒 博士

Advisor: Yu-Ju Tsai, Ph.D.

中華民國 109 年 7 月

July 2020

誘發式爆發力訓練對三級跳遠運動表現影響 之個案分析

摘要

本研究旨在瞭解透過誘發式爆發力訓練後，所引起的活化後增益作用對三級跳遠運動表現的影響。當中主要分析三級跳遠過程中各階段的速度變化、重心高度變化、觸地時間、膝蓋角度、起跳角度等生物力學參數與成績之關連。本研究以個案分析進行，對象為現役香港田徑隊三級跳遠代表。透過八週誘發式爆發力訓練並進行前中後之爆發力測試及三級跳遠測試，以Vmaxpro數據收集感應器測量反向跳（CMJ）、蹲跳（SJ），三臺 Smartspeed 紅外線光閘（Fusion Sport, Queensland, Australia）測量起跳前助跑速度變化，以及兩臺每秒300張畫面的高速攝影機（JVC）拍攝三級跳遠動作，並利用Kwon 3D 以14個肢段、21個關節點的人體模型作二度空間影片分析，以取得相關之參數。相關研究結果如下：（一）誘發式爆發力訓練可產生活化後增益作用的長期適應效果，提升爆發力。（二）三級跳遠各階段之間的比例差異不能太大，避免影響三級跳遠表現。（三）水平速度是影響三級跳遠成績的一個關鍵因素，但同時需配合相應的爆發力，爆發力不足時利用較高水平速度進行三級跳遠會對成績產生負面影響。（四）跨步跳階段的水平速度維持為三階段中最關鍵因素，起跳瞬間水平速度流失較少可產生各階段較佳距離，藉由誘發式爆發力訓練有助改善單足跳與跨步跳之間的起跳效率。（五）誘發式爆發力訓練改善三級跳遠觸地時間，減少觸地時膝關節的壓縮幅度，改善下肢勁度，提升水平速度維持能力。

關鍵詞：活化後增益作用、運動生物力學、運動表現

The Effect of Post-Activation Potentiation Power Training on Triple Jump Performance- Case Study

Abstract

This study investigated the effect of Post-Activation Potentiation (PAP) on Triple Jump Performance, analyzed the relationship between the triple jump distance and the biomechanics related data which included the changes of velocity, height of center mass, ground contact time, knee angle, takeoff angle etc. This study used case study research, the subject is a Triple jump athlete of Hong Kong Athletics Team. There was 8 week's power training program by PAP method, and measured the power and triple jump performance before, during and after the training program. Vmaxpro Sensor was used to record the result of Countermovement Jump and Squat Jump, 3 Timing Gates (Smart Speed) were used to record the change of velocity before takeoff and 2 digital high speed camera (JVC) capable of capturing 300 Hz were used to record the triple jump movement. Relevant parameters were collected by a two-dimensional analysis of the videos which based on the body model consisting of 14 limb segments and 21 joints. The results included: (1) The explosive force development can be induced by long term Post-Activation Potentiation Power Training. (2) A large of difference between each phase ratio caused a negative effect on triple jump performance. (3) Horizontal velocity is one of the key factors that affect the triple jump result, but also need to consider the ability of generate power. A high horizontal velocity with low power ability were caused a negative effect on triple jump. (4) The maintenance of horizontal velocity on Step phase was the most critical, PAP Power Training improved the efficiency of touch down and takeoff on Step phase. (5) PAP Power Training increased the leg stiffness, enhanced the maintenance of horizontal velocity.

Keywords: Post-Activation Potentiation, Sports Biomechanics , Sports Performance

目次

中文摘要	I
英文摘要	II
目次	III
表次	V
圖次	VI
第壹章 緒論	1
第一節 前言	1
第二節 研究動機	2
第三節 研究目的	2
第四節 研究範圍與限制	3
第五節 名詞解釋	3
第貳章 文獻探討	5
第一節 三級跳遠之運動生物力學因素	5
一、三級跳遠的組成	5
二、分析三級跳遠的生物力學參數	6
三、三級跳遠各階段的比例	8
四、三級跳遠各階段的步幅與水平速度	10
五、膝蓋角度與三級跳遠運動表現	11
六、第一節結論	12
第二節 三級跳遠之爆發力訓練探討	12
一、三級跳遠與爆發力之關連	12
二、複合式訓練與運動表現的影響	14

三、活化後增益作用的機制.....	16
第三節 文獻總結.....	17
第參章 研究方法與步驟.....	18
第一節 研究對象與實驗要求.....	18
第二節 實驗時間與地點.....	25
第三節 實驗儀器與設備.....	25
第四節 實驗場地佈置及說明.....	26
第五節 實驗流程.....	26
第六節 資料處理與分析.....	27
第肆章 結果.....	28
第一節 訓練前、後檢測.....	28
第二節 訓練前、後三級跳遠三階段比例檢測.....	30
第三節 訓練前、後三級跳遠助跑速度變化.....	31
第四節 訓練前、後三級跳遠速度變化.....	32
第五節 訓練前、後起跳角度、膝關節角度與觸地時間變化.....	35
第伍章 討論.....	39
第一節 訓練前、後檢測結果討論.....	39
第二節 訓練前、後三級跳遠三階段比例檢測結果討論.....	40
第三節 訓練前、後三級跳遠助跑速度檢測結果討論.....	41
第四節 訓練前、後三級跳遠速度變化檢測結果討論.....	42
第五節 訓練前、後起跳角度、膝關節角度與觸地時間檢測結果討論.....	45
第陸章 結論與建議.....	50
第一節 結論.....	50
第二節 建議.....	51

參考文獻	52
附錄一、三級跳遠檢測參數總結表	57
附錄二、三級跳遠檢測參數整合圖	58



表次

表 2-1 三級跳遠生物力學參數與定義	6
表 3-1 受試者基本資料	18
表 3-2 誘發式爆發力訓練內容	19
表 3-3 誘發式爆發力訓練安排	20
表 4-1 爆發力檢測	29
表 4-2 三級跳遠檢測	29
表 4-3 三階段距離、比例與比例分配技術類型	30
表 4-4 起跳瞬間水平速度與垂直速度	34
表 4-5 踏板瞬間水平速度	35
表 4-6 水平速度流失與垂直轉換率	35
表 4-7 觸地與最大膝關節角度	37
表 4-8 觸地時間	38

圖次

圖 2-1 三級跳遠各階段的距離、官方距離、實際距離	6
圖 2-2 影響三級跳遠距離的各個生物力學參數的理論模型	8
圖 2-3 力量-時間曲線圖	14
圖 2-4 力量-速度曲線	17
圖 3-1 四分之一蹲舉 (Quarter Squat)	21
圖 3-2 落下跳至高箱 (Drop jump to Box).....	21
圖 3-3 單腳推舉 (Single Leg Press).....	22
圖 3-4 槓鈴兩步登階 (Barbell 2 Step-ups)	22
圖 3-5 俯臥腿彎舉 (Single Leg Curl)	22
圖 3-6 臀推 (Hip Thrust)	23
圖 3-7 欄架跳 (Hurdles Jump).....	23
圖 3-8 滑輪訓練機髖屈曲 (Hip Flexion)	23
圖 3-9 槓鈴臥推 (Barbell Chest Press)	24
圖 3-10 桿鈴仰臥起坐推 (Sit-up with Barbell press)	24
圖 3-11 爆發力登階 (Step-ups)	24
圖 3-12 單足跳箱 (Hop to box)	24
圖 3-13 落下跳至欄架跳 (Drop Jump to Hurdles Jump).....	25
圖 3-1 場地佈置圖	26
圖 3-2 Kown3D 動作分析系統座標點	27
圖 4-1 三階段比例分配	31
圖 4-2 三級跳遠起跳前水平速度	32
圖 4-3 三級跳遠三階段水平速度	33
圖 4-4 起跳瞬間水平速度與垂直速度	34
圖 4-5 起跳角度變化	36

圖 4-6 觸地時膝關節角度變化.....	37
圖 4-7 觸地時間變化	38
圖 5-1 三次檢測起跳前助跑速度比較	41
圖 5-2 三次檢測三階段水平速度	42
圖 5-3 三次檢測三階段瞬間速度	44
圖 5-4 各階段之間的起跳瞬間水平速度差異	44
圖 5-5 三次檢測三跳起跳角度	45
圖 5-6 三次檢測三階段膝關節角度	47
圖 5-7 三次檢測三階段觸地時間	48
圖 5-8 活化後增益作用理論模型	49



第壹章 緒論

本章節的敘述包含第一節、前言；第二節 研究動機；第三節 研究目的；第四節 研究範圍與限制；第五節 名詞解釋；各項主題之內容分述如下：

第一節 前言

三級跳遠為奧運會正式的田徑項目，其成績計算為三個階段的跳躍距離之總和，分別為單足跳（Hop）、跨步跳（Step）與跳躍（Jump）。而每階段的距離亦可分為起跳距離（從起跳腳的腳趾到運動員身體重心的水平距離）、飛行距離（身體重心水平移動的距離）和著陸距離（觸地瞬間時，身體重心與觸地腳腳趾的水平距離）。這些距離受到各種生物力學因素影響，例如起跳速度、起跳角度等等，而根據 Hay 與 Miller 的理論模型，每一個生物力學因素亦可受到另一個生物力學因素所影響（Hay & Miller, 1985）。

三級跳遠在第一階段（單足跳）全力以赴的表現可能會對後兩個階段的距離產生負面影響和減少三級跳遠的總距離。如在第一階段（單足跳）過度保守亦可能導致距離的損失，令後兩個階段中無法恢復，影響三級跳遠的總距離。因此，每個起跳階段的力量分佈都起了重要作用（Hay, 1999）。

然而，每次支撐腳與地面接觸都會導致垂直和水平速度降低（Eissa, 2014），所以運動員在助跑上的水平速度也有要求，令第三階段起跳時也能維持一定的水平速度。但當水平速度越高時，運動員所需要越大的力量來協調動作，所以水平速度和力量是三級跳遠其中兩個影響成績的重要因素（Allen, Yeadon, King, 2016）。因此，維持三個階段過程中的水平速度十分重要，故三級跳遠每一個階段的觸地過程是影響三級跳遠成績的重要關鍵因素。當中下肢的肌肉骨骼結構交替地存儲並釋放彈性能量可藉由“彈簧-質量模型”來探討下肢運動的生物力學現象，該模型已被廣泛用於描述和研究彈跳和跑步過程中，下肢對彈性能量的存儲和釋放（Morin, Dalleau, Kyröläinen, Jeannin & Belli, 2005）。此模型以勁度來評估最大地面反作用力與最大腿部壓縮力之比，較高的下肢勁

度已被證明對觸地後接跳的表現十分重要，其可理解為下肢抵抗屈曲的能力，而爆發力訓練與勁度的提升有著正面的顯著關係（Turner & Jeffreys，2010）。

因此，三級跳遠是一項要求爆發力的項目，運動員普遍會進行不同類型的爆發力訓練，例如重量訓練、增強式訓練、振動訓練等。而近年有研究指出複合式訓練能改善爆發力的表現，當中誘發出 II 型肌纖維（快縮肌）的活化後增益作用，對爆發力表現產生影響（Gotas，Maszczyk，Zajac，Mikołajec & Stastny，2016）。本研究主要探討藉由誘發式的爆發力訓練對三級跳遠技術的影響。

第二節 研究動機

三級跳遠透過助跑階段獲得的水平速度，會於三個階段中的每一次地面接觸而產生水平速度的流失。因此，三級跳遠運動員面臨的挑戰是如何在三個階段中重複起跳與觸地中保持水平的推進力。而提升爆發力是三級跳遠運動員的訓練重點之一，訓練方法亦有不同方式，而複合式訓練結合了重量訓練與增強式訓練。過去之三級跳遠相關研究，主要注重研究技術方面對三級跳遠表現的影響為主，極少數研究生理上的變化對技術表現的影響。

因此，本研究擬藉由分析三級跳遠各階段的技術，並透過誘發式爆發力訓練分析與探討三級跳遠技術的影響，為教練與運動員提供一個技術表現上的評估準則和訓練安排上的參考資料。

第三節 研究目的

研究的目的可分為以下三點：

- 一、三級跳遠各起跳階段的速度變化與比例對成績表現的影響
- 二、三級跳遠各起跳階段的觸地時間、膝蓋角度與水平速度流失的關係
- 三、誘發式爆發力訓練對三級跳遠各起跳階段表現的影響

第四節 研究範圍與限制

- 一、研究範圍：個案研究進行
- 二、將針對三級跳遠各起跳階段的水平速度、支撐腳觸地時間、膝蓋角度、水平速度流失率、各階段的距離等生物力學參數作分析，同時制定誘發式的爆發力訓練，並分析訓練前後參數之差異性。
- 三、研究的限制為，研究並非於比賽中拍攝，受試者知身體狀態與實際比賽表現可能有差異，而且訓練當中亦有其他因素可影響運動表現，令實驗結果不準確，因此在研究方法上的設計需要盡量避免不穩定因素而影響實驗結果。

第五節 名詞解釋

- 一、誘發式爆發力訓練：透過複合式訓練所誘發出活化後增益作用的訓練手段。
- 二、離心利用率：計算方法為反向跳（CMJ）高度/深蹲跳（SJ）高度。
- 三、單足跳（Hop）：三級跳遠的第一階段起跳（第一步）。
- 四、跨步跳（Step）：三級跳遠的第二階段起跳（第二步）。
- 五、跳躍（Jump）：三級跳遠的第三階段起跳（第三步）。
- 六、距離：從起跳版到第三階段（跳躍）落地後在沙子上最近起跳方向的標之距離。
- 七、實際距離：從起跳時的腳尖位置到第三階段（跳躍）落地後在沙子上最近起跳方向的標之距離。
- 八、階段距離：每個階段（單足跳、跨步跳、跳躍）從腳尖到下一個腳尖所測量出的距離長度。
- 九、相對距離：各個階段（單足跳、跨步跳、跳躍）相對於有效距離的百分比長度。
- 十、水平速度：各個階段（單足跳、跨步跳、跳躍）的距離除以時間（單位：m/s）。

- 十一、 踏板瞬間重心水平速度：各個起跳階段觸地瞬間的重心水平速度，重心位置透過人體各肢段與關節點所計算。
- 十二、 起跳瞬間重心水平速度：各個起跳階段腳尖離地瞬間的重心水平速度，重心位置透過人體各肢段與關節點所計算。
- 十三、 水平速度流失率：起跳瞬間重心水平速度與踏板瞬間重心水平速度之差值（單位：m/s）。
- 十四、 起跳角度：起跳時身體重心相對於水平面的角度。
- 十五、 膝蓋角度：大腿和小腿之間的角度，分為觸地時膝關節角度與最大膝關節角度。
- 十六、 觸地時膝關節角度：觸地瞬間大腿和小腿之間的角度
- 十七、 最大膝關節角度：觸地時膝關節最大的彎曲度
- 十八、 觸地時間：支撐腳腳跟着地至支撐腳腳尖離地的時間。
- 十九、 單足跳主導技術（Hop dominated）：單足跳階段的百分比最少大於跳躍階段2%以上。
- 二十、 跳躍主導技術（Jump dominated）：跳躍階段的百分比最少大於單足跳階段2%以上。
- 二十一、 均衡技術（Balanced）：單足跳階段與跳躍階段之百分比都不會互相大於至少2%以上。
- 二十二、 五級跳：六步助跑起跳，第一步為單足跳，其後四步為跨步跳。

第貳章 文獻探討

本章節關於三級跳遠之文獻探討，主要針對兩個研究方向加以分析討論，包括：

研究一：探討三級跳遠之運動生物力學因素，當中包括三級跳遠組成、分析三級跳遠的生物力學參數、三級跳遠各階段的比例、三級跳遠各階段的步幅與水平速度、膝蓋角度與三級跳遠運動表現；

研究二：三級跳遠之爆發力訓練探討，當中包括三級跳遠與爆發力之關連、複合式訓練之機制。

第一節 三級跳遠之運動生物力學因素

一、三級跳遠的組成

三級跳遠是透過助跑以及三個跳躍階段所組成，而成績的計算是三個跳躍階段（單足跳、跨步跳、跳躍）的距離總和，總距離成績又可分為官方距離和實際距離，其定義如下（圖 2-1）：（Hay，1999）

距離：從起跳版到第三階段（跳躍）落地後在沙子上最近起跳方向的標之距離。

實際距離：從起跳時的腳尖位置到第三階段（跳躍）落地後在沙子上最近起跳方向的標之距離。

單足跳的距離：從運動員的起跳腳腳尖至跨步跳階段起跳的起跳腳腳尖之間的水平距離

跨步跳的距離：從跨步跳起跳的起跳腳腳尖至跳躍階段起跳腳腳尖之間的距離

跳躍的距離：從跳躍階段起跳的起跳腳腳尖至沙子中的標記之間的水平距離。

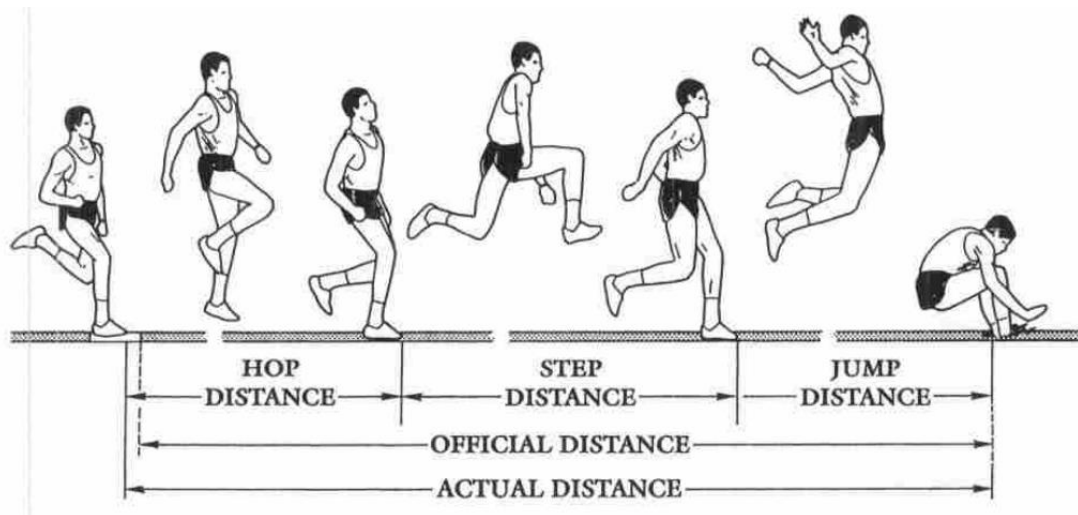


圖 2-1 三級跳遠各階段的距離、官方距離、實際距離 (Hay, 1999)

