

國立臺灣體育學院體育研究所  
碩士學位論文

男子跳馬直體塚原轉體二周半之運動學分析  
- 以我國選手林永錫為例

The kinematic analysis of Tsukahara stretch 2 1/2 of  
male vaulting—A case study for Yung –His –Lin



研 究 生：梁梅宗 撰

指導教授：沈易利 教授

中華民國九十二年六月

論文名稱：男子跳馬直體塚原轉體二周半之運動學分析 - 以我國選手  
林永錫為例

總頁數：47

院校組別：國立臺灣體育學院體育研究所

畢業時間及提要別：九十一學年度第二學期碩士學位論文提要

研 究 生：梁梅宗

指導教授：沈易利

### 中文摘要

本研究主要目的在探討男子跳馬直體塚原轉體二周半之運動學分析，以我國選手林永錫為研究對象，研究中以兩部 Redlake 高速攝影機（250Hz）及一部 LDM300C 高頻測速槍（100Hz）進行動作過程的拍攝，並使用 Acqknowledge 分析軟體進行助跑過程速度相關運動學參數的分析及 WinAnalysis 三度空間影像數位化系統軟體進行跳馬推撐及第二飛程動作分析。研究結果發現：林選手的助跑瞬間最大速度為 9.27m/s、踏板速度為 8.52m/s；第一飛程時離板垂直速度為 4.04m/s、水平速度為 7.50m/s、踝關節速度為 7.23m/s、髖角為 178m/s、騰起角為 37 度；推撐階段時的撐馬角為 34 度、推離角為 64 度、撐馬重心水平速度為 4.82m/s、垂直速度為 3.45m/s、推離馬時重心水平速度為 3.78m/s、重心垂直速度為 3.41m/s、推離馬時重心離馬水平高度為 0.63m、推撐時間為 0.19 秒；第二飛程重心橫軸翻轉角速度平均為 7.72rad/s、重心縱軸旋轉角速度平均為 16.7rad/s、重心離地面最高點為 2.93m、第二飛程時間為 1.06 秒；落地瞬間軀幹與大腿的夾角為 136.3 度、大腿與小腿的夾角為 108.5 度、水平速度為 3.12m/s、垂直速度為 4.87m/s、落地瞬間重心與支撐點所成的夾角為 68.8 度。因此由相關數據可知實驗參與者具有快速的助跑速度、踏板速度、較長的第二飛程時間、較高的騰空高度、良好的轉體技術及穩定的落地技術，而結合相關的基本能力，才能完成直體塚原轉體二周半的高難度動作。

關鍵詞：直體塚原轉體兩周半、助跑、踏板速度、第一飛程、撐馬角、推離角、第二飛程、落地

Liang, Mei-Chung (2003). The kinematic analysis of Tsukahara stretch 2 1/2 of male vaulting –A case study for Yung –His –Lin. Unpublished master's thesis, National Taiwan College of Physical Education, Taichung.

### Abstract

The purpose of this study was to discuss the kinematic analysis of Tsukahara stretch 2 1/2 of male vaulting. The subject was Yung-His-Lin. Two redlake high speed video cameras at 250 Hz and one LDM300 high frequency speed testing machine (100Hz) used to record the performance, then used Acqknowledge software to do some kinematic parameters analysis of approach and Winanalysis 3 dimension visualization digitized software to do blocking and postflight movement analysis. The result was as the follows :

1. The max velocity of approach was 9.27m/s.
2. Boarding velocity was 8.52m/s.
3. Preflight take off vertical velocity was 4.04m/s and horizontal velocity was 7.5m/s; ankle velocity was 7.23m/s ;hip angle was 178 degrees.
4. The horse contacting angle was 37 degrees ;horse departing angle was 64 degrees ;horse contacting horizontal velocity of center of mass(CM) was 4.82m/s ;vertical velocity was 3.45m/s .
5. The height of horse departing was 0.63m; blocking time was 0.19 secs.
6. The mean cross axle angular velocity of CM at postflight was 7.72rad/s.
7. The mean vertical axle angular velocity of CM at postflight was 16.7rad/s.
8. The max height of postflight was 2.93m; time was 1.06 secs.
9. The angle of trunk and thigh was 136.3 degrees at landing phrase ;the thigh and shank was 108.5 degrees ;horizontal velocity was 3.12m/s; vertical velocity was 4.87m/s; angle of landing phrase was 68.8 degrees .

The result indicated the following: the subject should have faster velocity at approach and boarding ; longer postflight time; higher postflight height ; better twisting technic and stable landing technic. The gymnast should combine the basic ability and then he can perform the better Tsukahara stretch 2 1/2..

Key words : Tsukahara stretch 2 1/2、 approach、 boarding velocity、 preflight、 horse contacting angle 、 horse departing angle 、 postflight 、 landing