二、分析三級跳遠的生物力學參數

三級跳遠的距離成績從三個跳躍階段的距離所組成，根據 Hay 與 Miller 的理論模型，每個跳躍階段包含各個生物力學參數 (圖 2-2)，例如起跳瞬間水平速度，起跳瞬間垂直速度，起跳角度，觸地時間，平均水平力量等等 (Hay & Miller, 1985)。而根據 2017 年和 2018 年國際田徑聯合會 (IAAF) 所發出的兩份生物力學報告 - 「2017 年的世界田徑錦標賽 - 男子三級跳遠生物力學報告」和「2018 年世界室內田徑錦標賽 - 男子三級跳遠生物力學報告」中，所測量的生物力學參數與定義如下 (表 1-1)：

(Tucker, Nicholson, Cooke & Bissas, 2017; Tucker & Bissas, 2018)

表 2-1 三級跳遠生物力學參數與定義

參數	定義
距離 (Official distance)	官方公佈的距離結果
實際距離 (Effective distance)	從起跳時的腳尖位置到第三階段 (跳躍) 落地後在沙子上最近起跳方向的標之距離
起跳損失 (Take-off loss)	從起跳腳腳尖到起跳版之間的距離
步距 (起跳前倒數一步和倒數第二步) (Step length, 2nd last and last)	以腳尖到下一個腳尖測量起跳前倒數一步和倒數第二步距離長度

step before take-off board)	
階段距離 (單足跳, 跨步跳, 跳躍) (Step length)	從腳尖到下一個腳尖所測量出每個階段 (單足跳, 跨步跳, 跳躍) 的距離長度
相對階段距離 (Relative step length)	各個階段 (單足跳、跨步跳、跳躍) 相對於實際距離的百分比長度
速度 (Velocity, 2nd last and last step before takeoff)	起跳前倒數一步和倒數第二步的身體重心水平速度, 單足跳、跨步跳、跳躍的起跳瞬間水平速度同樣被測量
垂直速度 (Vertical velocity)	單足跳、跨步跳、跳躍起跳瞬間的身體重心垂直速度
水平速度的變化 (Change in horizontal velocity)	單足跳、跨步跳、跳躍起跳瞬間水平速度的差異
觸地時間 (Contact time)	單足跳、跨步跳、跳躍階段觸地支撐時所需的時間
軀幹角度 (Trunk angle)	軀幹相對於水平面的角度, 單足跳、跨步跳、跳躍觸地與起跳時測量的軀幹垂直位置
起跳角度 (Take-off angle)	起跳時身體重心相對於水平面的角度
膝蓋角度 (Knee angle)	大腿和小腿之間的角度, 測量觸地時角度的最小值。
擺動腿大腿角度 (Thigh angle of swing leg)	從水平方向測量起跳時擺動腿大腿角度
擺動腿的大腿角速度 (Thigh angular velocity of swing leg)	從起跳觸地開始時擺動腿大腿的平均角速度
重心降低 (CM lowering)	起跳前一步的身體重心高度與各階段觸地時最低的身體重心高度之減值
髖關節角度 (Hip angle)	軀幹與大腿之間的角度, 測量跳躍階段觸地時的髖關節角度
落地距離 (Landing distance)	跳躍階段觸地時, 身體重心與腳跟的距離
落地損失 (Landing loss)	跳躍階段觸地時腳跟的位置與完成落地動作最終進行測量的位置之間的距離

本研究將會測量部份關鍵的生物力學參數並分析之間的關連與重要性, 並透過提升專項爆發力研究各生物力學參數之轉變。

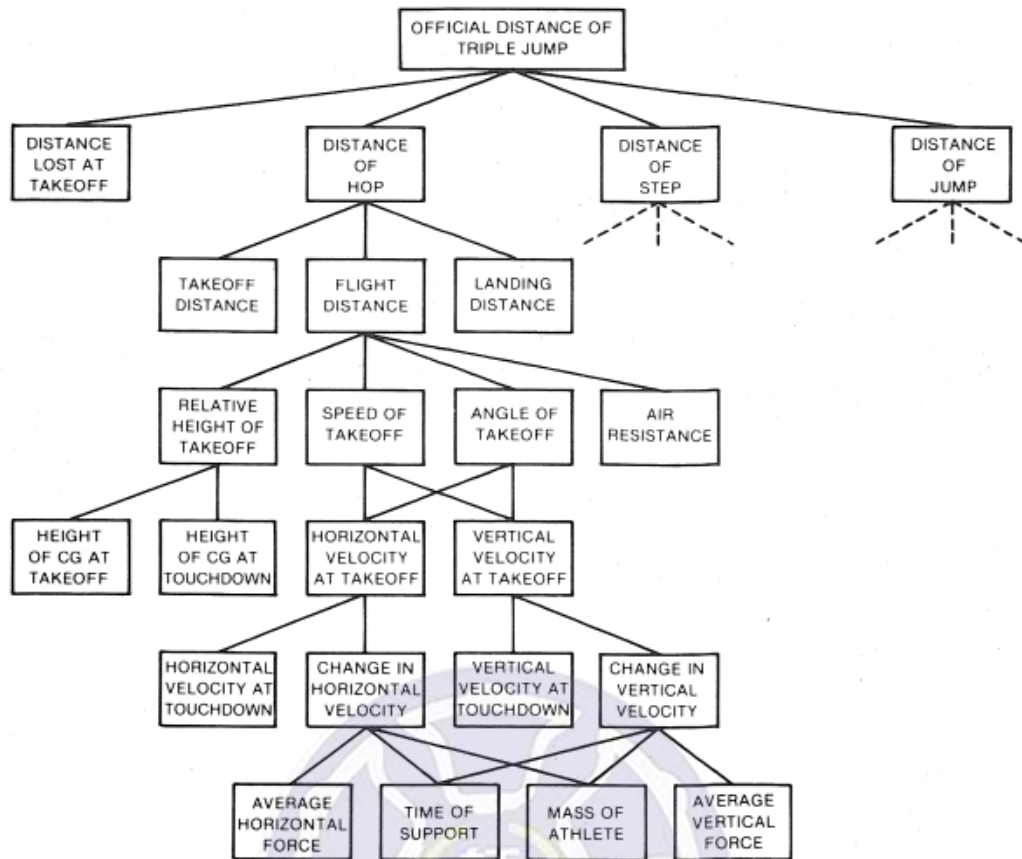


圖 2-2 影響三級跳遠距離的各個生物力學參數的理論模型

三、三級跳遠各階段的比例

從生物力學角度來看，三級跳遠是最複雜的田徑項目之一，當中包括助跑階段和連續三個跳躍階段。其成績表現主要取決於助跑速度和三個階段之間的最佳比例

(Hay, 1992; Hay & Miller, 1985; Grahman-Smith & Lees, 1994; Miladinov & Bonov, 2004; Coh & Kugovnik, 2011)。

三個階段的比例分配技術根據單足跳階段和跳躍階段的百分比被定義為三種：(Hay, 1992)

單足跳主導技術 (Hop dominated)：單足跳階段的百分比最少大於跳躍階段2%以上。

跳躍主導技術 (Jump dominated)：跳躍階段的百分比最少大於單足跳階段2%以上。

均衡技術 (Balanced)：單足跳階段與跳躍階段之百分比都不會互相大於至少2%以上。

以 2017 年的世界田徑錦標賽 - 男子三級跳遠果為例，分別以單足跳主導技術、跳躍主導技術、均衡技術的 DURANONA、TAYLOR、CLAYE 的三階段比例為：(單足跳) 37.5%；32.8%；34.4%、(跨步跳) 29.1%；31.3%；30%、(跳躍) 33.4%；36%；35.5% (Tucker, Nicholson, Cooke & Bissas, 2017)。

單足跳主導技術 (Hop dominated) 的優點在於單足跳起跳時水平速度較大，此時產生較大垂直速度可令移動距離增加，相比於跳躍階段產生較大垂直速度更為有利 (Allen, King & Yeadon, 2016)。研究指出，當技術優化時，每次地面接觸階段的水平速度流失由該階段的起跳瞬間垂直速度而定，很大程度上與著地時的垂直速度無關 (Allen, King & Yeadon, 2013)。因此，單足跳主導技術不會引致過多水平速度流失，但由於單足跳後觸地時的垂直速度較高，限制了跨步跳起跳時的垂直速度，限制了該階段的移動距離。然而，在低垂直速度和相對高水平速度的跨步跳階段，仍然能夠在跳躍階段獲得相對大的移動距離。跳躍主導技術 (Jump dominated) 則透過限制前兩個階段的起跳瞬間垂直速度並保持足夠高的水平速度，使跳躍階段能夠得到較大的移動距離 (Allen, King & Yeadon, 2016)。

然而，均衡或單足跳主導的技術可能難以在較高的助跑水平速度下起跳，這是與較高水平速度下進行單足跳階段，並同時產生高垂直速度及控制動作的困難相關 (Herzog, 1986; Allen, King & Yeadon, 2016)。在 2017 年的世界田徑錦標賽 - 男子三級跳遠項目中，以跳躍主導技術的 TAYLOR, PONTVIANNE 和 WU 起跳前一步的水平速度達到平均 9.76m/s-10.45m/s 之間，而其他使用均衡或單足跳主導技術的運動員起跳前一步的水平速度在平均 9.40m/s-9.95m/s 之間 (Tucker, Nicholson, Cooke & Bissas, 2017)，可見跳躍主導技術能以較高的助跑水平速度起跳。

現代研究當中指出，單足跳主導技術或均衡技術為最佳三級跳遠各階段比例分配技術，同時現時世界級運動員也以這兩種技術為主導。然而，三級跳遠世界紀錄保持者 Jonathan Edwards (18.29 米) 以及現時成績最接近世界紀錄的 Christian Taylor

(18.21 米) 卻是使用跳躍主導技術。因此，三級跳遠的技術表現可能亦受到運動生理相關的因素所影響。透過提升運動員專項爆發力，再從生物力學角度分析三級跳遠運動表現的差別，是一個值得探討研究的方向。

四、三級跳遠各階段的步幅與水平速度

三級跳遠成績主要受到速度相關的參數影響。研究指出，跳遠拋物線的射程與起跳瞬間身體重心速度相關 (Townend, 1984; Graham-Smith, 1999)，根據1988年Hay和Reid提出的跳遠確定性模型 (The Deterministic Model of the Long Jump)，起跳時身體重心的速度和投射角度取決於觸地時水平速度和垂直速度之間的相互作用，以及起跳過程中的變化 (Hay & Reid, 1988; Graham-Smith, 1999)。此模型亦適用於三級跳遠項目，從Hay與Miller的理論模型 (圖1-2) 可見，在影響三級跳遠飛行距離的各個生物力學參數中，有多個與速度相關的因素，例如起跳瞬間的水平和垂直速度、各種階段的速度變化等 (Hay & Miller, 1985)，在三級跳遠中，維持水平速度十分關鍵，因為運動員必須通過三個起跳階段連續產生三次拋物線，在高速下平衡動作同時盡量避免水平速度流失，以維持每次跳躍的拋物線射程 (Graham-Smith, 1999)。

根據2017年的世界田徑錦標賽以及2018年世界室內田徑錦標賽 - 男子三級跳遠項目中，TAYLOR, CLAYE, DOS SANTOS 分別以跳躍主導技術、均衡主導技術、單足跳主導技術跳出 17.68 米、17.63 米和 17.41 米。而他們三階段的起跳瞬間水平速度分別為 (單足跳) 平均 9.56 m/s、(跨步跳) 平均 8.46 m/s、(跳躍) 平均 6.63 m/s。而另外分別跳出 16.13 米、15.96 米、15.37 米的 PULLEN, DONATO, DIAZ, 三階段的起跳瞬間水平速度分別為 (單足跳) 平均 9.25 m/s、(跨步跳) 平均 8.16 m/s、(跳躍) 平均 7.07 m/s (Tucker, Nicholson, Cooke & Bissas, 2017; Tucker, Bissas, 2018)。可見，平均起跳瞬間水平速度愈高，平均三級跳遠距離愈遠，這反映出水平速度與三級跳遠步幅的關連，不管哪一種比例分配技術，水平速度似乎也是影響三級跳遠成績的一個重要因素。本研究可以透過測量三級跳遠三階段的水平速度參數，進一步探討水平速度與三級跳遠步幅的相關性。

然而，水平速度的維持與垂直速度的建立對三級跳遠表現非常重要，而過程中，膝蓋角度可能對其表現也有關係，因此接下來將探討三級跳遠的膝蓋角度與其運動表現之關連。

五、膝蓋角度與三級跳遠運動表現

三級跳遠三階段觸地時的膝蓋角度，可反映出三階段的水平速度維持表現。在跑步和跳躍中人體腿部與彈簧的特性相類似，當與地面接觸時可壓縮並儲存能量，然後在推出時釋放能量(Turner & Jeffreys, 2010)，而壓縮並儲存能量的過程中，與膝蓋角度有關，起跳時膝蓋彎曲愈多，便有愈多力量在腿部的離心收縮過程中被抵消 (Bridgett & Linthorne, 2006)。

以 2018 年世界室內田徑錦標賽 - 男子三級跳遠項目中前三名為例，CLAYE, DOS SANTOS, EVORA 分別跳出 17.43 米、17.41 米、17.40 米，他們三階段觸地時的膝蓋角度最小值分別為：(單足跳)平均 146.6°、(跨步跳)平均 131.1°、(跳躍)平均 121.7°，而膝蓋角度從觸地瞬間到最小值之間的幅度為：(單足跳)平均 10.2°、(跨步跳)平均 32.4°、(跳躍)平均 44.1°。再比對他們三階段的起跳瞬間水平速度，分別為：(單足跳)平均 9.54m/s、(跨步跳)平均 8.30m/s、(跳躍)平均 6.6m/s (Tucker, Bissas, 2018)。反映出三階段觸地壓縮儲存並釋放能量的過程中，膝蓋角度的幅度愈來愈大，也愈來愈彎曲，起跳瞬間水平速度下降。可見觸地膝蓋角度與水平速度維持的相關。所以，可能透過檢測三階段觸地的膝蓋角度，也可反映出三階段的水平速度維持表現。

然而，根據生物力學特性，釋放儲存彈性起跳，是一種神經機制激活肌肉的反射的作用和對離心收縮的反應(Coh, Zvan & Kugovnik, 2017)。同時，壓縮階段和伸展階段有助於鑒定產生垂直速度的活動機制，當中涉及從肌肉離心收縮到向心收縮的快速過渡 (Graham-Smith, 1999)。這個過程的效率，可能與下肢的爆發力有關。

六、第一節結論

三級跳遠由助跑以及三個跳躍階段所組成，當中受多個生物力學參數所影響，不同的三階段比例分配技術（單足跳主導技術、跳躍主導技術、均衡技術）有不同的參數變化。不論哪一種技術，維持水平速度對三級跳遠十分關鍵。三階段的水平速度維持表現可以從觸地時的膝蓋角度所反映，當中涉及神經機制激活肌肉的反射作用和對離心收縮的反應等爆發力相關機制，因此接下來將會探討三級跳遠與爆發力的關連以及其訓練相關。

第二節 三級跳遠之爆發力訓練探討

一、三級跳遠與爆發力之關連

在許多運動項目中，爆發力對運動表現影響很大。其中包括田徑的短跑，投擲，跳項，跨欄以及大多數團隊項目和格鬥運動。所以，除了個人特質和適當的技術外，這也是運動表現的先決條件（Gotas, Maszczyk, Zajac, Mikołajec & Stastny, 2016）。發力率（RFD）是一種評估爆發力的指標，其定義指在短時間所能達到最大的肌肉力量。在快速運動期間，較短的收縮時間可能無法達到最大的肌肉力量，如短跑、跳躍項目等通常需要 50 到 250 毫秒的收縮時間，大多數人達到最大肌力需要更長的時間（Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson & Dyhre-Poulsen, 2002）。然而，三級跳運動員正正需要提高發力率，以 2018 年世界室內田徑錦標賽 - 男子三級跳遠項目前 15 名運動員為例，他們的單足跳觸地時間平均為 120.3 毫秒、跨步跳觸地時間平均為 160 毫秒、跳躍觸地時間平均為 178.7 毫秒（Tucker, Bissas, 2018），可見運動員需要在一個較短的收縮時間內產生較大的力量以維持水平速度，而運動員可透過爆發力訓練提高發力率並增加快速運動期間可達到的最大力量和速度（Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson & Dyhre-Poulsen, 2002）。

另一方面，三級跳遠亦涉及快速的牽張縮短循環（SSC），SSC是指經過離心階段或拉伸，接著經過等長過渡期（抵消階段），再導致爆發性的向心收縮（Turner & Jeffreys，

2010)。SSC包括三個階段：第一階段是離心階段，這個階段，串聯的彈性組織SEC儲存了彈性能量同時刺激肌肉梭。第二階段是指離心收縮至向心階段之間，稱為緩衝或轉換階段，此階段是力量輸出的關鍵，持續時間必須短，如果持續太長離心收縮階段所儲存的能量將會流失。第三階段是向心收縮階段，是指身體對離心階段與緩衝階段的反應，此期間，經離心階段所儲存的SEC能量將為後續動作帶來更大的力量或流失。SSC採用串聯彈性組織（SEC）儲存能量的能力並刺激伸展反射在最少時間內產生最大的肌肉招募，增強了肌肉收縮時輸出的力量（Haff & Triplett，2016）。透過訓練改善SSC的效率可提高爆發力表現，並提升三級跳遠與地面接觸時壓縮、儲存及釋放能量的效率。

除透過發力率（RFD）作為一種評估爆發力的指標外，實際上常用之爆發力檢測方法為垂直跳，當中通常以反向跳（CMJ）和深蹲跳（SJ）測試來評估。SJ用於測試下肢伸展的向心收縮力量，而CMJ則用作測量下肢利用SSC快速離心再向心收縮所產生的爆發力。此外，SJ可與CMJ進行比較，以兩者的測試結果計算離心利用率（EUR），計算方法為CMJ高度/SJ高度，以了解運用SSC與單純向心收縮爆發能力之間的差異（McGuigan et al.，2006）。

綜合上述，三級跳遠需要有短時間產生最大力量的能力，可透過加強發力率（RFD）和牽張縮短循環（SSC）的效率來達成，而且可利用合適的檢測方法進行評估，以安排合適的訓練方法。然而，有學者於1985年提出力量-時間曲線圖（圖 2-3），當中指出經過高負荷重量訓練可提升最大力量的曲線（虛線），但產生最大力量的時間較長，而進行較低負荷爆發力訓練可提升短時間內產生最大力量的曲線（虛點線），亦即是提高發力率（Hakkinen & Komi，1985b；Newton，1997）。三級跳遠的爆發力訓練正正需要提高這條虛點曲線的弧度，令短時間內可產生的最大力量提高，但經過學者多年研究後，有不同的訓練方法，接下來將探討三級跳遠之爆發力訓練方法。

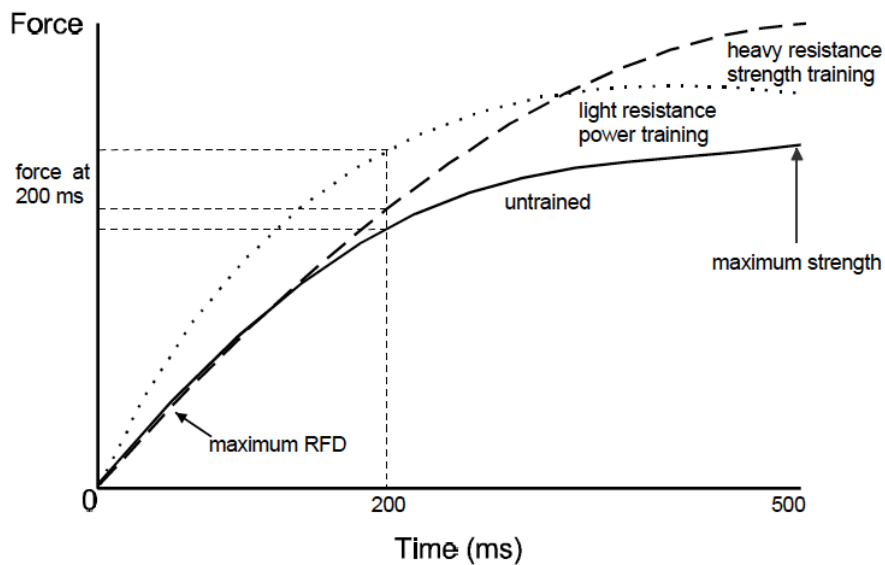


圖 2-3 力量-時間曲線圖

(Hakkinen & Komi, 1985b; Newton, 1997)

二、複合式訓練與運動表現的影響

複合式訓練，可結合高負荷重量訓練和爆發力相關的動作（如增強式訓練/ 衝刺）在同一組訓練中先後進行，可誘發出活化後增益作用（Post-activation Potentiation, PAP）現象，對爆發力的發展很有幫助（Hodgson, Docherty & Robbins, 2005）。研究指出，與其他形式訓練相比，複合式訓練更有效，例如增加的藥球的投擲力，跳躍表現。（Ebben, 2002）。單一的高負荷重量訓練可以減少肌腱複合體受傷的風險並提高 II 型肌纖維的質量，II 型肌纖維的百分比與力量高峰值功率輸出之間有很高的相關性，可增加運動員爆發力的發展潛力（Coyle, Costill & Lesmes, 1979; Komi, 2003; Turner & Jeffreys, 2010）。根據運動單位招募的尺寸原則（size principle），進行高負荷重量訓練時要以 85% 的 1 次最大反覆次數（1RM），6 大下，才可徵招 II 型肌纖維，訓練動作亦應以快速方法進行（Henneman, Clamann, Gillies & Skinner, 1974; Baechle, Earle & Wathen, 2008; Harris, Stone, Bryant, Proulx & Johnson, 2000; Turner & Jeffreys, 2010）。

複合式訓練中的爆發力相關的動作通常以增強式訓練進行，其目的是改善牽張縮短循環（SSC）的效率，以提升爆發力。當中利用肌肉和肌腱自然彈性因子與伸展反射來

增加爆發力及後續的動作輸出，其神經生理模式是利用肌肉向心收縮的伸展反射。伸展反射是一種透過外在刺激而伸展肌肉的非自主反應，這種反射成份主要取決於肌梭。在增強式訓練期間，肌梭被快速伸展而引發反射肌肉動作，增強了肌肉收縮輸出的力量。此外，串聯彈性組織(SEC)也是增強式訓練的機制因素之一，當離心收縮時，肌腱單位被拉長，SEC的運作就像橡皮筋被拉長，彈性能量被儲存，當離心收縮後立即進行向心收縮，儲存的能量被釋放。但當向心收縮沒有在離心收縮後立即進行或離心收縮階段太長，能量將會流失。增強式訓練能改善運動員對肌肉彈性能量的利用，從而提高牽張縮短循環(SSC)的效率並提升爆發力(Haff & Triplett, 2016)。利用跳箱進行增強式訓練是常見的訓練手段，不同的跳箱高度和訓練動作會產生不同的反應性力量指標(Reactive Strength Index)，RSI用以評估從離心動作至向心收縮快速變化的能力，並通過將跳躍高度除以地面接觸時間(GCT)來計算。以落下跳為例，研究發現以30cm和45cm跳箱進行落下跳較短觸地時間和較小膝關節彎曲角度，所以有較佳的RSI，超過60cm的跳箱進行落下跳會增加觸地時間並超出快速牽張縮短循環的時間(<250毫秒)(Addie, Arnett, Neltner, Straughn, Greska, Cosio-Lima & Brown, 2019; Struzik, Juras, Pietraszewski & Rokita, 2016)。所以在設計增強式訓練時需考慮到與運動表現效能相關的快速牽張縮短循環(Fast-SSC)因素。

有研究比較了三種爆發力訓練方法(增強式訓練，重量訓練及複合式訓練)，結果顯示，三種訓練方法均對下肢力量和爆發力產生了顯著($p < 0.05$)改善。但是，複合式訓練組的變化明顯大於其他兩個訓練方法(Fatouros, Jamurtas, Leontsini, Taxildaris, Aggelousis, Kostopoulos & Buckenmeyer, 2000)。亦有研究指出，經過6週的訓練計劃後，複合式訓練和重量訓練都能增加了最大等長收縮的力量、最大向心收縮力量和深蹲跳的表現，但是只有複合式訓練才能顯著提高跳躍表現(Toumi, Best, Martin & Poumarat, 2004)。可見在爆發力訓練上，複合式訓練似乎優於單一進行增強式訓練或重量訓練。此外，LOWERY等學者於2012年的研究中，比較了三種強度的深蹲訓練，分別為低強度(1RM的56%)，中強度(1RM的70%)和高強度(1RM的93%)，以測試誘發的PAP現象的效果。結果顯示，中強度和高強度負荷誘發

的PAP 現象和爆發力表現的提升最顯著 (Lowery, Duncan, Loenneke, Sikorski, Naimo, Brown, Wilson & Wilson, 2012)。所以，爆發力訓練被建議以複合式訓練進行，是一種誘發式的爆發力訓練，當中的重量訓練則建議中強度至高強度的負荷。

三、活化後增益作用的機制

把高負荷重量訓練和爆發力相關動作結合的複合式訓練，可誘發出活化後增益作用 (Post-activation Potentiation, PAP) 現象，當中形成的機制有兩種，其一是肌球蛋白輕鏈激酶激活了肌球蛋白輕鏈磷酸化，肌肉收縮期間，肌漿網釋放的 Ca_2 鈣離子，使得肌動蛋白-肌球蛋白相互作用更加敏感。更多 II 型肌肉纖維在肌球蛋白輕鏈磷酸化後得到激活，從而引起發力率 (RFD) 的提升，導致力量-速度的曲線增加 (圖 2-4)，令快速產生的力量變大 (Tillin & Bishop, 2009)。另一個形成機制是透過神經因素-H 反射所誘發，H 反射是評估人體神經肌肉的變化指標，其振幅愈大代表神經傳遞效能愈好。高負荷重量刺激後引發兩種現象可影響 H 反射振幅，分別為活化後抑制 (Post-Activation Depression, PAD) 和反射性增強 (Reflex Potentiation, RP)。PAD 因高負荷重量刺激後肌肉放鬆令神經傳遞物減少而瞬間引發，神經肌肉的反應變慢，持續時間可由 10-60 秒甚至數分鐘。RP 則於 PAD 結束後發生，因突觸前神經元的 Ca_2 鈣離子殘留值高，增加了突觸前細胞膜末端神經傳遞物的釋放，令 Ia 傳入神經終點和 α -運動神經元之間的興奮增加，活化更多運動單位，導致肌肉收縮表現增加，從而提升爆發力 (Hodgson, Docherty & Robbins, 2005; Gotas, Maszczyk, Zajac, Mikołajec & Stastny, 2016)。兩種 PAP 機制可透過高負荷重量訓練和增強式訓練的結合所誘發。

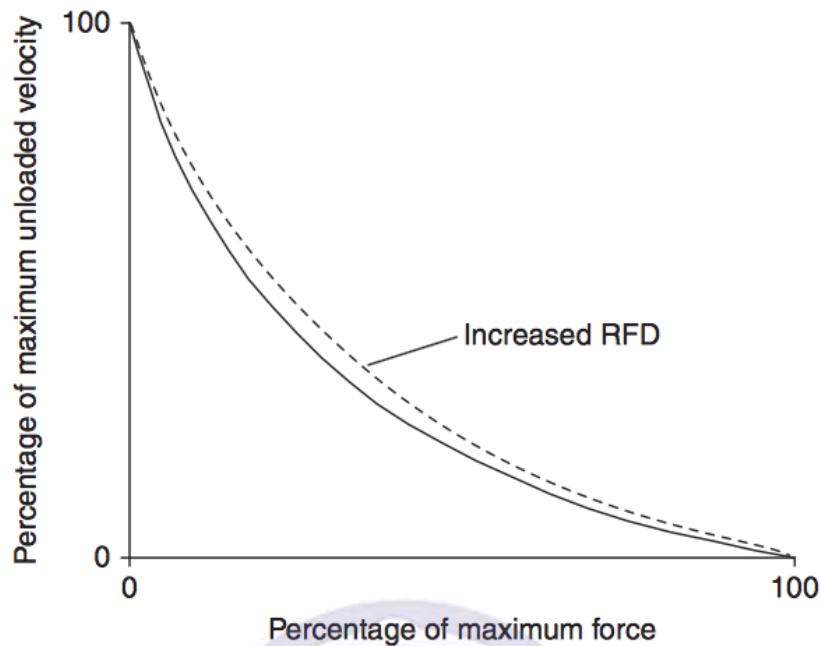


圖 2-4 力量-速度曲線，虛線表示 PAP 引起發力率（RFD）的增加
（Tillin & Bishop，2009）

第三節 文獻總結

綜合上述文獻結果，三級跳遠的三個階段水平速度維持對成績影響十分關鍵，而三階段比例分配技術在水平速度的變化上雖然各有不同，但對最終成績並未有最為關鍵的影響。然而，各起跳階段的膝蓋角度可能與水平速度的維持有關，當起跳時膝蓋彎曲角度愈多，便有愈多力量在腿部的離心收縮過程中被抵消，能量的流失可能影響各階段起跳過程的水平速度。因此，各起跳階段觸地的過程最為關鍵，可透過分析其相關參數用以探討對三級跳遠表現之影響。

另外，三級跳遠的各起跳階段觸地過程中涉及牽張縮短循環（SSC）的效率和爆發力的表現，複合式訓練所誘發的活化後增益作用(PAP)對提升爆發力表現有理想的效果，可透過長期的訓練，探討其效果對三級跳遠的運動表現影響。

第參章 研究方法與步驟

本章節之研究方法與步驟分為：一、研究對象與實驗要求；二、實驗時間與地點；三、實驗儀器與設備；四、實驗場地佈置及說明；五、實驗流程；六、資料處理與分析。

第一節 研究對象與實驗要求

本研究以個案分析進行，研究對象以筆者本人作為受試者，筆者為現役香港田徑隊三級跳遠代表，已進行六年以上專項訓練，2018年9月入讀國立臺灣師範大學運動競技系研究所進行訓練和研究，個人最佳成績為2019年所創的15.24m，其基本資料如下（表3-1）：

表 3-1 受試者基本資料

年齡（歲）	身高（cm）	體重（kg）	最佳成績（m）
25	183	67	15.24

實驗要求包括爆發力檢測三次（半蹲、反向跳 CMJ、蹲跳 SJ、五級跳）、全程助跑三級跳遠檢測三次（每次三跳）、進行八週誘發式爆發力訓練。誘發式爆發力訓練由各個複合式訓練組合而成，內容如下（表 3-2，表 3-3），並圖示主要爆發力訓練動作（圖 3-1 至圖 3-13）：

表 3-2 誘發式爆發力訓練

第 1-2 週	高負荷重量訓練 (5 下)	承接之增強式訓練
重量 A1	一、四分之一蹲舉 (Quarter Squat) 二、槓鈴兩步登階 (Barbell 2 Step-ups) 三、俯臥腿彎舉 (Single Leg Curl) 四、滑輪訓練機髖屈曲 (Hip Flexion) 五、槓鈴臥推 (Barbell Chest Press) 六、桿鈴仰臥起坐推 (Sit-up with Barbell press)	一、落下跳至高箱x3, 30m快速單腳左左右右跳 (Drop jump to Box, 30m Alternate Hop) 二、快速抓舉, 專項韻律跳(三級跳) (Fast snatch, Triple jump{rythem}) 三、欄架跳x6 (3下停頓, 3下連續), 單足跳箱x3 (Hurdles Jump x6, Hop to box x3) 四、小欄架快速單腳快拉,繩梯saq (Fast Single High knees, saq) 五、小欄架x15最快抬腿跑 (Fast High Knees run x15) 六、小欄架x15最快抬腿跑 (Fast High Knees run x15)
重量 B1	一、四分之一蹲 (quarter Squat) 二、俯臥腿彎舉 (Single Leg Curl) 三、爆發力登階 (Step-ups) 四、落下跳至欄架跳 (Drop Jump to Hurdles Jump) 五、抓舉 (Snatch) 六、保加利亞蹲 (Bulgaria Split Squat)	一、欄架跳x6 (Hurdles Jump x6) 二、爆發力訓練台 x10 (Switch lunge on power platform x10) 三、單足跳箱 x3 (Hop to box x3) 四、Saq,快速抬腿20秒 (Saq, Fast High Knees 20s) 五、專項勁度 (Specific Stiffness exercise) 六、藥球腹背肌 x10 (Plyo-abs.& back exercise with medicine ball)
第 3-8 週		
重量 A2	一、四分之一蹲 (Quarter Squat) 二、單腳推舉 (Single Leg Press) 三、俯臥腿彎舉, 臀推 (Single Leg Curl, Hip Thrust)	一、落下跳至高箱x3 快速上下階梯15秒, 小欄架快速抬腿跑 (Drop Jump to Box x3, Fast Stepping 15s, Fast High Knees Run) 二、槓鈴兩步登階x6, 專項韻律跳 (Barbell Step-ups x6, Triple jump{rythem}) 三、30m快速跨步跑 (30m Bounce)

	四、滑輪訓練機髖屈曲 (Hip Flexion)	四、藥球馬克提跳提腿A, 藥球快速抬腿跑 (A-Skip with Medicine Ball, Fast High Knees Run with Medicine Ball)
	五、保加利亞蹲 (Bulgaria Split Squat)	五、槓鈴快速推舉x10 (Barbell Fast Shoulder Press x10)
	六、槓鈴臥推 (Barbell Chest Press)	六、槓鈴仰起坐推x10 (Sit-up with Barbell press x10)
重量 B2	一、四分之一蹲 (quarter Squat)	一、欄架跳x6 (Hurdles Jump x6)
	二、俯臥腿彎舉 (Single Leg Curl)	二、爆發力訓練台 x10 (Switch lunge on power platform x10)
	三、爆發力登階 (Step-ups)	三、單足跳箱 x3 (Hop to box x3)
	四、落下跳至欄架跳 (Drop Jump to Hurdles Jump)	四、Saq,快速抬腿20秒 (Saq, Fast High Knees 20s)
	五、抓舉 (Snatch)	五、專項勁度 (Specific Stiffness exercise)
	六、保加利亞蹲 (Bulgaria Split Squat)	六、藥球腹背肌 x10 (Plyo-abs.& back exercise with medicine ball)

表 3-3 誘發式爆發力訓練安排

第 1-2 週	
星期一	重量 A1 (1、3、4、5) x3, 上坡降落傘阻力三級跳, 中程三級跳應用
星期二、五	重量 A1 (2、3、4、6) x3, 中程降落傘阻力三級跳應用, 全程助跑應用, 跳箱落下跳 (低箱-低箱-高箱-沙池落地) x5
星期六	重量 B1 x3
第 3-4 週	
星期一	重量 A2 (2、3、4、6) x2, 上坡速度
星期二、五	三級跳技術修正, 跳箱落下跳 (低箱-低箱-高箱-沙池落地) x5, 重量 A2 (2、3、4、5) x3
星期四	下坡速度, 三級跳助跑應用
星期六	重量 B2 x3
第 5-8 週	
星期一、四	重量 A1 (1、3、4、5) x3, 立定三次跳-上坡速度, (欄架跳 x6 -阻力抬腿跑 x5s -上坡阻力三級跳) x3,

上坡中程三級跳應用 x5
星期二、五 重量 A1 (2) x3, (1、3、4、5、6) x2
跳箱落下跳 (低箱-低箱-高箱-沙池落地) (每跳停頓 x2, 連續 x3)
五級跳 x5, 三級跳技術修正, 全程三級跳 x3
星期六 重量 B1



圖 3-1 四分之一蹲舉 (Quarter Squat)



圖 3-2 落下跳至高箱 (Drop jump to Box)



圖 3-3 單腳推舉 (Single Leg Press)



圖 3-4 槓鈴兩步登階 (Barbell 2 Step-ups)



圖 3-5 俯臥腿彎舉 (Single Leg Curl)



圖 3-6 臀推 (Hip Thrust)



圖 3-7 欄架跳 (Hurdles Jump)