# 目 次

中文摘要

英文摘要

謝 誌

目 次

表 次

圖 次

第一章 緒論 1

第一節 問題背景 1

第二節 研究目的 2

第三節 研究範圍與限制 2

第四節 名詞解釋 2

第二章 文獻探討 5

第一節 器材革新對跳馬動作技術之影響 5

第二節 跳馬動作技術相關文獻探討 6

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 一、跳馬助跑相關文獻之探討            | 6  |
| 二、跳馬第一飛程至第二飛程動作技術相關文獻之探討 | 8  |
| 三、跳馬落地技術相關文獻之探討          | 10 |
| 第三節 結語                   | 13 |
| 第參章 研究方法與步驟              | 14 |
| 第一節 研究對象                 | 14 |
| 第二節 實驗儀器與設備              | 15 |
| 第三節 實驗時間與地點              | 16 |
| 第四節 實驗步驟                 | 16 |
| 第五節 資料收集與處理              | 19 |
| 第肆章 結果與討論                | 21 |
| 第一節 助跑速度變化               | 21 |
| 一、助跑過程各運動學參數             | 21 |
| 二、助跑過程各位置的速度曲線分析         | 22 |
| 第二節 第一飛程至推撐階段各關節角度及重心速   |    |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 度變化                        | 24 |
| 一、第一飛程重心速度及關節角度變化          | 24 |
| 二、推撐階段相關運動學參數探討            | 29 |
| 第三節 第二飛程相關運動學參數分析          | 35 |
| 一、第二飛程橫軸翻轉及縱軸旋轉運動學參數<br>分析 | 35 |
| 二、第二飛程重心相關運動學參數分析          | 37 |
| 第四節 落地運動學參數分析              | 38 |
| 第五節 綜合討論                   | 39 |
| 第伍章 結論與建議                  | 42 |
| 第一節 結論                     | 42 |
| 第二節 建議                     | 43 |
| 參考文獻                       | 44 |
| 附錄：實驗參加者同意書                | 47 |

## 表 次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 表 1:助跑過程中各運動學參數                      | 21 |
| 表 2:第一飛程的重心速度運動學參數                   | 24 |
| 表 3:第一飛程觸板至離板瞬間髖、膝、踝、肩及騰起角<br>各運動學參數 | 28 |
| 表 4:推撐階段各運動學參數                       | 30 |
| 表 5:第二飛程重心相關運動學參數                    | 37 |
| 表 6:落地各關節相關運動學參數                     | 38 |

## 圖 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 圖 1:新式跳馬之圖樣               | 3  |
| 圖 2:直體塚原轉體二周半             | 3  |
| 圖 3:羅杰跳動作落地穩定（墊上）力學模式圖    | 12 |
| 圖 4:林永錫與研究者合影             | 14 |
| 圖 5:LDM300C 高頻測速槍         | 15 |
| 圖 6:實驗場地儀器架設配置圖           | 17 |
| 圖 7:實驗流程圖                 | 18 |
| 圖 8:本研究關節點擷取圖             | 20 |
| 圖 9:全程助跑速度變化曲線圖           | 23 |
| 圖 10：第一飛程身體重心垂直及水平速度變化曲線圖 | 26 |
| 圖 11:第一飛程踝關節速度變化曲線圖       | 27 |
| 圖 12:推撐至離馬階段肩角、髖角及推撐角變化曲線 |    |
| 圖                         | 33 |
| 圖 13:推撐至離馬階段重心水平、垂直速度及踝關節 |    |
| 速度曲線圖                     | 34 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 圖 14:重心橫軸翻轉角速度曲線圖 | 35 |
| 圖 15:重心縱軸翻轉角速度曲線圖 | 36 |

# 第壹章 緒論

## 第一節 問題背景

男子跳馬項目起源於 20 世紀 30 年代，當時跳馬比賽的內容只是一些簡單動作。到了 50 年代後跳馬動作的技術發展才逐漸改變，至今日跳馬運動的競賽中，運動員在助跑、墊步、進入踏板起跳後 180 度推撐第二飛躍加轉體動作的頻率越來越平凡。Hay (1993) 為了進行動作的解析，以方便分析描述動作，將其跳馬過程區分成：助跑 (run-up)、墊步 (hurdle step)、踏板起跳 (takeoff)、第一飛程 (preflight)、推撐 (support)、第二飛程 (flight)、著地 (landing) 等七個階段所串連而成。

基於跳馬器材的改變及規則的修訂，跳馬發展趨勢預期將會更有突破性的改變與進步，跳馬之技術發展除了速度、入板、推撐外也涵蓋了推撐後的第二飛程高度及動作變化和著地。

林永錫選手參加 2001 年東亞運獲得跳馬項目銀牌得主，也是目前國內男子體操選手中極具發展性的年輕好手，本人對於林永錫選手跳馬塚原二周半之世界級的動作（起評分 9.9）進行研究分析，希望藉由研究分析瞭解塚原轉體二週半的整個過程，以做為選手修正動作與訓練新選手的參考。

現今各大國際體操賽事均採用新式跳馬為比賽時之器材，而國內對新式跳馬的不足，以致於對新式跳馬的適應及

技術正處於調適階段，如新式跳馬器材能普及各訓練點，本研究結果亦可提供教練或選手對於塚原轉體二周半技術之參考。

## **第二節 研究目的**

本研究的主要目的在探討（一）林永錫跳馬直體塚原轉體二周半技術之運動學特徵。（二）分析並提供國內男子競技體操選手在跳馬直體塚原轉體二周半之技術提昇研究。

## **第三節 研究範圍與限制**

本研究係針對起評分 9.9 分之高難度跳馬動作塚原轉體二周半作為運動學分析內容，而國內目前僅有林永錫選手具備此項動作能力，在研究範圍上僅有林永錫與直體塚原轉體二周半等二項，研究結果無法與其他選手進行比較分析，此為研究的主要限制。

## **第四節 名詞解釋**

- 1.新式跳馬：2001 年國際體操總會（FIG）所認可之跳馬比賽用器材，如圖 1，馬背長寬 100 公分×100 公分，馬背約成 30 度仰角、男子 135 公分。



圖 1：新式跳馬之圖樣

2. 直體塚原轉體二周半：在 2001-2004 年國際男子體操規則之動作類組與編號為 2.304，起評分為 9.9 分。如圖 2：雙腳踏板起跳側翻內轉體 1/2 撐馬背離馬後轉體二周半著地。