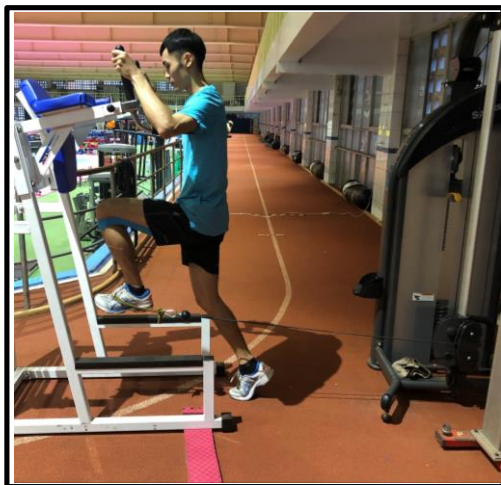


圖 3-8 滑輪訓練機髖屈曲 (Hip Flexion) 圖 3-9 槓鈴臥推 (Barbell Chest Press)



圖 3-10 桿鈴仰臥起坐推 (Sit-up with Barbell press)



圖 3-11 爆發力登階 (Step-ups)

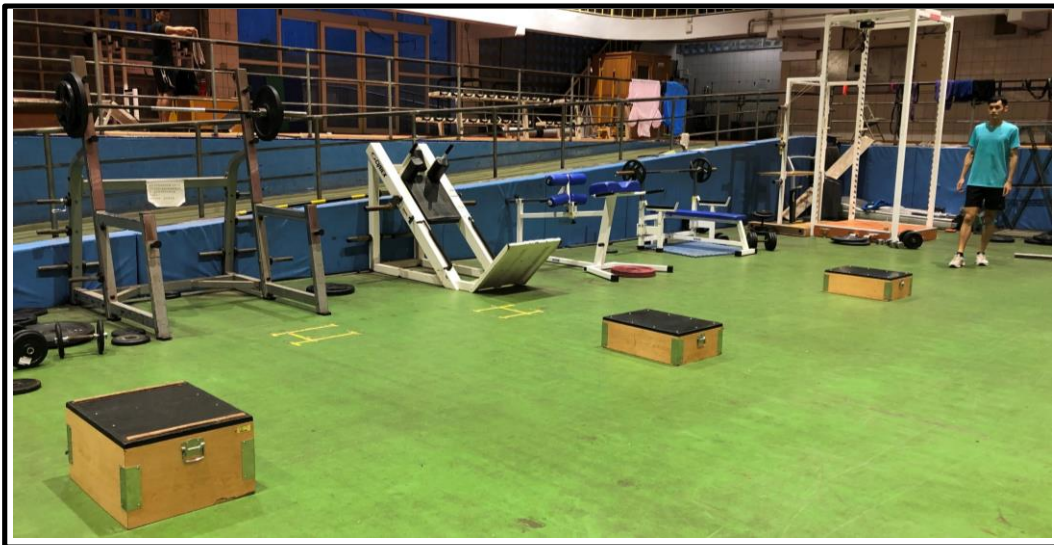


圖 3-12 單足跳箱 (Hop to box)



圖 3-13 落下跳至欄架跳 (Drop Jump to Hurdles Jump)

第二節 實驗時間與地點

本研究進行之實驗時間與地點如下：

- 一、實驗時間：2020年2月至5月
- 二、實驗地點：國立臺灣師範大學田徑場

第三節 實驗儀器與設備

本研究使用 Vmaxpro 數據收集感應器測量反向跳 (CMJ)、深蹲跳 (SJ)，三臺 Smartspeed 紅外線光閘 (Fusion Sport, Queensland, Australia) 測量助跑距離起跳前 10m 速度，分別置於踏板、踏板前 5m、踏板前 10m 處。本研究拍攝三級跳遠動作，使用兩台高速攝影機 (JVC GZ-GX1BU) 進行拍攝，其中拍攝頻率為 300 Hz，同時以 Kwon 3D 動作分析軟體取得參數。

第四節 實驗場地佈置及說明

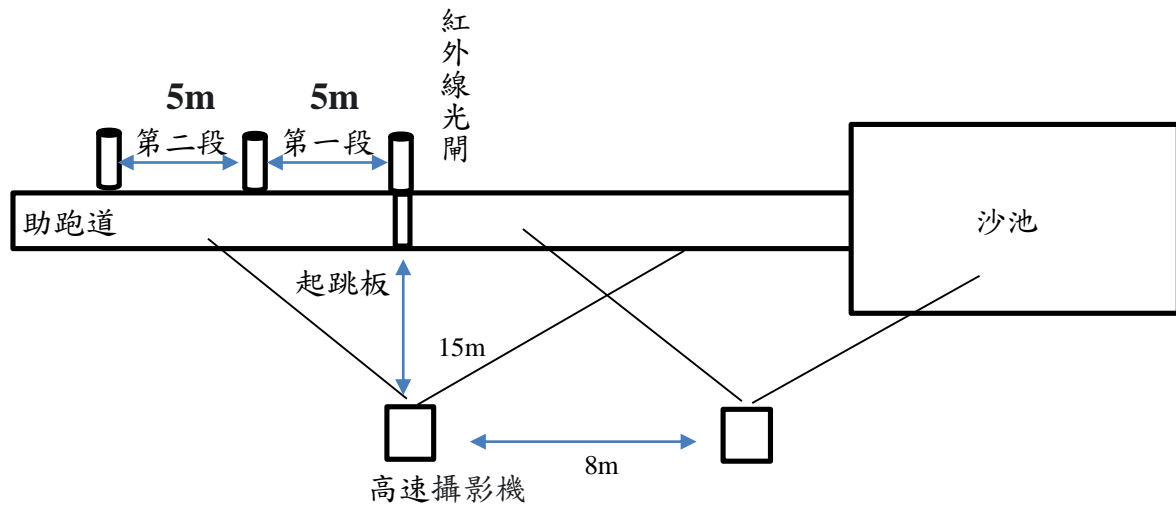
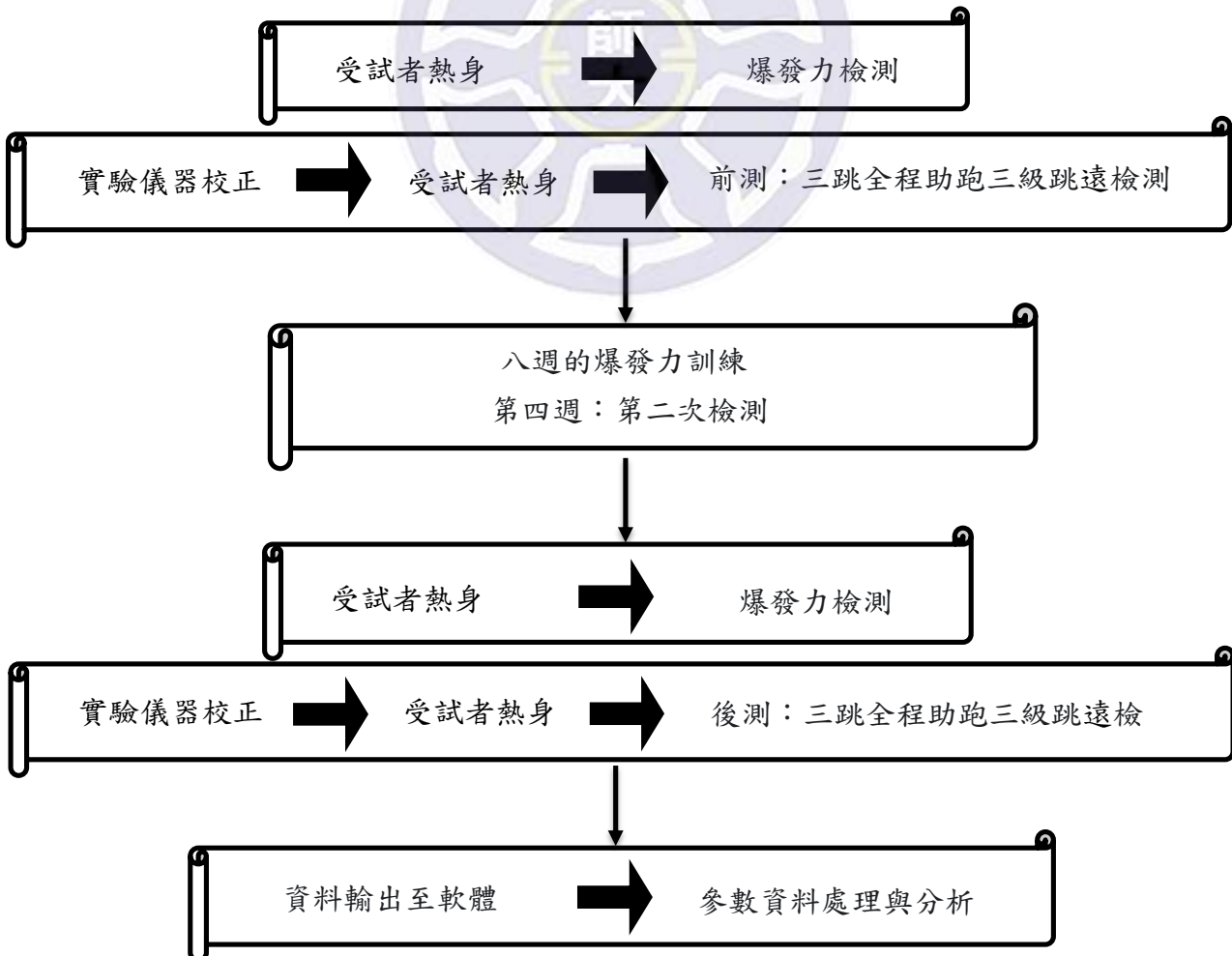


圖 3-1 場地佈置圖

第五節 實驗流程



第六節 資料處理與分析

本研究透過 Kwon3D 動作分析系統，採用 Dempster (1955) 研究人體模型所建立的 14 個肢段、21 個關節點的人體模型（圖 3-2），將各肢段質量百分比與重心位置百分比輸入 Kwon3D 動作分析系統作二度空間影片分析，當中之參數包括三級跳總距離、各階段距離、各階段觸地時間、各階段觸地瞬間水平速度、各階段起跳瞬間水平及垂直速度、膝蓋角度、起跳角度、各階段的水平速度流失、垂直轉換率。透過比較訓練前後的參數變化，研究誘發式爆發力訓練對三級跳遠運動表現的影響、三級跳遠各起跳階段的水平速度與比例對成績表現的影響以及三級跳遠各起跳階段的觸地時間、膝蓋角度與水平速度流失的關係。

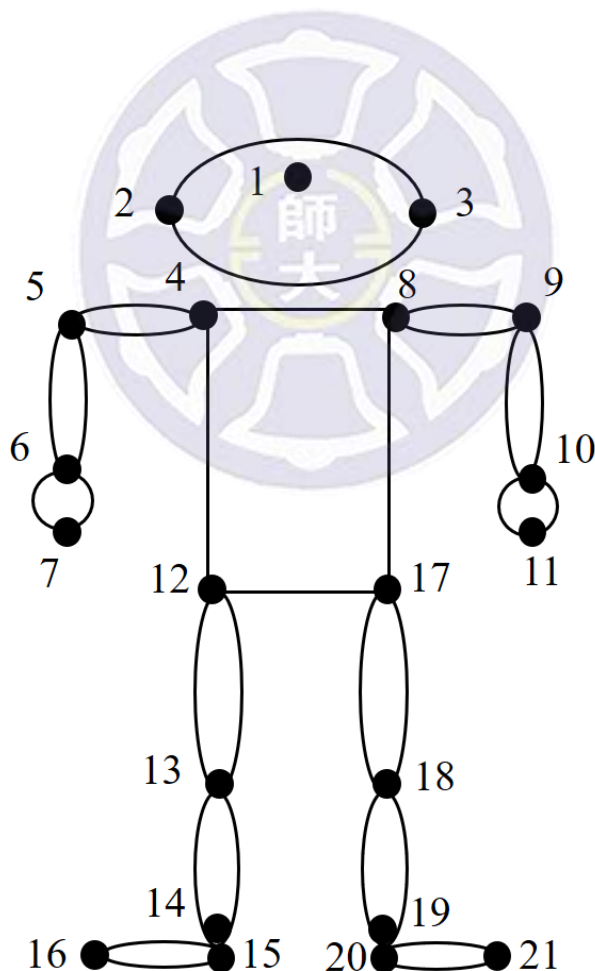


圖 3-2 Kwon3D 動作分析系統座標點

第肆章 結果

本研究為結合誘發式爆發力訓練所誘發出活化後增益作用之長期適應與三級跳遠運動表現的研究計劃，期間按階段進行檢測，分別為接受八週誘發式爆發力訓練前的第一次檢測、已進行三週誘發式爆發力訓練後的第二次檢測、結束八週誘發式爆發力訓練後的第三次檢測。

本研究所得之結果與國際田徑聯會公佈的 2017 年世界田徑錦標賽三級跳遠運動生物力學報告中冠軍得主 TAYLOR 的運動學參數作比較討論。相關內容包括：

一、訓練前、後檢測；二、訓練前、後三級跳遠三跳比例檢測；三、訓練前、後三級跳遠助跑速度變化檢測；四、訓練前、後三級跳遠速度變化檢測；五、訓練前、後三級跳遠起跳角度，膝蓋彎曲角度與觸地時間變化檢測。

第一節 訓練前、後檢測

有關訓練前、後檢測分為下列兩個部分：一、訓練前、後爆發力檢測結果，二、訓練前、後三級跳遠檢測結果。

(一) 訓練前、後爆發力檢測結果

本研究有關爆發力檢測之項目為四分之一蹲、反向跳 (CMJ)、深蹲跳 (SJ)、短程助跑五級跳。表 4-1 可見，經過三週訓練後的第二次檢測整體爆發力已有進步。其中，四分之一蹲的重量由 150 公斤提升到 165 公斤，而 CMJ 垂直爆發跳躍高度與水平爆發力檢測的五級跳距離分別由 67cm 提升至 69cm 以及由 19.6m 提升至 20.7m，至於 SJ 的跳躍高度則沒有提升，不過離心利用率 (EUR) (CMJ 高度/SJ 高度) 從 0.931% 提升至 0.986%。然而，經過八週訓練後的第三次檢測，四分之一蹲的重量提升至 175 公斤三下，五級跳距離由 20.7m 進一步提升到 21.3m，而 CMJ 的

成績共提升了 5 cm，（72cm），SJ 的跳躍高度則由第一次檢測的 72 cm 下降為 70 cm，離心利用率（EUR）為 1.029%。

表 4-1 爆發力檢測

	四分之一蹲		CMJ	SJ	五級跳	離心利用率 EUR
	(kg)	(reps)	(cm)	(cm)	(m)	(%)
一	150	6	67	72	19.6	.931
二	165	4	69	70	20.7	.986
三	175	3	72	70	21.3	1.029

註：離心利用率 EUR= CMJ 高度/SJ 高度

(二) 訓練前、後三級跳遠檢測結果

表 4-2 列分別出三次三級跳遠檢測結果，並以每次檢測中的最佳成績作為研究結果討論，其中第一次檢測：14.25m、第二次檢測：14.35m、第三次檢測：14.54m，實驗期間分別參賽兩次，第二次檢測後一週為 109 年全國大專校院田徑公開賽，成績 14.29m，第三次檢測後五週為 109 年臺北市青年盃田徑賽，成績 14.91m。以第一次檢測成績為基準，可見八週誘發式爆發力訓練對三級跳遠成績有階段性的提升，反映出長期適應活化後增益作用可能有助提升運動表現。

表 4-2 三級跳遠檢測

	檢測成績(m)		實驗期間參賽成績(m)
一	14.25		
二	14.35	第二次檢測後一週	14.29
三	14.54	第三次檢測後五週	14.91

第二節 訓練前、後三級跳遠三階段比例檢測

(一) 訓練前、後三級跳遠三階段比例檢測結果

從表 4-3 和圖 4-1 可知，三次三級跳遠檢測之三階段跳躍實際距離、比例與比例分配技術類型。三次檢測所得結果顯示前兩次為單足跳主導技術，第三次為均衡技術主導。第一次檢測的每步距離與比例分別為單足跳：5.57m 和 39.1%、跨步跳：4.13m 和 29%、跳躍：4.55m 和 31.9%，成績距離為 14.25m；第二次檢測單足跳：5.78m 和 40.2%、跨步跳：4.07m 和 28.4%、跳躍：4.5m 和 31.4%，成績距離為 14.35m；第三次檢測單足跳：5.09m 和 35%、跨步跳：4.49m 和 30.9%、跳躍：4.96m 和 34.1%，成績距離為 14.54m。

表 4-3 三跳距離、比例與比例分配技術類型

	單足跳		跨步跳		跳躍		成績 距離 (m)	比例 分配 技術
	距離 (m)	比例 (%)	距離 (m)	比例 (%)	距離 (m)	比例 (%)		
一	5.57	39.1	4.13	29.0	4.55	31.9	14.25	單足跳 主導
二	5.78	40.2	4.07	28.4	4.50	31.4	14.35	單足跳 主導
三	5.09	35.0	4.49	30.9	4.96	34.1	14.54	均衡 技術
TAYLOR (2017)	5.83	32.8	5.56	31.3	6.40	36.0	17.68	跳躍 主導

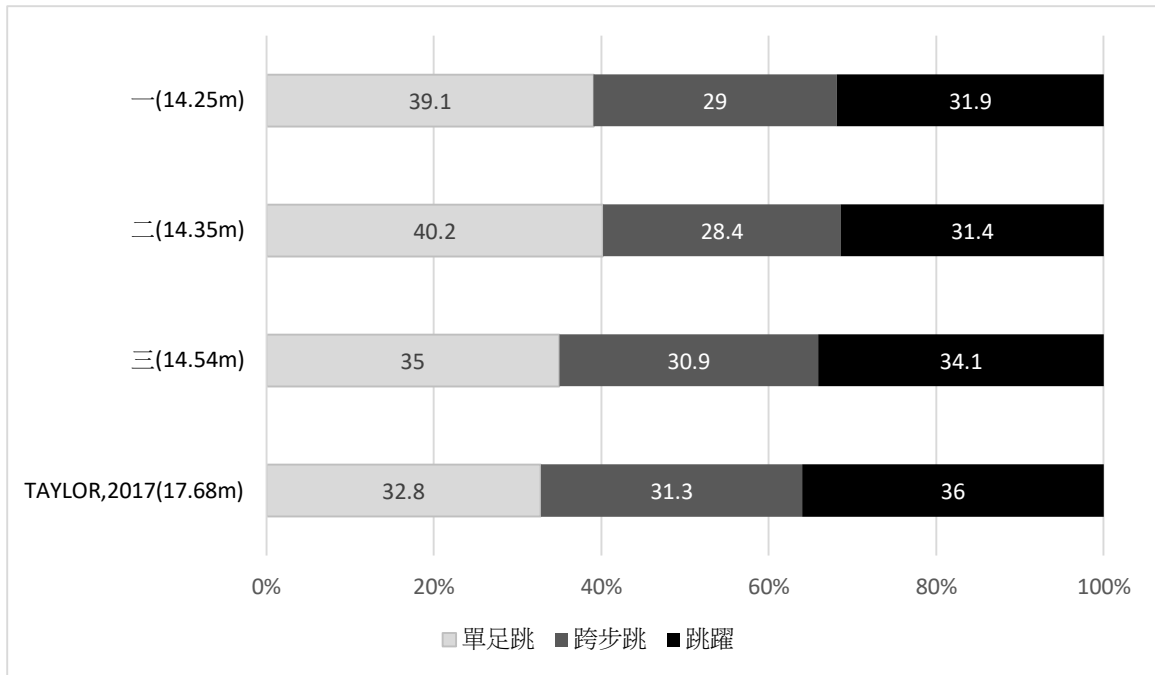


圖 4-1 三階段比例分配

第三節 訓練前、後三級跳遠助跑速度變化

(二) 訓練前、後三級跳遠助跑速度檢測結果

本研究檢測了三級跳遠起跳前 10m 與 5m 的助跑水平速度，圖 4-2 呈現出其檢測結果。第一次三級跳遠檢測中，起跳前 10m 水平速度為 8.97m/s，起跳前 10m 到起跳前 5m 水平速度為 9.41m/s，起跳前 5m 水平速度為 8.53m/s，可見起跳前 5m 水平速度較起跳前 10m 到起跳前 5m 分段慢，而且有較大的減速現象。第二次三級跳遠檢測中，起跳前 10m 水平速度為 8.73m/s，起跳前 10m 到起跳前 5m 水平速度為 8.68m/s，起跳前 5m 水平速度為 8.79m/s，反映出速度變化不太大，而且有加速趨勢。而第三次三級跳遠檢測中，起跳前 10m 水平速度為 8.83m/s，起跳前 10m 到起跳前 5m 水平速度為 8.79m/s，起跳前 5m 水平速度為 8.56m/s，與第一次三級跳遠檢測一樣呈減速現象，但較第一次檢測小。

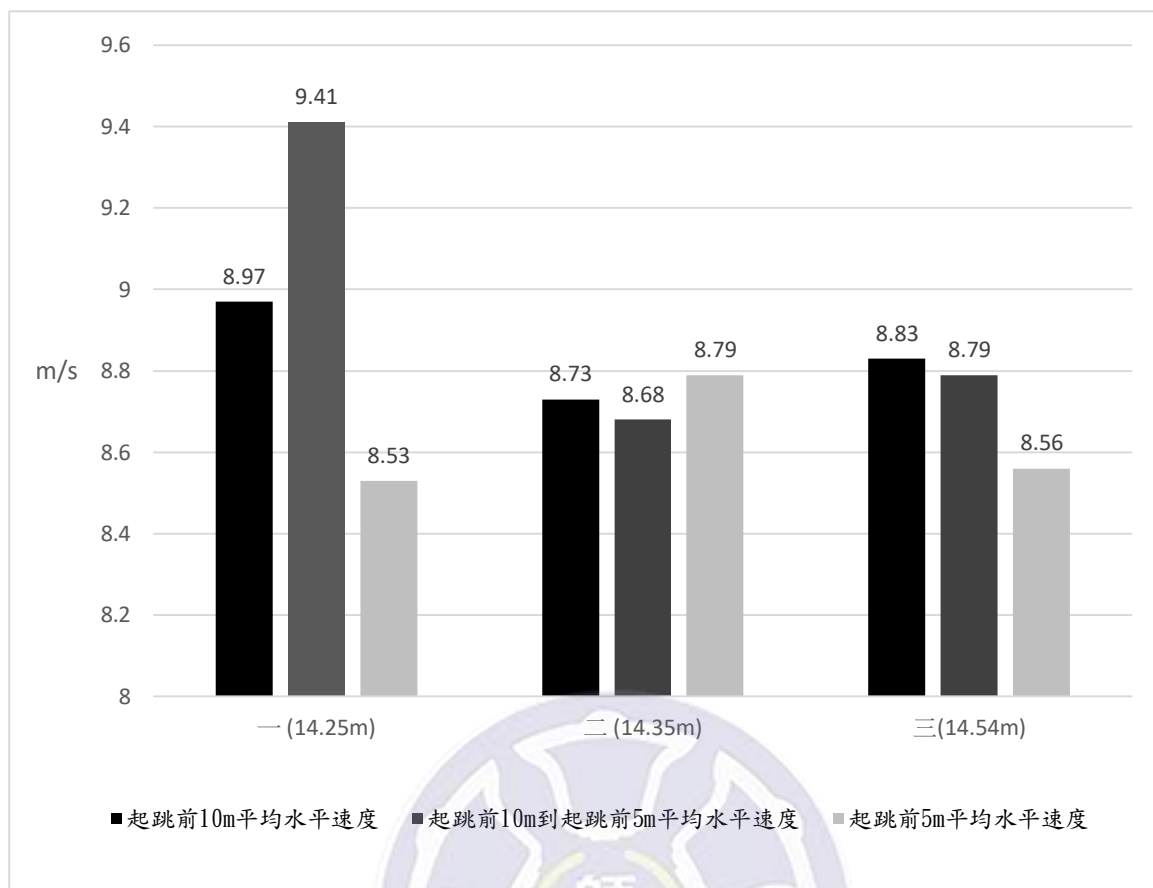


圖 4-2 三級跳遠起跳前水平速度

第四節 訓練前、後三級跳遠速度變化

(一) 訓練前、後三級跳遠三階段水平速度檢測結果

圖 4-3 展示出三級跳遠三階段水平速度。第一次檢測中，單足跳、跨步跳、跳躍階段的水平速度分別為 8.54m/s、7.87m/s、5.72m/s，可見單足跳與跨步跳之間的水平速度已有下降，而跨步跳與跳躍之間的水平速度下降幅度較大。第二次檢測分別為 8.14m/s、6.62m/s、6.2m/s，單足跳的水平速度較第一次檢測慢，與跨步跳之間的水平速度同樣有下降，而跨步跳與跳躍之間則比第一次檢測的下降幅度少。至於第三次檢測中，三階段水平速度分別為 7.93m/s、7.7m/s、5.83m/s。

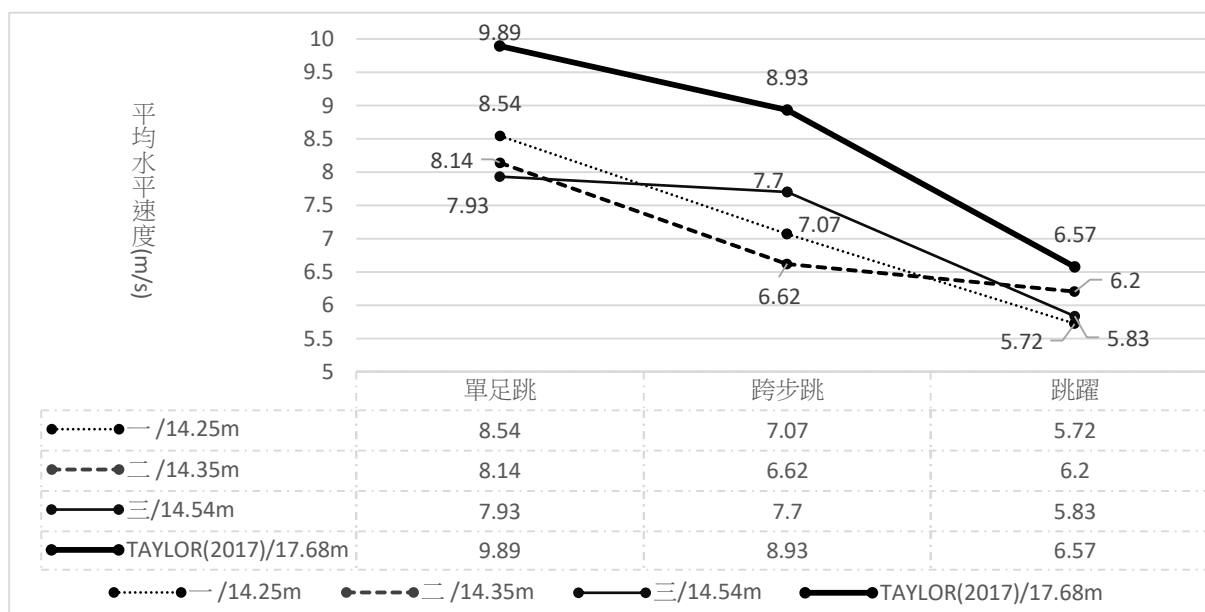


圖 4-3 三級跳遠三階段水平速度

(三) 訓練前、後三級跳遠踏板與起跳瞬間速度檢測結果

表 4-4 和圖 4-4 說明了三級跳遠檢測的起跳瞬間水平速度和起跳瞬間垂直速度的變化情形。第一次檢測的三階段起跳瞬間水平和垂直速度分別為 8.21m/s、1.95m/s；7.30m/s、1.82m/s；6.15m/s、2.56m/s，第二次檢測三階段分別為 8.13m/s、2.12m/s；6.45m/s、1.59m/s；6.02m/s、2.88m/s，整體上的起跳瞬間水平速度較第一次慢，但單足跳及跳躍階段的起跳瞬間垂直速度相對高。而第三次檢測的單足跳起跳瞬間水平速度是三次檢測中最慢，三階段的參數分別為 7.66m/s、2.02m/s；7.21m/s、1.74m/s；5.96m/s、2.59m/s。為了解三級跳遠接跳間的水平速度變化，表 4-5 說明了三次檢測中三階段的踏板瞬間水平速度，各階段的水平速度流失與垂直速度轉換率。水平速度流失的計算公式為（踏板瞬間水平速度 - 起跳瞬間水平速度），而垂直轉換率的計算公式為（起跳瞬間垂直速度 / 水平速度流失量）。其結果可見第一次檢測的前兩階段有較少水平速度流失，分別為 0.26m/s 和 0.47m/s，同時有較大垂直轉換率，單足跳有高達 7.5% 垂直轉換，跨步跳則 3.87% 垂直轉換，至於跳躍階段的水平速度流失和垂直轉換率為 0.97m/s 和 2.63%。而第二次檢測平均都有較大水平速度流失以及較平均的垂直轉換率，三階段分別為 0.63m/s、3.37%；0.67m/s、

2.37%；1.15m/s、2.5%。第三次檢測中的跨步跳水平速度流失明顯較少，三階段的水平速度流失和垂直轉換率分別為 0.67m/s、3.02%；0.30m/s、5.8%；1.01m/s、2.56%。

表 4-4 起跳瞬間水平速度與垂直速度

	單足跳		跨步跳		跳躍		成績距離 (m)
	水平 (m/s)	垂直 (m/s)	水平 (m/s)	垂直 (m/s)	水平 (m/s)	垂直 (m/s)	
一	8.21	1.95	7.30	1.82	6.15	2.56	14.25
二	8.13	2.12	6.45	1.59	6.02	2.88	14.35
三	7.66	2.02	7.21	1.74	5.96	2.59	14.54
TAYLOR(2017)	9.85	2.77	8.52	2.35	6.34	2.43	17.68

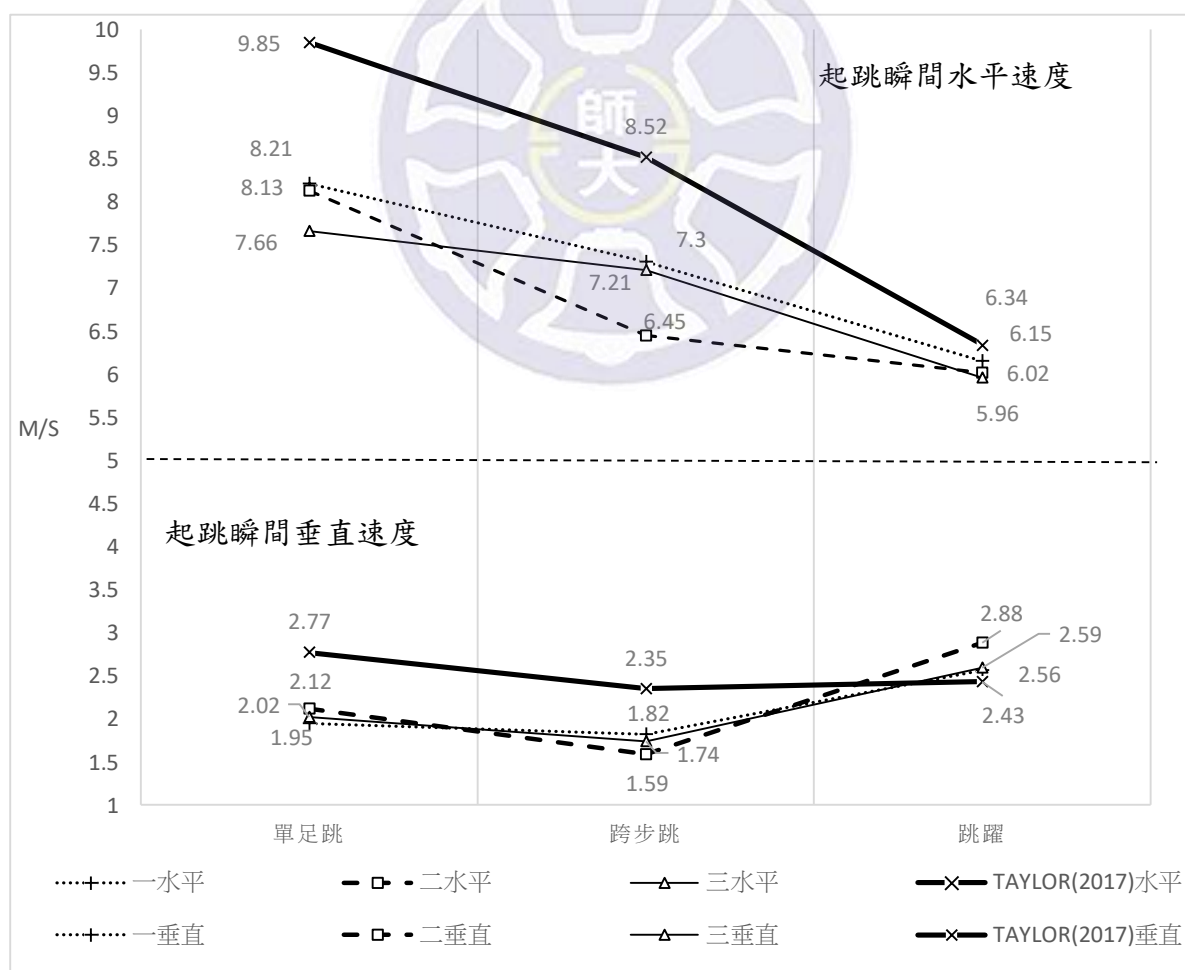


圖 4-4 起跳瞬間水平速度與垂直速度

表 4-5 踏板瞬間水平速度

	單足跳(m/s)	跨步跳(m/s)	跳躍(m/s)	成績距離(m)
一	8.47	7.77	7.12	14.25
二	8.76	7.12	7.17	14.35
三	8.33	7.51	6.97	14.54

表 4-6 水平速度流失與垂直轉換率

	單足跳(m/s)		跨步跳(m/s)		跳躍(m/s)		成績距離(m)
	水平速度流失(m/s)	垂直轉換率(%)	水平速度流失(m/s)	垂直轉換率(%)	水平速度流失(m/s)	垂直轉換率(%)	
一	.26	7.50	.47	3.87	.97	2.63	14.25
二	.63	3.37	.67	2.37	1.15	2.50	14.35
三	.67	3.02	.30	5.8	1.01	2.56	14.54

註：水平速度流失=踏板瞬間水平速度-起跳瞬間水平速度
 垂直轉換率=起跳瞬間垂直速度/水平速度流失量

第五節 訓練前、後起跳角度、膝蓋彎曲角度與觸地時間變化

(一) 訓練前、後起跳角度變化結果

圖 4-5 中說明了三級跳遠三個階段的起跳角度變化情形。三次檢測都有同樣的變化趨勢，跨步跳的起跳角度為三階段中最小，分別為 12.63°，12.46°和 11.71°，跳躍的起跳角度為三階段中最大，分別為 20.37°，17.33°和 20.33°，而單足跳的起跳角度則與跨步跳相近，分別為 13.5°，14.37°和 15.11°。可見在單足跳和跨步跳呈相對低的起跳角度，在跳躍起跳時大幅提高起跳角度。