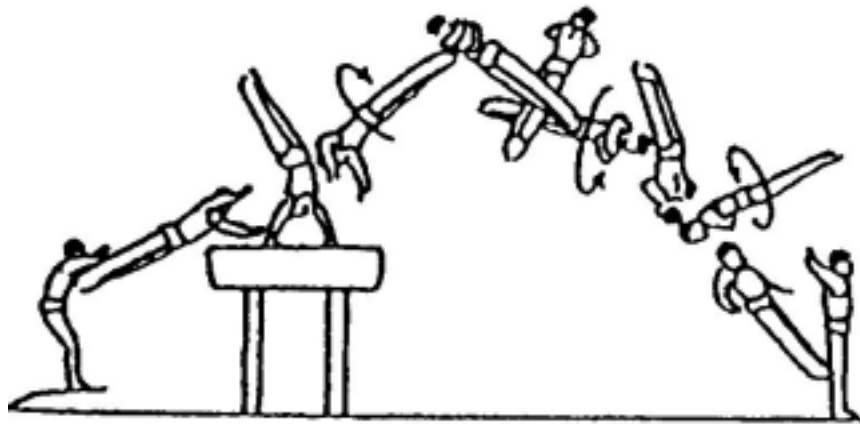


圖 2:塚原轉體二周半。

- 3.最大速度：全程助跑過程瞬間最大速度。
- 4.踏板速度：雙腳踏板瞬間速度。
- 5.起跳速度：最後一步單腳支撐瞬間速度。

- 6.起跳距離：最後一步至踏板位置的距離。
- 7.騰起角：離板瞬間身體重心與垂直線所成夾角。
- 8.撐馬角：撐馬時身體重心至支撐點所連成直線與馬背水平面所成的夾角。
- 9.推離角：推撐離馬瞬間身體重心至支撐點所連成直線與馬背水平面所成的夾角。

## 第貳章 文獻探討

### 第一節 器材革新對跳馬動作技術之影響

姚俠文（1993）研究指出，跳馬項目起源於古代馬術，當時為了訓練士兵和提高戰鬥技能而製作了與真馬相似的木馬，在演變的過程中相繼去掉頭、尾部分，馬鞍部分則以牛皮覆蓋，隨著技術發展不斷改革，進而演變至今的競賽用跳馬。

1950 年代初，男子縱馬長為 1.80m，高為 1.30m；1956 年馬長改為 1.60m，馬高改為 1.35m。踏板的高度和彈性也做了修改，由原來的 10 公分修改為 20 公分高，踏板的彈性也越來越大。1986 年跳馬馬背更改用具有彈性物質的材質。1956 年跳馬器材變革之後，跳馬技術水平不斷的提升，創新的高難度動作不斷呈現在國際體操大賽中。1970 年第 17 屆世界體操錦標賽，日本塚原以側手翻轉體 90 度團身後空翻奪得世界冠軍，從此跳馬技術發展到了一個嶄新的階段（姚俠文，1993）。

2001 年跳馬器材又做了突破性的改變，由原本馬背長 160 公分、寬 40 公分改革至馬背長 100 公分、寬 100 公分，而馬背也改成 30 度仰角。由於推撐的面積增大，使得跳馬項目更趨於安全。因此，將會更影響跳馬動作技術的發展，一些難度動作的開創應會帶動跳馬競賽的可看性。

## **第二節 跳馬動作技術相關文獻之探討**

### **一、跳馬助跑相關文獻之探討**

郭榮全、陳重佑（2002）以八位亞運男子體操選手為對象，利用高頻測速槍測量跳馬全程助跑速度變化，研究結果發現運動員在實施個人最高起評分動作時其助跑速度均較實施前手翻前空翻動作時的助跑速度為快。因此，具有較佳的助跑速度才能實施高難度的跳馬動作。而陳進志、黃長福、俞智贏（1999）等人亦認為要能做出既新穎而又高難度的動作首先就必須具有較佳的助跑水平速度。另外，劉志成（1987）也指出跳馬當中，助跑水平速度不僅決定著騰空的高度及速度，而且起跳與推撐時獲得的垂直速度和翻轉速度都與助跑的水平速度密切相關。

黃玉斌、姚俠文（2000）認為跳馬動作是在克服障礙的過程完成的，要求選手必須具有較佳的快速奔跑能力、較強的彈跳力和推撐力等身體素質以及勇敢果斷的意志品質和良好的心理素質，才能具有較高的跳馬技術。因此，助跑速度對於選手從事跳馬動作時具有關鍵性的地位，助跑最大速度較佳者，相對更具備實施高起評分技術能力的條件。從以上專家研究結果，我們可以假設與指出，當跳馬技術能力遇到瓶頸時，助跑的加強訓練可有效的提升技術能力，是以具有較佳的助跑水平速度，將是成為優秀的跳馬選手應具備的基本能力。

Hay（1993）曾提到要有好的踏板水平速度，就必須具有兩項基本條件：一為速度，第二則是踏板準確性，因此除

了推撐、騰空動作、落地技術層面的提升外，助跑的速度與踏板準確性更是完成跳馬動作不可或缺的要素，但是助跑速度越快者往往其踏板的準確性相對降低。蔣薇芳、姚俠文（1991）曾提到當跳馬助跑到最後一步時，步幅要適當縮小（約 10-20 公分左右），以調整適當的踏板角度，增加踏板的準確性，其研究中亦發現優秀的體操選手助跑速度，男子約 7.4 -8.6m/s，而女子選手約 7-8m/s。