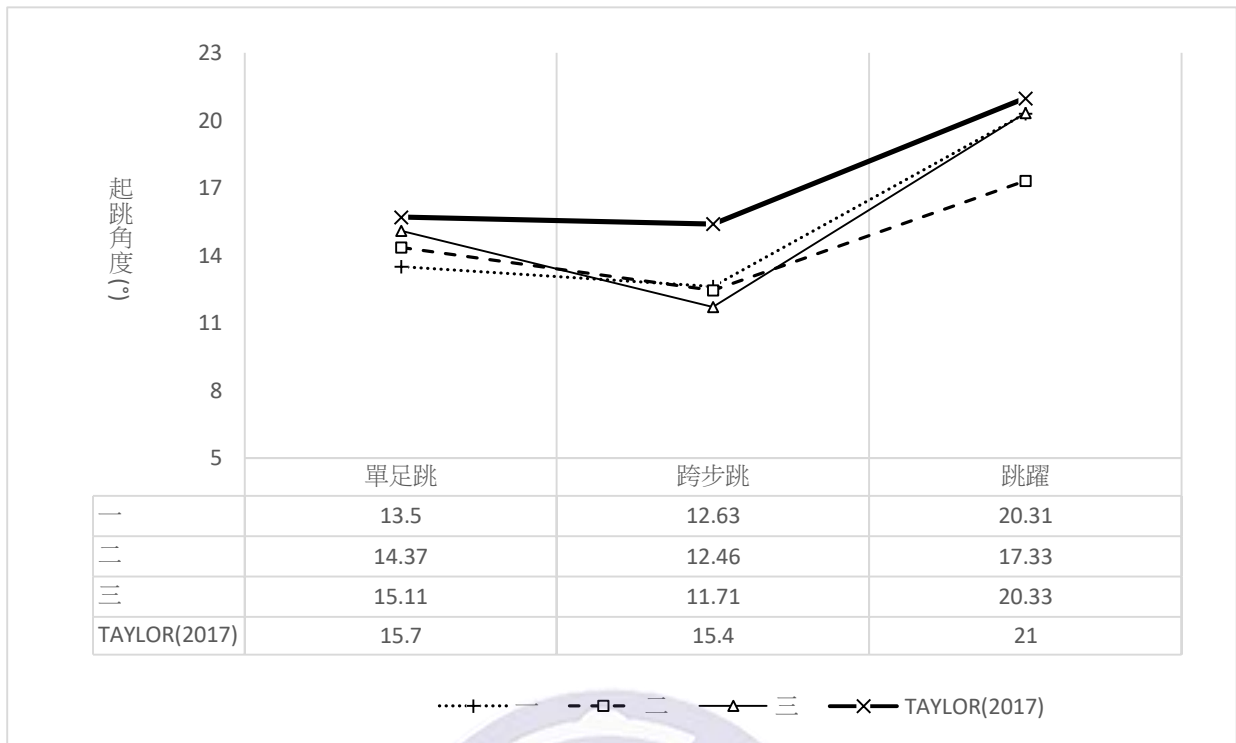


圖 4-5 起跳角度變化

(三) 訓練前、後三級跳遠膝關節角度變化結果

表 4-7 列出三個階段的觸地時膝關節角度以及最大膝關節角度，圖 4-6 則展示三個階段觸地時膝關節角度變化情形。第一次檢測中，整體的膝關節幅度變化較大。從結果可見，各階段觸地時膝關節角度和最大彎曲度分別為單足跳：140.32°和 131.57°，幅度變化 8.75°；跨步跳：158.80°和 138.55°，幅度變化 20.25°；跳躍：151.18°和 140.56°，幅度變化 10.62°。而第二次檢測的變化幅度較第一次檢測小，結果為單足跳：145.16°和 138.59°，幅度變化 6.57°；跨步跳：142.40°和 134.75°，幅度變化 7.65°；跳躍：135.56°和 122.08°，幅度變化 13.48°。第三次檢測的變化幅度同樣較小，結果為單足跳：148.76°和 137.05°，幅度變化 11.71°；跨步跳：147.62°和 138.18°，幅度變化 9.44°；跳躍：137.11°和 127.54°，幅度變化 9.54°。

表 4-7 觸地與最大膝關節角度

項目/成績	單足跳		跨步跳		跳躍	
	觸地時膝關節角度(°)	最大膝關節角度(°)	觸地時膝關節角度(°)	最大膝關節角度(°)	觸地時膝關節角度(°)	最大膝關節角度(°)
一/14.25m	140.32	131.57	158.80	138.55	151.18	140.56
二/14.35m	145.16	138.59	142.40	134.75	135.56	122.08
三/14.54m	148.76	137.05	147.62	138.18	137.11	127.54
TAYLOR(2017) /17.68m	N/A	151.1	N/A	125.1	N/A	135.6

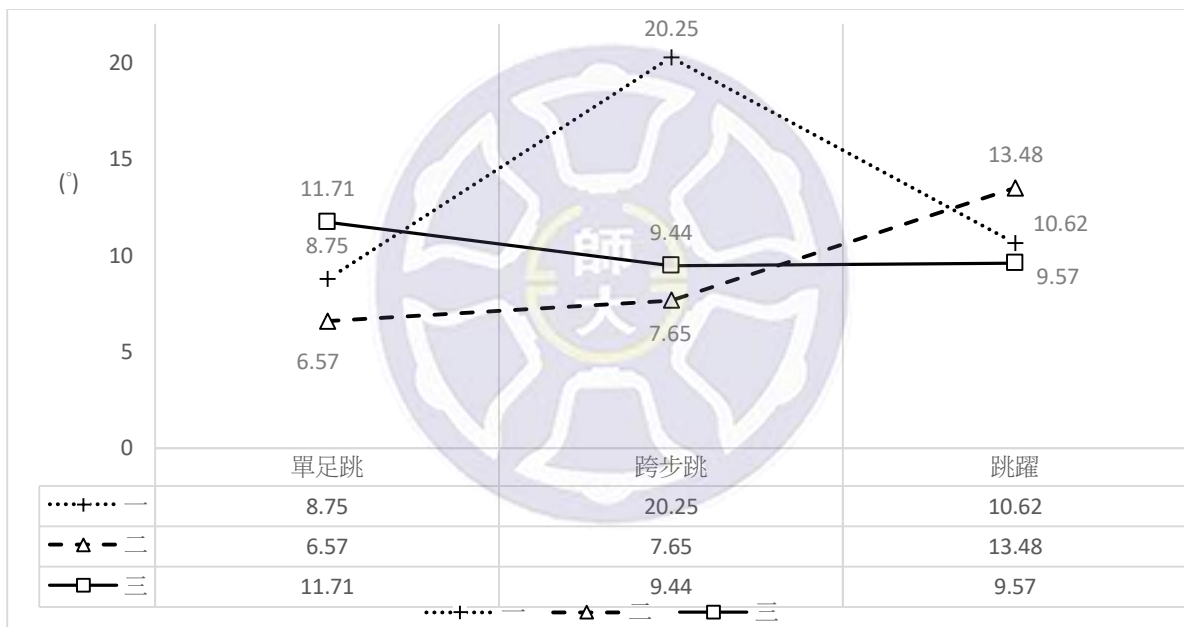


圖 4-6 觸地時膝關節角度變化

(四) 訓練前、後三級跳遠觸地時間變化結果

表 4-8 和圖 4-7 展示出各階段的觸地時間。第一次檢測三個階段的觸地時間都相同，為 0.16s。而第二次檢測中，單足跳的觸地時間最短，為 0.13s，但跨步跳的觸地時間最長，為 0.18s，跳躍則為 0.17s。至於第三次檢測，平均有較短的觸地時

間，當中單足跳的觸地時間最短，為 0.13s，而跨步跳和跳躍的觸地時間差異不大，分別為 0.15s 和 0.16s。

表 4-8 觸地時間

	單足跳(s)	跨步跳(s)	跳躍(s)	成績距離(m)
一	0.16	0.16	0.16	14.25
二	0.13	0.18	0.17	14.35
三	0.13	0.15	0.16	14.54
TAYLOR(2017)	0.12	0.15	0.18	17.68

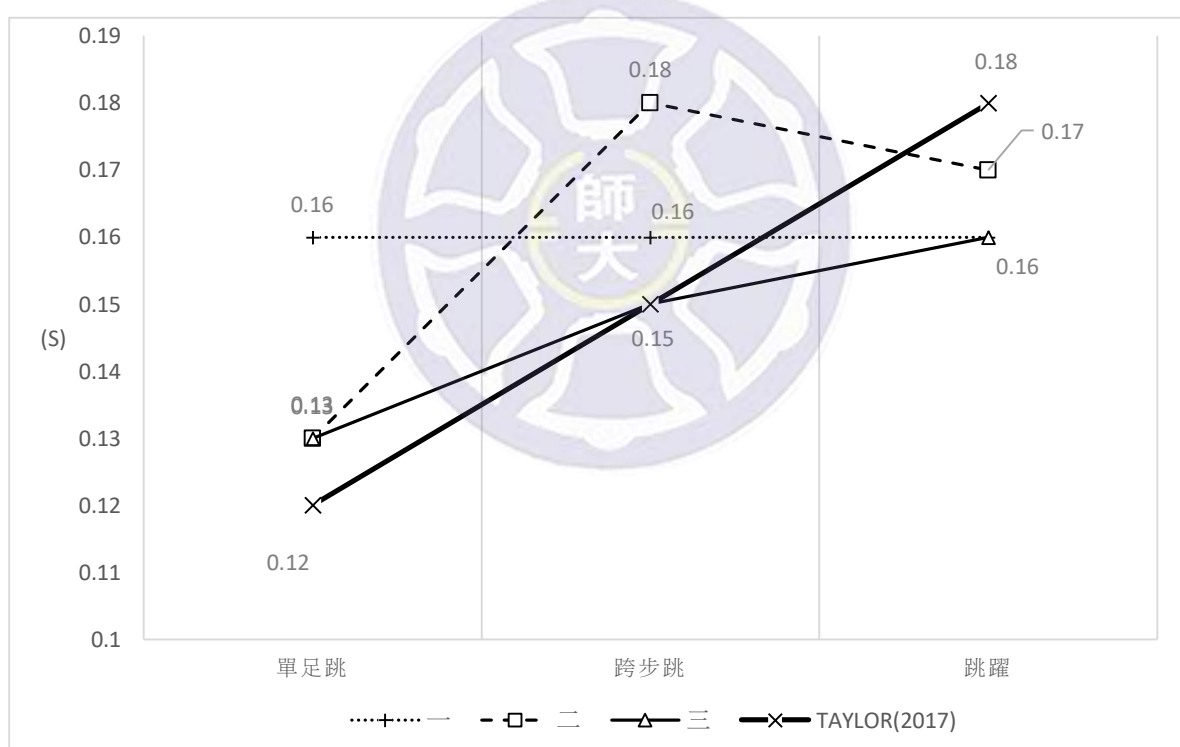


圖 4-7 觸地時間變化

第五章 討論

本章節將討論研究所得之結果，並透過國際田徑聯會公佈的 2017 年世界田徑錦標賽三級跳遠運動生物力學報告中冠軍得主 TAYLOR 的運動學參數加以比對和討論。內容分為：一、訓練前、後檢測結果討論；二、訓練前、後三級跳遠三跳比例檢測結果討論；三、訓練前、後三級跳遠助跑速度變化檢測結果討論；四、訓練前、後三級跳遠速度變化檢測結果討論；五、訓練前、後三級跳遠起跳角度，膝蓋彎曲角度與觸地時間變化檢測結果討論。

第一節 訓練前、後檢測結果討論

根據美國國家體能協會 (NSCA) 公佈的「一次最大反覆重量與百分比表格」(Percent of 1RM and Repetitions Allowed) (Baechle & Earle, 2008)，計算第一次檢測四分之一蹲的最大反覆重量 (1RM)，六下 150 公斤相等於 1RM 的 85%，即 1RM 為 176 公斤，第二次檢測的四下 165 公斤相等於 1RM 的 87%，即 1RM 為 183 公斤，而第三次檢測的三下 175 公斤相等於 1RM 的 93%，即 1RM 為 188 公斤，結果反映出最大力量的提升。由於爆發力是力量與速度的乘積，最大力量的提升是爆發力提升的前題，加上肌肉收縮的速度提升才會增加爆發力。透過 SJ 可檢測到身體處於靜止下的自主性爆發，CMJ 和五級跳則可檢測到利用牽張縮短循環所產生的爆發能力。第二次檢測的 CMJ 及五級跳有所提升 (從 67cm 至 69cm；從 19.6m 至 20.7m)，透過離心利用率 (EUR) 的計算，可了解運用牽張縮短循環 (SSC) 的能力，比率大於 1.0 時表示 SSC 的能力愈好，能產生較大爆發力達至較高跳躍高度，而比率小於 1.0 時則需加強 SSC 能力 (McGuigan et al., 2006)。從結果可見第二次檢測的離心利用率 (EUR) 有較接近 1.0 的比率 (從 0.931% 至 0.986%)，反映出經過三週訓練後，利用牽張縮短循環 (SSC) 的效率有所提升，而五級跳成績的提升亦進一步證明 SSC 的提升，因兩項測試都需利用肌肉和肌腱串聯彈性組織 (SEC) 與

伸展反射來產生爆發力。不過經過三週訓練後 SJ 沒有提升，反映短期的誘發式爆發力訓練有利提升利用伸展反射和彈性能量所產生的爆發力。完成八週訓練後，離心利用率超越了 1.0 (1.029%)，加上 CMJ 成績的提升 (從 69cm 至 72cm)，可證明誘發式爆發力訓練有助提高利用 SSC 的能力，從五級跳成績的提升 (從 20.7m 至 21.3cm) 中亦反映有助應用到專項相關的動態爆發力上。不過 SJ 成績的小幅度下降反映這種訓練方式對自主性爆發能力可能有小程度上的影響，但整體上有助爆發力的發展。至於是否有助三級跳遠運動表現，可透過分析運動學參數上的差異來了解。

第二節 訓練前、後三級跳遠三階段比例檢測結果討論

從表 4-3 和圖 4-1 同樣可見 TAYLOR 的參數，其跳躍階段的百分比最少大於單足跳階段 2% 以上，根據 1992 年 Hay 所定義的三種比例分配技術，此為跳躍主導技術。TAYLOR 在此階段表現出 6.40m、36% 比例成績，而筆者在三次檢測中，單足跳階段佔總距離比例最大，百分比最少大於跳躍階段 2% 以上，所以為單足跳主導技術，距離和比例分別表現出 5.57m、5.78m；39.1%、40.2% 比例。TAYLOR 的單足跳與另外兩階段之間的比例差異分別為 1.5% 及 3.2%，而筆者前兩次檢測成績中，單足跳與另外兩階段之間的比例差異超過 7% 以上，反映出筆者在比例分配不平衡，雖然以單足跳主導作比例分配，但 2017 年世界田徑錦標賽中以單足跳主導跳出 16.42m 的 DURANONA，比例分配上亦只表現出 37.5%；32.8%；34.4%，比例之間的差異不超過 5% (Tucker, Nicholson, Cooke & Bissas, 2017)。過多的比例分配與注重單足跳距離可能對後續兩階段產生負面影響，筆者在第三次檢測中表現出均衡技術主導的比例分配，距離成績有所提升，當中單足跳的距離減少，跨步跳與跳躍的距離提升。上述相關三階段比例變化需透過運動學上的參數分析來了解對運動表現之影響以及是否與爆發力提升有關。

第三節 訓練前、後三級跳遠助跑速度檢測結果討論

三級跳遠項目講求高水平速度起跳並於三個跳躍階段中盡可能維持水平速度。如圖 5-1 所示，第一次檢測中，助跑後段起跳前 10m 到起跳前 5m 分段與起跳前 5m 的水平速度變化幅度大，呈減速趨勢，速度下降 0.88m/s，可能成為其一因素影響後續運動表現。至於第二次檢測，雖然起跳前 10m 水平速度比第一次檢測較慢，但起跳前 5m 比起跳前 10m 至 5m 分段速度快，且比第一次檢測的起跳前 5m 快，反映出助跑加速起跳的趨勢，三級跳遠距離成績亦較第一次檢測佳，可見水平速度為三級跳遠影響成績的重要因素之一（Allen, Yeadon, King, 2016）。至於第三次檢測，起跳前 5m 雖然有小幅減速趨勢，但三級跳遠距離卻是三次檢測中最遠，當中考慮到減速幅度小以及爆發力的提升可能有助三級跳遠三階段跳躍，從而彌補水平速度下降的不足，致三級跳遠距離有增長。因此較佳爆發力對三級跳遠運動表現是有利的。



圖 5-1 三次檢測起跳前助跑速度比較

第四節 訓練前、後三級跳遠速度變化檢測結果討論

(一) 訓練前、後三級跳遠三階段水平速度檢測結果討論

三級跳遠的三階段水平速度的維持決定了跳躍的拋物線軌跡 (Graham-Smith, 1999)。從三階段的水平速度可反映出三級跳遠的成績差異，圖 5-2 為 2017 年世界田徑錦標賽三級跳遠冠軍得主 TAYLOR 跳出 17.68m 的參數，由圖可見其單足跳以及跨步跳上的水平速度較筆者高出超過 1m/s，兩者在前兩階段的距離差異在 1m 以上(見表 4-3)，雖然在跳躍階段中 TAYLOR 有較大幅度的水平速度下降，但仍較筆者的檢測結果高，且從表 4-3 可見其距離比筆者高出 1.5m 以上，當中可能涉及其他因素，如起跳瞬間水平與垂直速度、起跳角度等。但從此參數中已可反映三階段水平速度的與距離成績之間有一定的關係。然而，第三次檢測的單足跳的水平速度比前兩次檢測下降，因此影響單足跳距離，但跨步跳的水平速度下降幅度較少，但跨步跳距離較佳 (表 4-3)，至於跳躍的水平速度與第一次檢測相近，較第二次檢測慢，但距離卻是三次檢測中最好。經過誘發式爆發力訓練後，第二次檢測中的跨步跳與跳躍之間之水平速度差異性減少，而第三次檢測則是單足跳與跨步跳之間之水平速度差異性減少，其三級跳遠成績提升幅度較多，反映訓練可能有助於三階段間的水平速度維持，或許與 SSC 能力的提升有關，當中仍有待進一步了解是否與前兩階段之間的水平速度下降幅度較少有關或受其他因素所影響，但從 TAYLOR 的參數來看，前兩階段的水平速度似乎對距離成績更為有影響。

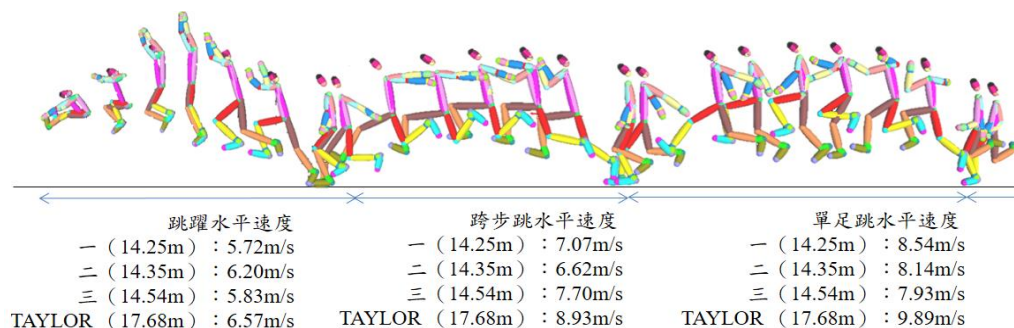


圖 5-2 三次檢測三階段水平速度

(二) 訓練前、後三級跳遠踏板與起跳瞬間速度檢測結果討論

比較 TAYLOR 的參數（圖 5-3），其三階段的起跳瞬間水平速度分別為 9.85m/s、8.52m/s、6.34m/s，前兩階段較筆者平均高出超過 1m/s，而起跳瞬間垂直速度同樣較筆者三次檢測平均值高，除跳躍階段外，前兩個階段都高出 0.5m/s。