劉志成（1987）針對踏板的技術層面指出運動員踏板時上半身不能過多前傾，因為最後幾步要準備踏板，踏板時要求雙腳超越身體的重心，以進行制動性踏板，並提高踏板時的準確性。由於當助跑時身體前傾過大，對踏板時的準確性會產生影響。所以，教練與選手在訓練上除了助跑速度的提升外，亦應注重踏板時的準確性。

Takei（2000）認為踏板水平速度是靠助跑衝刺加速產生的。Takei（1989）的研究中亦發現選手踏板瞬間水平速度可達 7.5m/s，離板時水平速度達 5.2m/s。

蔣薇芳、姚俠文（1991）的研究中提出，助跑的方法有兩種。一種是先輕鬆跑幾步，然後逐漸加快速度，另一種是一開始就全力加速。從動作分析中發現，前者較自然，動作易控制，後者加速早雖有利於獲得更大的水平速度，但卻對最後上板身體相對位置的調整帶來一定的難度。所以採用哪一種方法，要根據選手的個人特點，但根據增大水平速度有利於增大起跳推手的速度理論，並結合少年兒童大腦皮層可

塑性強的規律，後者將更符合發展的方向，目前也已被更多的教練用於訓練上。劉志成（1987）也認為助跑的速度應為平均的加速，不應是變加速，以免一方面影響速度，另一方面造成不必要的緊張。因此助跑方式的不同，對於踏板瞬間及第一飛程的動作表現亦深具影響。

金季春（1990）曾針對前手翻動作類組與側翻內轉體動作類組的跳馬動作進行比較，而研究結果發現運動員在實施前手翻動作類組與側翻內轉體動作類組的助跑速度並無顯著差異。因此，運動員在實施前手翻與側翻內轉體兩種動作類組時，並不會因動作型態的不同而對助跑的速度產生影響。同時其研究結果亦發現獲得高分的運動員其助跑最大速度較低得分者為大，因此助跑的最大速度對於得分高低是影響因素之一。

劉志成（1987）提出優秀運動員最大助跑速度可達 7.6-8.2m/s。而他們實際全速跑的速度可達 8.6-9.0m/s。在完成動作時，大約只能發揮出 90%左右的速度。這可能與神經控制過程的特點有關。

## **二、跳馬第一飛程至第二飛程動作技術相關文獻之探討**

袁志華、胡德平、楊從麋（1998）以三種較常使用的跳馬動作技術類型進行比較，研究結果中發現三種動作類組在第一飛程的指標差異較大，由於前手翻離板時  $V_x$ （水平速度）、 $V_y$ （垂直速度）都較大，而  $\omega$ （角速度）較小因而使得前手翻的第一騰空時間較長，這使得身體翻轉到適宜的支撐

位置（扶馬角）時所需時間延長，這一結果造成第一飛程時間延長和扶馬時的  $V_y$  減小。側翻內轉由於是兩手依次撐馬，因而雙手撐馬時的時間很短平均值為 0.09 秒，比前手翻要短 0.08 秒幾乎只有前手翻第一飛程時間的一半，這個結果使得第一飛程距離縮短，導致撐馬角減小，撐馬角平均值為 6.63 度，比前手翻均值小 26.75 度，比鍵子類小 18.85 度。由於第一手支撐後還不能立即作推稱動作，使得身體繼續翻轉而手支撐的時間也相對增加。

梁梅松（2002）的研究以二部高速攝影機拍攝女子運動員實施側翻內轉體 180 度直體後空翻動作。研究發現其運動員在新式跳馬的上肢撐馬角度為 29 度、肩角為 152 度，離馬瞬間的離馬角為 84 度、肩角為 128 度，推撐階段時間為 0.14 秒，而身體重心在撐馬時水平速度為 2.44m/s、垂直速度為 2.43m/s，身體重心在離馬瞬間的水平速度為 3.77m/s、垂直速度為 4.36m/s。由相關參數可知女子運動員在推撐階段的離馬角比撐馬角大有利於第二飛程高度，離馬瞬間水平速度及垂直速度均較撐馬時為快亦有助於第二飛程的翻轉速度。

薄云霄、李子英、呂曉青、崔紹梁（1996）針對李泉跳馬側翻內轉體團身後空翻兩周所做的研究中發現，該名運動員單手撐馬的水平距離只減少 0.57m，而踏板角度與起跳角度均有變化左腳為 8.46 度，右腳為 3.70 度。在雙腳蹬離踏板到左手撐馬時的第一飛程時間為 0.15 秒，而當身體重心高度接近於馬平面時，右腳瞬間最大速度為 30.20m/s，左腳為 26.20m/s。這說明第一飛程時，兩臂、兩腿的撐馬和擺腿有

先後快慢之分。從雙手撐馬到推馬進入第二飛程的時間為 0.12 秒，身體重心高度為 2.287m 尚未到達最高點，其運行速度  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V$  分別為 4.99m/s、23.m/s 和 5.57m/s；為獲得第二飛程高度，其最大推撐力為 5522(N)，身體重心最高點為 2.71m，較第一飛程時提高 0.43m，其空中停留時間為 1.16 秒。由以上的數據中可看出該名運動員具有良好的速度與推撐能力，才有能力完成側翻內轉體團身後空翻兩周的高難度動作。

### 三、跳馬落地技術相關文獻之探討

體操比賽中能夠穩定落地並不容易，尤其是跳馬項目更是如此。在比賽過程當中跳馬的每一次試跳均只有一次的落地機會，因此落地技術的好壞往往決定得分高低。嚴波濤、于長菊、張伯強（1994）認為空中動作質量不高、過多採用海綿坑練習、心理因素干擾、空中定向不清楚、動作難度過大、下肢力量不夠、身體各部位肌肉的協調能力差等因素均會影響產生落地不穩的情形。