起跳瞬間的水平與垂直速度是影響拋物線的重要因素（Hay & Miller，1985），由於每次起跳與地面接觸時都會產生能量流失，加上需要把部分水平速度轉換成垂直速度，所圖 5-3 反映出不論筆者或 TAYLOR，各階段的起跳瞬間水平速度都呈現出遞減趨勢（圖 4-4）。由此可證明，三級跳遠的成績取決於高起跳瞬間水平以及垂直速度。TAYLOR 在前兩個階段能表現出較高起跳瞬間水平速度，即使當中的下降幅度與筆者三次檢測成績相近，但其跨步跳的起跳瞬間水平速度仍能較筆者的單足跳起跳瞬間水平速度高及較筆者高的起跳瞬間垂直速度，因此在前兩個階段跳即能表現出超過 11m 的距離成績(表 4-3)，亦解釋到正因 TAYLOR 有較高的起跳瞬間水平速度，所以在三個階段的水平速度亦較高（圖 5-2）。到關跳躍階段，雖然筆者三次檢測的起跳瞬間水平速度接近 TAYLOR，且起跳瞬間垂直速度甚至較 TAYLOR 高，但表現出來的距離卻較差，這是與筆者在較低水平速度下產生較大垂直速度，影響拋物線的距離有關。從圖 5-3 或圖 4-4 可知，雖然 TAYLOR 的起跳瞬間水平速度隨每階段下降，但其起跳瞬間垂直速度變化幅度不大，反映出高水準三級跳遠運動表現需要在每階段中盡可能減少水平速度流失下，產生盡可能高的垂直速度的調控技術。而筆者在三次檢測中，前兩個階段在流失較多水平速度下同時起跳瞬間垂直速度亦不高，加上跳躍階段起跳瞬間為水平流失率最高的階段下，嘗試產生較高瞬間垂直速度，因此影響成績。

經過八週誘發式爆發力訓練後，筆者在起跳瞬間水平速度的表現趨勢與 TAYLOR 相似（圖 5-4），跨步跳的起跳瞬間水平速度與單足跳階段相較下降幅度較少，呈現 0.45m/s 差異，所以水平速度流失亦較少（0.30m/s），距離較遠（4.49m），而訓練前兩者的差異為 0.91m/s，水平速度流失較大（0.47m/s），所以距離較短，可見誘發式爆發力能改善單足跳與跨步跳接跳之間的水平速度維持能力。而跳躍的起跳瞬間水平速度與跨步跳階段相比下降幅度較大，以訓練前後為

例，分別為 1.15m/s 及 1.25m/s，反映出前兩個階段的水平速度維持直接影響三級跳遠距離，而前兩階段水平速度的維持能力則反映爆發力的提升與應用於三級跳遠運動表現的結果。

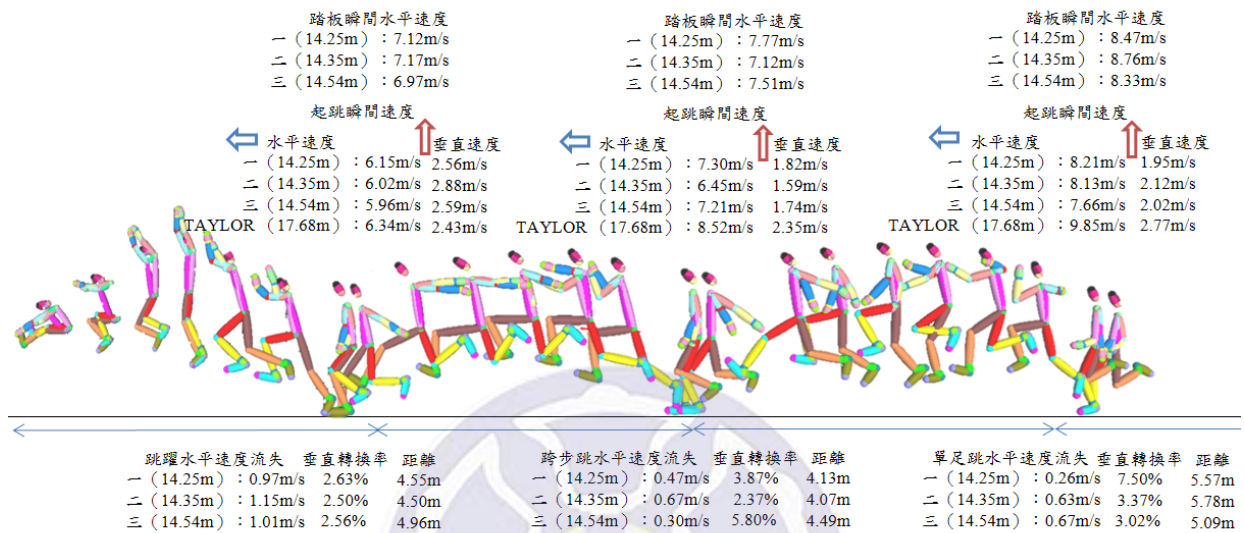


圖 5-3 三次檢測三階段瞬間速度

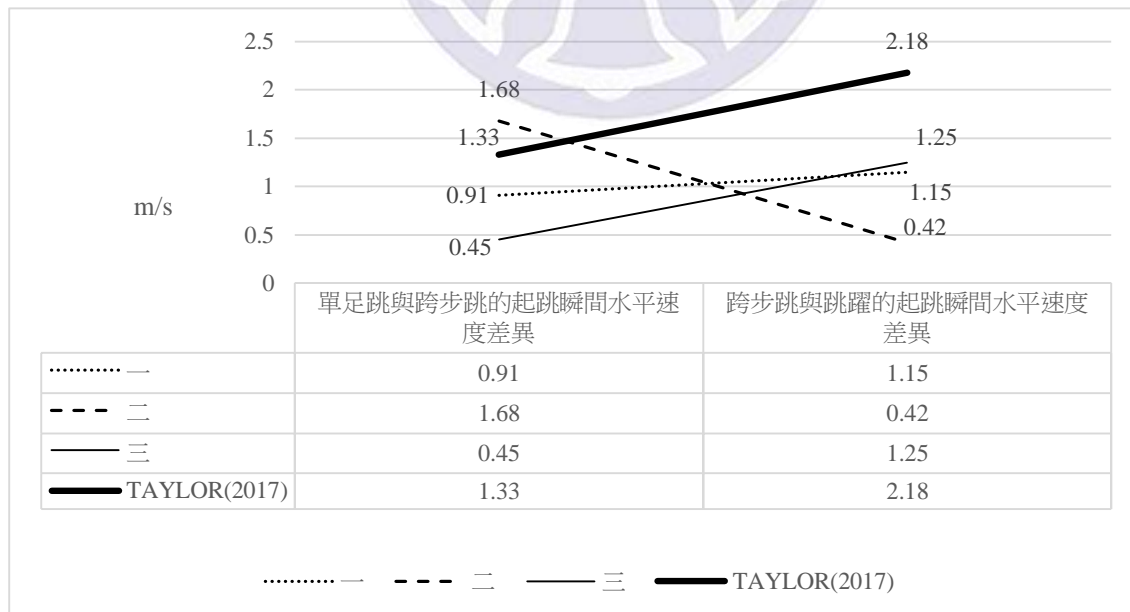


圖 5-4 各階段之間的起跳瞬間水平速度差異

第五節 訓練前、後起跳角度、膝關節角度與觸地時間檢測結果討論

(一) 訓練前、後三級跳遠起跳角度變化結果討論

圖 5-5 (或圖 4-4) 顯示出 TAYLOR 與筆者起跳角度變化的比較，圖中可見採用跳躍主導技術的 TAYLOR 在前兩階段都有非常接近的起跳角度，分別為 15.7° 和 15.4° ，差異只有 0.3° ，在最後的跳躍階段有較大起跳角度 (21°)，解釋了其三階段比例分配技術的特點，前兩階段以較穩定的起跳角度維持較高水平速度，於第三階段跳躍再提升起跳角度以產生盡可能大的拋物線。然而，比較筆者的參數，筆者採用單足跳主導技術下的單足跳起跳角度比 TAYLOR 低，距離亦較短，且跨步跳的起跳角度下降幅度較大，以成績最佳的第三次檢測為例，跨步跳與單足跳起跳角度的差異為 3.4° ，比 TAYLOR 的 0.3° 大，加上兩者起跳瞬間水平與垂直速度的差異 (圖 5-3)，解釋了筆者三級跳遠拋物線距離較短的原因。這也可反映了在提升爆發力及起跳瞬間水平速度前題下，如何有效率產生起跳瞬間垂直速度，有利起跳角度，是起跳技術的關鍵。而本研究之爆發力訓練計劃雖然能提升三階段跳間的水平速度維持，但並未能有效的改善三級跳遠起跳角度，影響了技術表現。

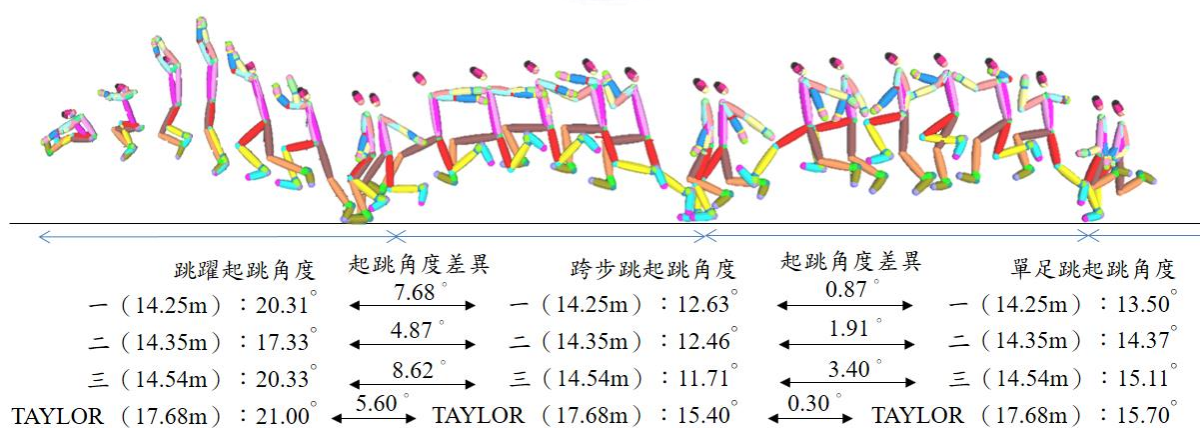


圖 5-5 三次檢測三跳起跳角度

(二) 訓練前、後三級跳遠膝關節角度變化結果討論

從膝蓋彎曲幅度變化可見，誘發式爆發力訓練提升了下肢對抗屈曲的能力，減少能量流失。第一次檢測的變化幅度大，三階段中最大變化幅度與最小值之間差異達 11.5° ，第二次檢測有所改善，差異只有 6.91° ，而第三次檢測只有 2.27° 。從三級跳遠成績角度來看，三階段接跳的膝關節角度變化差異愈少，成績愈好。從理論上看，下肢抵抗屈曲能力愈好，即下肢勁度愈好，有助觸地後的接跳表現 (Turner & Jeffreys, 2010)，但當中同樣需要考慮力量的輸出，水平速度，垂直速度和起跳角度等因素。IAAF 的報告中沒有 TAYLOR 的觸地時膝關節角度，無法計算其幅度變化，但單純從其最大膝關節角度來看，三階段之間的差異性比筆者大，差異性可達 20° ，而筆者每階段之間的最大彎曲度差異不超過 10° 。如圖 5-6 所示，TAYLOR 每階段的最大膝關節角度遞增，當中可能因其速度較高，需抵抗的力量較大，但同時能夠維持較佳的跳躍距離，反映出 TAYLOR 承受下肢屈曲壓縮的能力強，能夠利用較大幅度的 SSC，儲存並釋放更多彈性能量。

從筆者的參數來探討 (圖 5-6)，觸地時膝關節的幅度變化可反映下肢勁度的強弱，壓縮幅度愈少，即抵抗屈曲的能力愈好，表示下肢勁度愈好，可影響接跳的表現 (Turner & Jeffreys, 2010)，以單足跳為例，第一次檢測表現出 5.57m 的距離，膝關節的壓縮幅度為 8.75° ，第二次檢測表現出 5.78m 的距離，膝關節的壓縮幅度只有 6.57° ，而第三次檢測的單足跳距離較短，為 5.09m，膝關節的壓縮幅度則較大，為 11.71° ，反映出膝關節的壓縮幅度可視為下肢勁度的表現，並影響跳躍距離。整體而言，經過訓練後，爆發力的提升雖然未能有效結合改善三級跳遠起跳角度上的技術表現，但仍能應用到三級跳遠觸地過程中的表現，當中觸地時膝關節的壓縮幅度減少，即下肢勁度得以改善，令觸地時的能量流失減少，解釋了水平速度維持能力的提升，成為影響三級跳遠距離的因素之一。

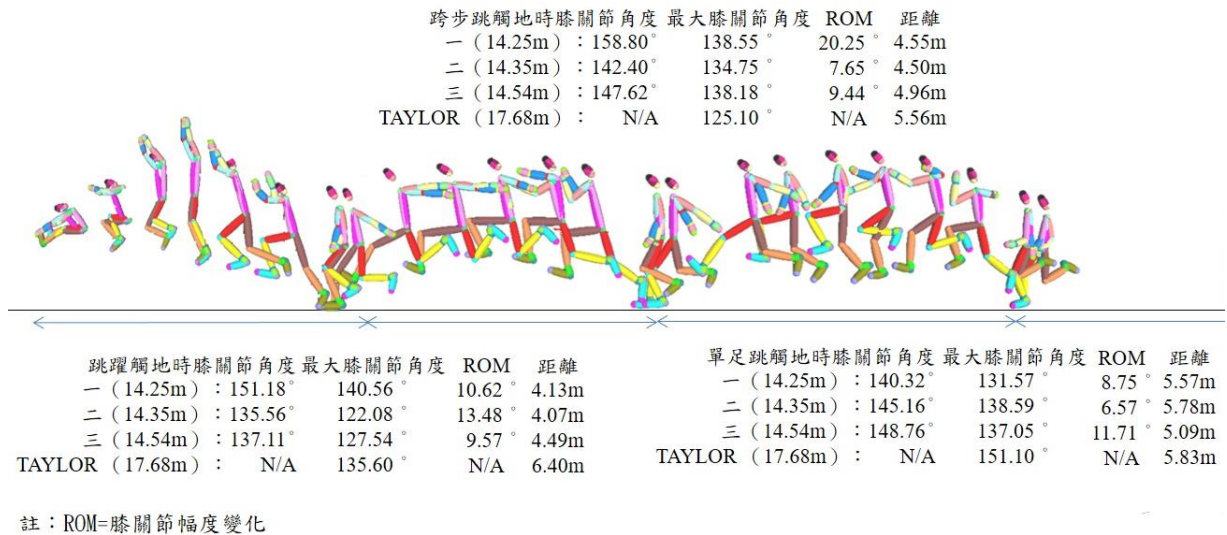


圖 5-6 三次檢測三階段膝關節角度

(三) 訓練前、後三級跳遠觸地時間變化結果討論

從圖 5-7 可見，TAYLOR 三級跳遠過程中的觸地時間呈現每階段增加趨勢，因每階段需承受非常大的負荷，加上觸地時的能量流失造成水平速度的下降，所以每階段的觸地時間遞增為合理現象。前兩階段較短的觸地時間解釋了 TAYLOR 在前兩階段能維持較高水平速度的原因，在觸地時承受大負荷支撐下，為避免過多水平速度流失，呈現了更短觸地時間的技術表現。而第三階段較長觸地時間則反映出水平速度的下降以及在最後階段盡可能轉換更多起跳垂直速度，以產生較大拋物線軌跡。至於筆者的參數中，第一次檢測中三階段的觸地時間都相同，第二次檢測的觸地時間不規律，兩者的三級跳遠成績相近，可見雖然爆發力有所提升，但未能轉移到三級跳遠運動表現上，而第三次檢測的觸地時間變化上的模式較接近 TAYLOR，同樣呈遞增現象，亦有較佳三級跳遠成績，所以觸地時間呈每階段遞增可解釋為每階段能量流失以致水平速度下降所造成的合理現象。從水平速度維持的角度來看，較短的觸地時間能維持較高水平速度，以跨步跳為例，第三次檢測表現出 0.15s 的觸地時間，其起跳水平速度流失只有 0.3m/s，而第二次檢測表現出 0.18s 的觸地時間，起跳水平速度流失則為 0.67m/s，此現象亦與下肢勁度有關，經訓練後，由於下

肢勁度得以改善，減少了觸地時膝關節的壓縮幅度，SSC 過渡階段的時間亦相對減少，因此造成觸地時間減少以及水平速度維持提高之現象。

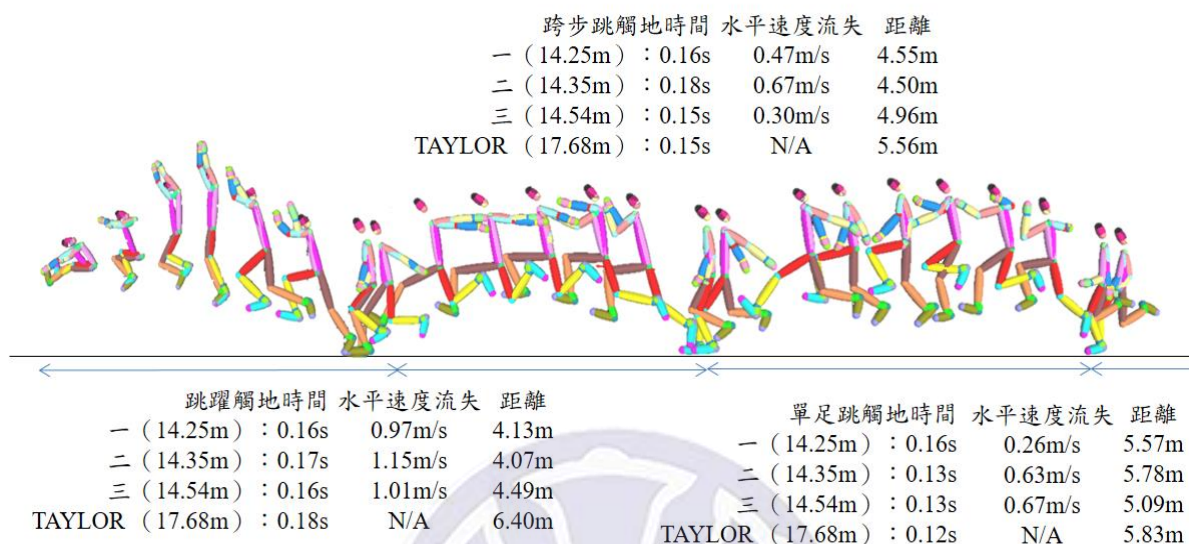


圖 5-7 三次檢測三階段觸地時間

(四) 研究結果限制討論

本個案研究原定於六週訓練計劃後為全國大專運動會，進行檢測實驗時應調整至最佳競技狀態，由於受到武漢肺炎疫情影響令大專運動會延期，加上第五及第六週未能於沙池結合三級跳遠專項技術，因此研究訓練計劃改為八週，研究過程中，第四週檢測成績為 14.35m，第五週比賽成績為 14.29m，當時正值防疫關鍵階段，校園及社會氣氛緊張，未能完全集中於受到一定影響訓練及比賽中，不論生理及心理上受到一定影響。雖然誘發式爆發力訓練計劃仍按原定計劃完成，但相信筆者身心仍受到一定影響，未能調整至最佳競技狀態進行實驗。然而，經過八週誘發式爆發力訓練及完成第九週的第三次檢測後，筆者開始進入調整，以準備三週後（即第十三週）的 109 年臺北市青年盃田徑賽，最後跳出 14.91m 成績。本個案研究受心理強度下降有所限制，亦未有安排比賽調整，誘發式爆發力訓練後的調整階段可能為