Jill McNitt-Gray, P Requejo, K Costa & W Mathiyakom (2000)針對 2000 年雪梨奧運中男子單槓、跳馬及女子高低槓、跳馬等項目的落地動作進行研究，透過影片分析的方式統計出整場比賽中運動員在落地成功與失敗的比例，研究結果發現跳馬及單槓落地成功未移位的比例低於 40%，而女子跳馬落地成功的機率均較男子低。在實施向後空翻系列動作時，落地往後移位男子佔 40%、女子佔 54%，落地往前移位的情形男子佔 24%、女子佔 30%，而成功落地未移為者，男

子佔 36%、女子僅佔 16%，由此可看出女子選手在跳馬向後空翻系列的落地能力明顯低於男子選手。另外在實施向前空翻動作時，落地往前移位者男女生均佔 56%，而往後移位者男子佔 28%、女生佔 37%，落地能夠成功無移位者男生佔 16%、女生僅佔 8%，由以上數據可看出男子選手的落地能力明顯較女子選手好。

俞智贏（2001）在林永錫跳馬羅杰跳的研究中，認為第二飛程動作之實施，必須考慮落墊時之能否穩定平衡，穩定平衡來自於著墊時之角度、速度、重心相對高度、底面積，以及身體的姿勢。著墊之角度太小，身體必然成過度前傾或後仰，易產生身體旋轉，無法控制不動之穩定姿勢；落墊之相對重心可藉雙膝、腿、臀及關節部位之屈伸來緩衝衝量，落墊身體姿勢若是直身，必須在著墊瞬間立即行屈身動作；若屈身落墊，關節已產生屈的動作，再產生屈的動作必然受到限制，緩衝力量的距離因之縮短，力量不容易吸收，容易產生傷害。為使力量能吸收，必須加長作用時間，此可藉雙臂之前擺振動作，藉半徑之加長來減緩向前旋轉的角速度，同時加長腿屈時間，使力量之吸收加長，容易將身體停住。若著墊衝量太大，無法將身體停住，可加向前跨一步將身體停住，不過此會影響評分。

由於落地動作需要非常好的平衡感及雙腿軀幹屈伸時間的配合，因此需要較多的練習，選手可藉由高處往下落練習落地平衡感，並利用重量訓練增強腰、臀、大腿之力量使落地動作除了平衡感外還有強大的肌群來支撐其落地的高品