重要的恢復階段，乎合 Tillin 與 Bishop (2009) 提出的活化後增益作用理論模型 (圖 5-8)，增益作用與疲勞階段同時出現，隨著恢復令疲勞減少，增益作用得以提高運動表現。此理論模型是否同時適用於活化後增益作用的即時性效果及長期適應，可作為後續研究的議題。

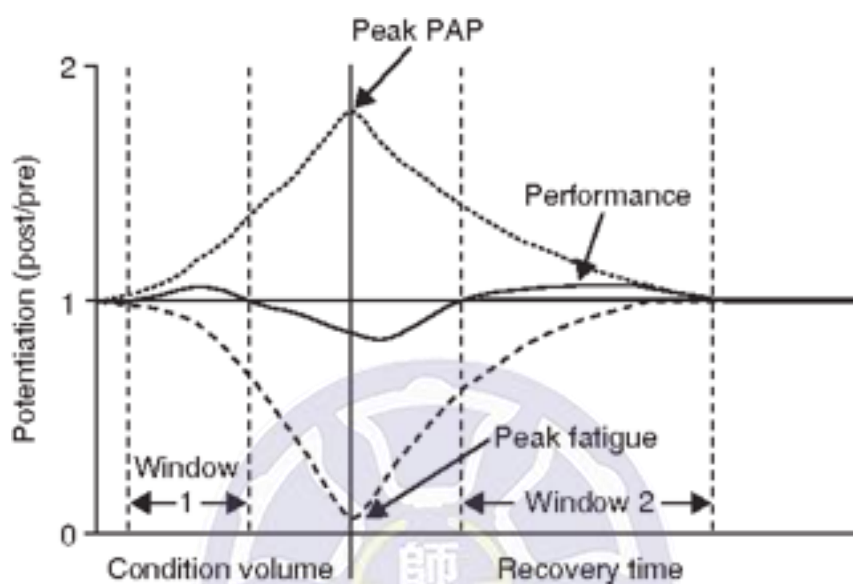


圖 5-8 活化後增益作用理論模型

第陸章 結論與建議

第一節 結論

本研究目的主要藉由誘發式爆發力訓練探討對三級跳遠運動表現的影響。透過分析三級跳遠過程中的速度、起跳與膝蓋角度等參數與成績的關係，以了解誘發式爆發力訓練後相關參數的變化情形。綜合研究結果與討論，所得之結論如下：

- (一) 誘發式爆發力訓練可產生活化後增益作用的長期適應效果，增加了離心利用率，促進肌肉牽張縮短循環（SSC）的效能，提升爆發力表現。
- (二) 經過誘發式爆發力訓練，三級跳遠過程中的水平速度變化、觸地時間變化更趨向世界最頂尖運動員之模式。
- (三) 雖然三級跳遠有三種比例分配技術類型，但各階段之間的比例差異不能太大，避免影響三級跳遠表現。
- (四) 水平速度是影響三級跳遠成績的關鍵因素之一，但同時需配合相應的爆發力，較差爆發力下，利用較高水平速度進行三級跳遠會對成績產生負面影響。
- (五) 跨步跳階段的水平速度維持為三階段中最關鍵因素，起跳瞬間水平速度流失較少可產生各階段較佳距離，藉由誘發式爆發力訓練後，有助改善單足跳與跨步跳之間的起跳效率。
- (六) 透過誘發式爆發力訓練能改善三級跳遠觸地時間，減少觸地時膝關節的壓縮幅度，改善下肢勁度，提升水平速度維持能力及運動表現。

第二節 建議

綜合上述所得結論，提出建議如下：

- (一) 三級跳遠為一項高技術性的運動項目，日後可安排較長的實驗訓練計劃，當中包含調整階段，除確定可產生活化後增益作用的長期適應外，並可了解應用於三級跳遠專項技術所需之時間，以利於日後田徑教練安排訓練計劃時，更有效提升爆發力及應用到三級跳遠運動表現。
- (二) 進行三級跳遠訓練時，需因應運動員的爆發力水準，調控相應的三級跳遠助跑速度，以維持單足跳和跨步跳階段水平速度為主，避免大幅度的水平速度變化是提升三級跳遠表現的關鍵因素。
- (三) 由於此研究為個案分析，只有單一樣本，未能進行統計學分析以了解各參數之間的相互關係，所以有待日後作進一步研究。



參考文獻

- Allen, S. J., Yeadon, M. R., King, M. A. (2016). The effect of increasing strength and approach velocity on triple jump performance. *Journal of Biomechanics*, 49(16), 3796–3802. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.10.009
- Allen, S. J., King, M. A., & Yeadon, M. (F. (2016). Optimisation of phase ratio in the triple jump using computer simulation. *Human Movement Science*, 46, 167–176. doi: 10.1016/j.humov.2015.12.012
- Allen, S. J., King, M. A., & Yeadon, M. R. (2013). Trade-offs between horizontal and vertical velocities during triple jumping and the effect on phase distances. *Journal of Biomechanics*, 46, 979–983
- Addie, C. D., Arnett, J. E., Neltner, T. J., Straughn, M. K., Greska, E. K., Cosio-Lima, L., & Brown, L. E. (2019). Effects of Drop Height on Drop Jump Performance. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 7(4), 28. doi: 10.7575/aiac.ijkss.v.7n.4p.28
- Antonini, S. (2015). Biomechanics of the triple jump: technical, coordinative and muscular aspects. *Science & Sport*, 26:13-8.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002) Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326. doi: 10.1152/jappphysiol.00283.2002

Bridgett, L. A., & Linthorne, N. P. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences*, 24(8), 889-897. doi:10.1080/02640410500298040

Baechle, T.R., & Earle, R.W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign: Human Kinetics.

Čoh, M., & Kugovnik, O. (2011). Variability Of Biomechanical Parameters In The Triple Jump Technique – A Case Study. *Sportlogia*, 7(2), 113–121. doi:10.5550/sgia.110702.en.113c

Coh, M., Zvan, M., & Kugovnik, O. (2017). Kinematic and Biodynamic Model of the Long Jump Technique. *Kinematics*. doi:10.5772/intechopen.71418

Ebben, W. P. (2002) Complex training: A brief review. *Journal of Sport Science and Medicine*, 1: 42–46.

Eissa, A. (2014). Biomechanical Evaluation of the Phases of the Triple Jump Take-Off in a Top Female Athlete. *Journal of Human Kinetics*, 40(1), 29-35. doi:10.2478/hukin-2014-0004

Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 470. doi: 10.1519/1533-4287

Grahman-Smith, P., & Lees, A. (1994). British triple jumpers 1993: approach speeds, phase distances and phase ratios. *Athletic Coach*, 28, 5–12.

Gotas, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 95–106. doi: 10.1515/hukin-2015-0197

Hay, J. G., & Miller, J. A. (1985). Techniques Used in the Triple Jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1(2), 185-196. doi:10.1123/ijsb.1.2.185

Hakkinen, K. and Komi, P.V. (1985b). The effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercise. *Scandinavian Journal of Sports Science*. 7: 65-76.

Hay, J. G. (1992) The biomechanics of the triple jump: a review. *Journal of Sport Science*, 10(4), 343– 378.

Hay, J. G. (1999) Effort distribution and performance of Olympic triple jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 15: 36-51

Hay, J. G. and Reid, J. G. (1988). *Anatomy, Mechanics and Human Motion*. 2nd edition. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J

Haff, G., & Triplett, N. T. (2016). *Essentials of strength training and conditioning*. Fourth edition. Champaign, IL: Human Kinetics.

Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-Activation Potentiation: Underlying Physiology and Implications for Motor Performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585–595. doi: 10.2165/00007256-200535070-00004

Lowery, R. P., Duncan, N. M., Loenneke, J. P., Sikorski, E. M., Naimo, M. A., Brown, L. E., Wilson, F. G., Wilson, J. M. (2012). The Effects of Potentiating Stimuli Intensity Under Varying Rest Periods on Vertical Jump Performance and Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12), 3320–3325. doi: 10.1519/jsc.0b013e318270fc56

McGuigan, M. R., Doyle, T. L., Newton, M., Edwards, D. J., Nimphius, S., & Newton, R. U. (2006). Eccentric Utilization Ratio. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 992–995. doi: 10.1519/00124278-200611000-00042

Miladinov, O., & Bonov, P. (2004). Individual approach in improving the technique of triple jump for women. *New Studies in Athletics*, 4, 27–36

Morin, J. B., Dalleau, G., Kyröläinen, H., Jeannin, T., & Belli, A. (2005). A Simple Method for Measuring Stiffness during Running. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(2), 167–180. doi: 10.1123/jab.21.2.167

Newton, R. U. (1997). Expression and development of maximal muscle power. Southern Cross university, Lismore, Australia

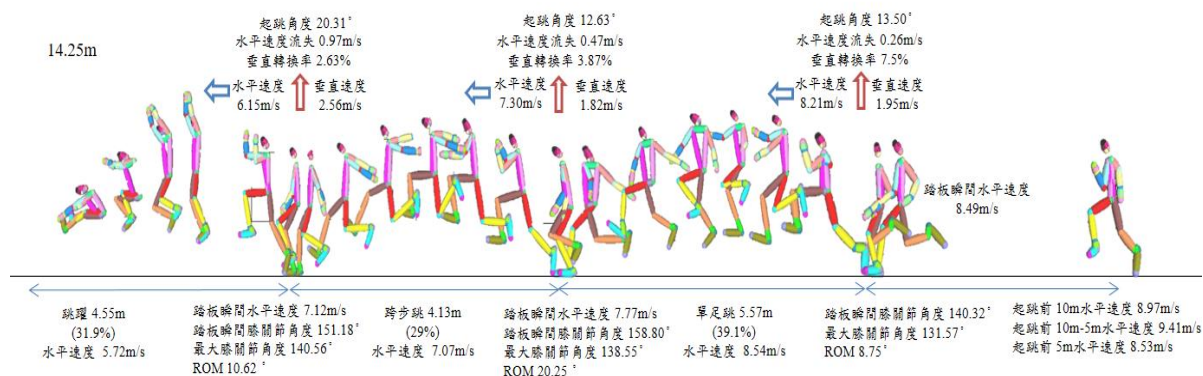
Philip, G. S. (1999). The Kinematics and Kinetics of jumping for distance with particular reference to the long and triple jumps (Doctoral thesis, Liverpool John Moores University). Retrieved from <http://researchonline.ljmu.ac.uk/5069/1/313164.pdf>

- Struzik, A., Juras, G., Pietraszewski, B. & Rokita, A. (2016). Effect of drop jump technique on the reactive strength index. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 157–164. doi: 10.1515/hukin-2016-0003
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147–166. doi: 10.2165/00007256-200939020-00004
- Toumi, H., Best, T. M., Martin, A., & Poumarat, G. (2004). Muscle Plasticity after Weight and Combined (Weight Jump) Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(9), 1580–1588. doi: 10.1249/01.mss.0000139896.73157.21
- Tucker, C., Nicholson, G., Cooke, M., & Bissas, A. (2017) Biomechanical Report for the IAAF World Championships LONDON 2017 Triple Jump Men's. *Carnegie School of Sport*
- Tucker, C., Bissas, A. (2018) Biomechanical Report for the IAAF World Indoor Championships 2018 Triple Jump Men. *Carnegie School of Sport*
- Turner, A. N., & Jeffreys, I. (2010). The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4), 87-99. doi:10.1519/ssc.0b013e3181e928f9

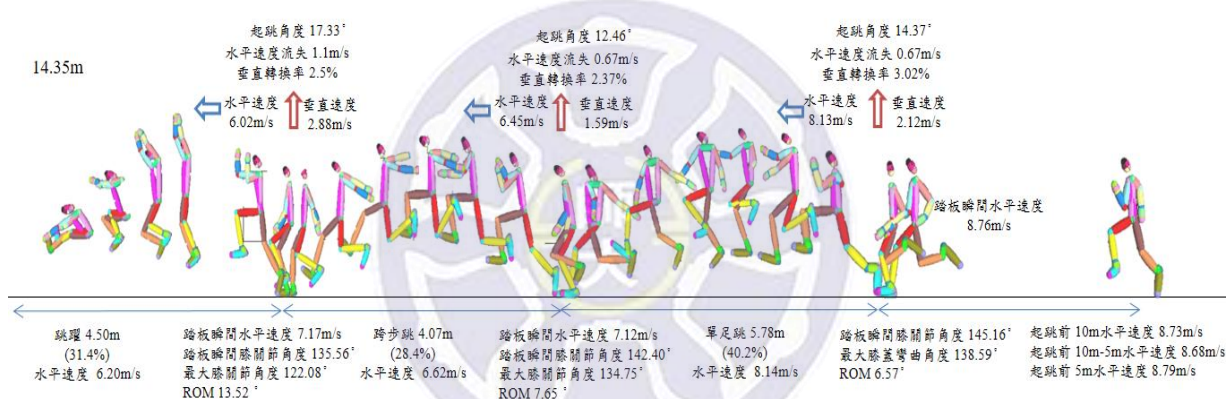
附錄一、三級跳遠檢測參數總結表

		一	二	三	TAYLOR (2017)
起跳前 10m 平均水平速度(m/s)		8.97	8.73	8.83	N/A
起跳前 10m-5m 平均水平速度(m/s)		9.41	8.68	8.56	N/A
起跳前 5m 平均水平速度(m/s)		8.53	8.79	8.79	N/A
單足跳	踏板瞬間水平速度(m/s)	8.49	8.76	8.33	N/A
	起跳瞬間水平速度(m/s)	8.21	8.13	7.66	9.66
	起跳瞬間垂直速度(m/s)	1.95	2.12	2.02	2.55
	水平速度流失(m/s)	.26	.63	.67	N/A
	垂直轉換率(%)	7.50	3.37	3.02	N/A
	起跳角度(°)	13.50	14.37	15.11	14.80
	觸地膝蓋彎曲角度(°)	140.32	145.16	148.76	N/A
	最大膝蓋彎曲角度(°)	128.57	138.59	137.05	151.50
	觸地時間(s)	0.16	0.13	0.13	0.12
跨步跳	踏板瞬間水平速度(m/s)	7.77	7.12	7.51	N/A
	起跳瞬間水平速度(m/s)	7.39	6.45	7.21	8.10
	起跳瞬間垂直速度(m/s)	1.82	1.59	1.74	2.76
	水平速度流失(m/s)	.47	.67	.30	N/A
	垂直轉換率(%)	3.87	2.37	5.80	N/A
	起跳角度(°)	12.63	12.46	11.71	18.80
	觸地膝蓋彎曲角度(°)	158.80	142.40	147.62	N/A
	最大膝蓋彎曲角度(°)	138.55	134.75	138.18	125.10
	觸地時間(s)	0.16	0.18	0.15	0.15
跳躍	踏板瞬間水平速度(m/s)	7.12	7.17	6.97	N/A
	起跳瞬間水平速度(m/s)	6.19	6.02	5.96	6.46
	起跳瞬間垂直速度(m/s)	2.56	2.88	2.59	3.42
	水平速度流失(m/s)	.97	1.10	1.01	N/A
	垂直轉換率(%)	2.63	2.50	2.56	N/A
	起跳角度(°)	20.31	17.33	20.33	27.90
	觸地膝蓋彎曲角度(°)	151.18	135.56	137.11	N/A
	最大膝蓋彎曲角度(°)	140.56	122.08	127.4	135.60
	觸地時間(s)	0.16	0.17	0.16	0.17

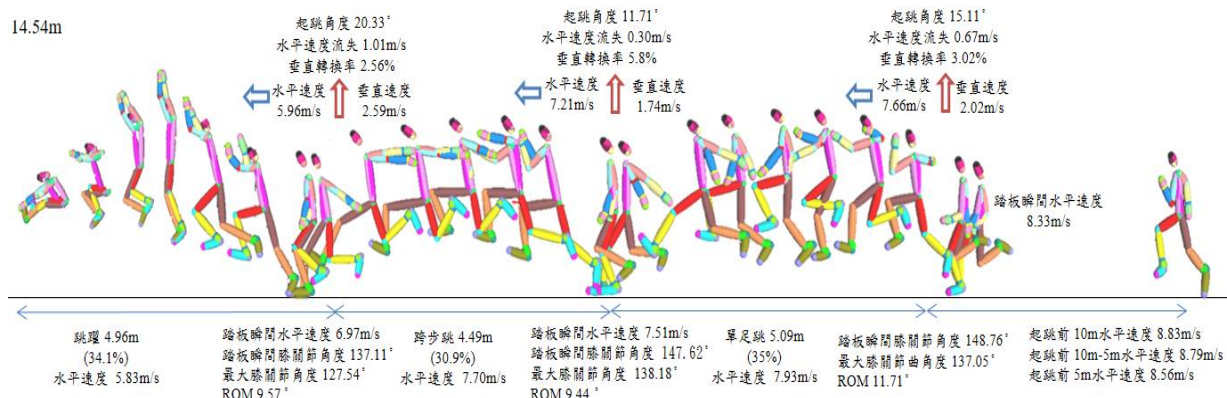
附錄二、三級跳遠檢測參數整合圖



三級跳遠第一次檢測參數整合圖



三級跳遠第二次檢測參數整合圖



三級跳遠第三次檢測參數整合圖