質。其所需要的相關要素如圖 3。

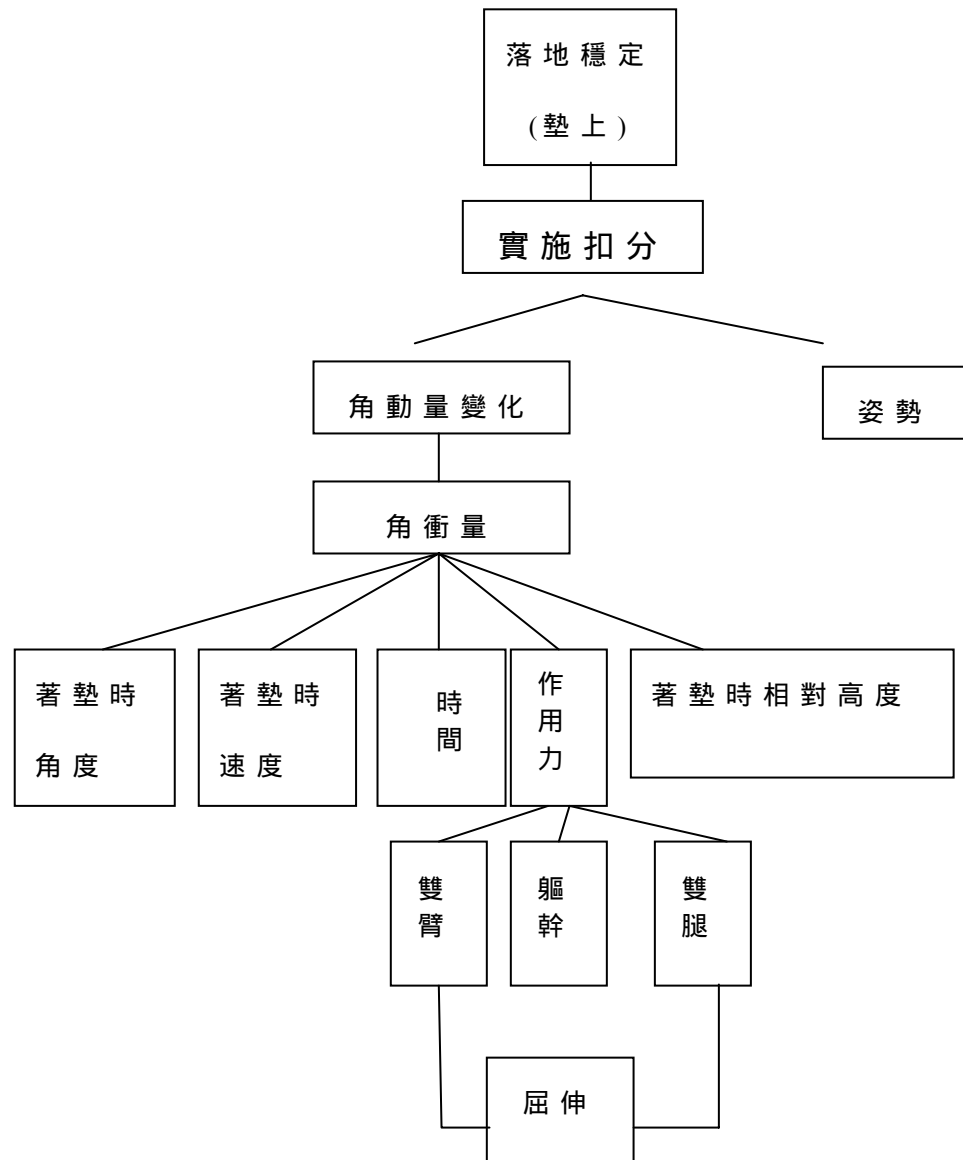


圖 3：羅杰跳動作落地穩定(墊上)力學模式圖

### **第三節 結語**

根據上述文獻之探討，可以很清楚的瞭解，要完成一個高難度的動作，不只是注重第二騰空的訓練，應從每個階段加強訓練，不論是助跑、踏板、推撐、空翻的感覺及落地每個環節對於跳馬動作技術的發展都具有其重要性。而本研究的目的是希望透過運動學分析的技術，收集並分析直體塚原轉體二周半的全程運動學參數，藉由分析後將所得運動學參數提供教練及選手作為訓練之參考，期望國內跳馬技術能力能在國際賽事上嶄露頭角。

## 第參章 研究方法與步驟

本研究是通過三度空間影片分析法，以獲得推撐過程的上肢運動學參數與手型工作之差異，而其方法與步驟可分為五部份加以說明：一、研究對象；二、實驗儀器與設備；三、實驗時間與地點；四、實驗步驟；五、資料處理。

### 第一節 研究對象

本研究是以曾獲得 2001 年東亞運動會男子競技體操跳馬項目亞軍的林永錫（如圖 4）選手為研究對象，該選手是目前國內唯一具有直體塚原轉體二周半之技術能力者，具有良好的體操基礎。其年齡為 24 歲、體重為 66 公斤，學習體操年齡 15 年。



圖 4:林永錫（右）與研究者合影。

## 第二節 實驗儀器與設備

- (一) Janssen & Fritsen 廠牌比賽用跳馬一個(新式跳馬), 如圖 2。
- (二) AAI (AMERICAN ATHLETIC, INC.) 廠牌比賽用踏板一個。
- (三) 落地墊二塊。
- (四) 角架三組, 皮尺一卷, 延長線及電纜線數個。
- (五) Redlake 高速攝影機 (250Hz) 兩部。
- (六) Peak 三度空間座標架一個。
- (七) 1000W 照明設備二組。
- (八) LDM 300C 高頻測速槍 (100HZ) 一部, 如圖 5。
- (九) 筆記型電腦一部。



圖 5: LDM 300C 高頻測速槍 (100HZ)

### **第三節 實驗時間與地點**

(一) 實驗時間：民國 91 年 12 月 26 日。

(二) 實驗地點：左營國家訓練中心體操館。

### **第四節 實驗步驟**

本研究之實驗參與者林永錫選手乃是曾獲得 2001 年東亞運跳馬銀牌之男子選手。此實驗參與者必須在跳馬實施直體塚原轉體二周半之動作（以 2001-2004 年國際男子體操規則之第四競賽規定），作為實驗分析之資料。

#### **(一) 架設場地器材**

1 號高速攝影機，架設在跳馬側方 10m 處，拍攝踏板起跳至落地的全程動作。2 號高速攝影機，架設在正對選手助跑方向，跳馬正前方 10m 處離地高約 3m，拍攝起跳後至落地的全程動作。

二部高速攝影機拍攝頻率為 250Hz、快門為 1/2000，攝影機鏡頭中心與跳馬的直線距離為 10m，取景範圍寬約為 6m、高約 3m，二部攝影機主光軸的夾角約為 60 度。

高頻測速槍置於起跑點，並將鏡頭對準選手的背部，於起跑前 2 秒開始拍攝至選手踏板結束。儀器架設位置如圖 6：

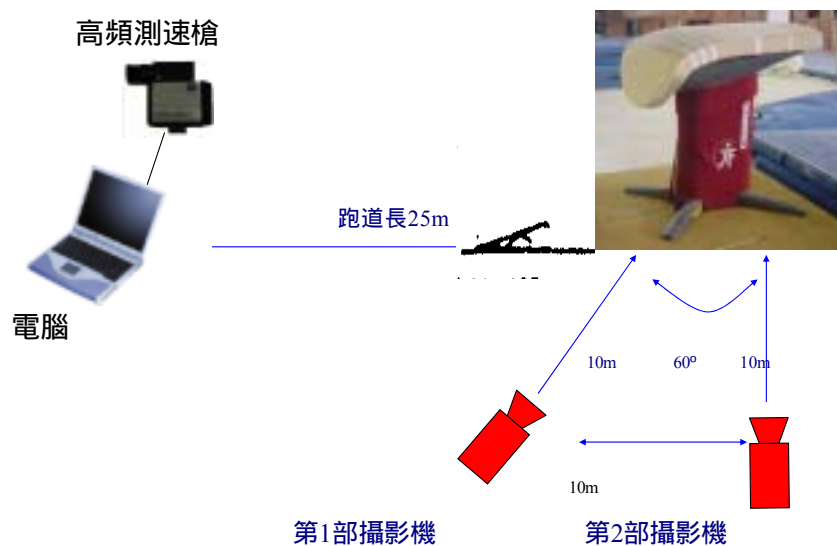


圖6：實驗場地儀器架設配置圖

## (二) 實驗參與者暖身活動與準備活動

實驗參與者先從事 10 - 20 分鐘的暖身活動，然後在跳馬場地實施三分鐘之練習（按照比賽時之項目練習時間，練習三分鐘）。

## (三) 正式實驗的過程

首先由工作人員先行記錄受試者的基本資料，並告知實驗參與者整個實驗的過程，以及應測試的類組動作（直體塚原轉體二周半）之實施流程後，方始請受試者填寫「實驗參與者同意書」。

在正式進行實驗時，先拍攝三度空間座標架，實驗參與者共實施三次直體塚原轉體二周半的成功動作，每次動作間隔給予 1 分鐘休息。

在跳馬所實施之直體塚原轉體二周半都必須成功完成。實驗完後乃必須再一次拍攝三度空間座標架。整個實驗流程如圖 7：

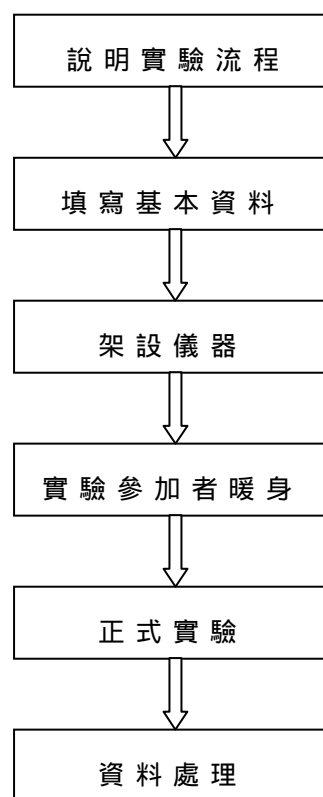


圖 7：實驗流程圖

## 第五節 資料收集與處理

影像數位化部份與分析部份(運動學資料的分析),是使用 Peak 影像數位化系統軟體進行跳馬推撐動作的分析。首先,通過預先拍攝的 Peak 三度空間參考座標架之已知空間座標點數位化處理,並進行直接線性轉換(Direct Linear Transformation, DLT)以計算攝影機的轉換參數,再以此轉換參數計算空間中的任何一點座標。

有關人體的運動學參數部份,本研究乃是點取運動員的前額、腕關節、肘關節、肩關節、髖關節、膝關節、踝關節、前足等 16 個關節標誌點(如圖 8),並進行各關節處的運動學參數計算。16 個關節標誌點乃是先通過 Peak 系統進行五次樣條的平滑處理,方進行空間座標的轉換與運動學參數的計算。實驗數據的統合整理是以 Origin 6.0 版專業資料分析系統進行處理與作圖。

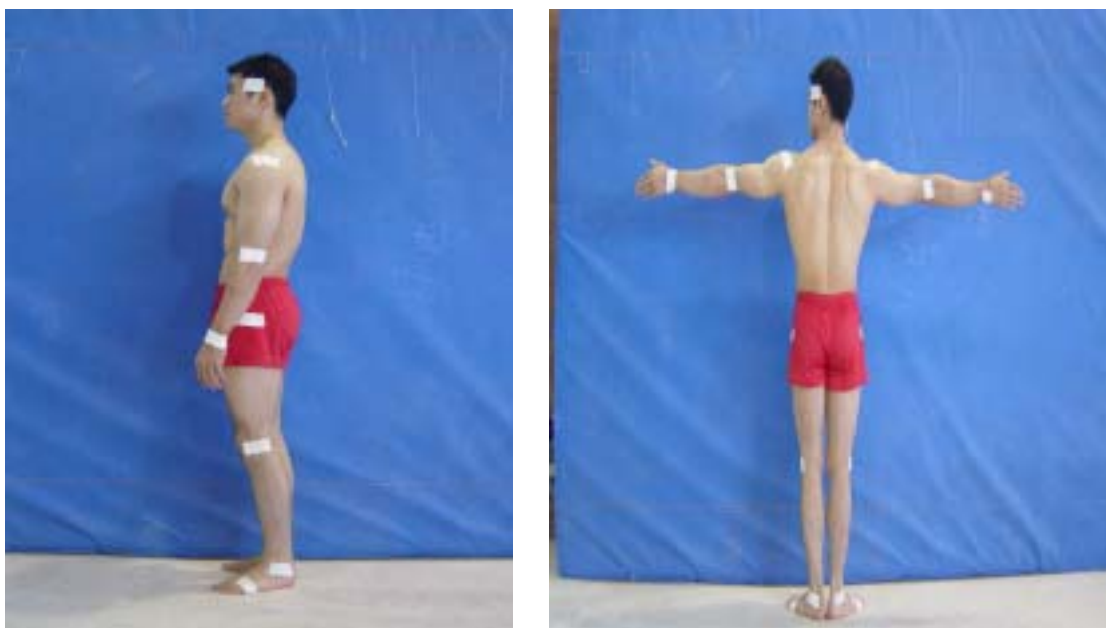


圖 8:本研究關節點擷取圖。

## 第肆章 結果與討論

本章主要針對所收集的運動學參數進行分析討論，主要分為以下五部分加以說明：助跑速度變化、第一飛程至推撐階段各關節角度及重心速度變化、第二飛程相關運動學參數分析、落地運動學參數分析綜合討論。

### 第一節 助跑速度變化

助跑是跳馬項目中完成動作最基本的速度來源，本節主要針對林選手的全程助跑過程各階段速度的變化作一探討。

#### 一、助跑過程各運動學參數分析

表 1：助跑過程中各運動學參數

|        | 瞬間<br>最大<br>速度<br>(m/s) | 最大速<br>度出現<br>位置<br>(m) | 踏板<br>前 5 m<br>速度<br>(m/s) | 全程<br>助跑<br>距離<br>(m) | 起跳<br>距離<br>(m) | 起跳<br>速度<br>(m/s) | 踏板<br>速度<br>(m/s) |
|--------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 數<br>值 | 9.27                    | 20.40                   | 8.27                       | 21.75                 | 2.90            | 8.12              | 8.52              |

由表 1 中可看出林選手在助跑瞬間最大速度部分可達 9.27m/s 若與郭榮全（2002）針對國內八位亞運男子體操運動員所做的研究中運動員平均瞬間最大速度為  $8.89 \pm 0.02 \text{ m/s}$  相比較，林選手較其他選手具有快速的助跑速度。

在助跑瞬間最大速度出現位置部分，其助跑瞬間最大速度出現位置是在助跑後 20.40m 位置出現，與其全程助跑距離 21.75m 相比較，最大速度是在踏板之前 1.35m 處出現。

在踏板前 5m 速度部分，林選手的踏板前 5m 速度為 8.27m/s，比踏板時速度為慢，可見林選手的踏板前 5m 仍是呈現加速度的情況。亦表示其助跑距離的選擇與步點正確，且未浪費體力。

在起跳距離及起跳速度部分，林選手的起跳距離為 2.95m，起跳速度為 8.12m/s，而踏板速度為 8.54m/s 是呈現往上增加的情況，由影片觀察中發現，林選手的下肢推蹬動作是踏板速度增加的重要因素。

## 二、助跑過程各位置的速度曲線分析。

圖 9 為林選手的助跑全程速度變化曲線圖。林選手的全程助跑距離為 21.75m，並未充分運用規則所附與的 25m 限制，因此必須在短距離內將最大速度表現出來才能得到最大的踏板速度，並且要求上板快又有力。由圖 1 中可看出林選手的起跑位置是在起跑線前 2.5m 的位置，起跑後在 12.5m 處的助跑瞬間速度已達 8.1m/s，這表示在起跑的加速度啟動是相當積極而且顯著往上增加，最後踏板時的速度為 8.52m/s。

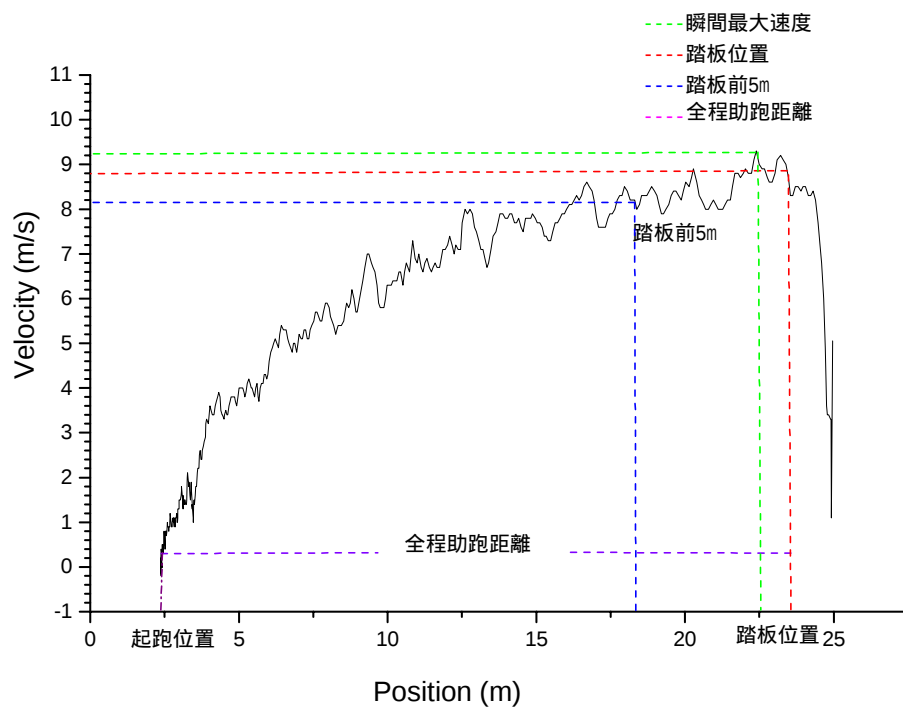


圖 9：全程助跑速度變化曲線圖

## 第二節 第一飛程至推撐階段各關節角度及重心速度變化

本研究將身體離開踏板到手撐馬的這個階段定義為第一飛程，而將單手撐馬至雙手離馬定義為推撐階段，本章節特別針對第一飛程及推撐階段各關節角度及重心速度各運動參數作分析探討。

### 一、第一飛程重心速度及關節角度變化

表 2：第一飛程的重心速度運動學參數

| 垂直速度  |      |      | 水平速度  |      |      | 踝關節速度 |      |       | 飛行時間  |      |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 離板    | 觸馬   | 減少   | 離板    | 觸馬   | 減少   | 離板    | 觸馬   | 增大    | 離板至觸馬 |      |
| (m/s) |      |      | (m/s) |      |      | (m/s) |      |       | (秒)   |      |
| <hr/> |      |      |       |      |      |       |      |       |       |      |
| 數 值   | 4.04 | 3.45 | 0.59  | 7.50 | 4.82 | 2.68  | 7.23 | 14.86 | 7.63  | 0.16 |

註：踝關節速度：以右腳踝關節為踝關節速度

第一飛程重心拋物線的行徑軌跡是由助跑獲得的水平速度和踏板垂直速度所合成，由表 2 中可知林選手第一飛程的騰空時間為 0.16 秒與姚俠文（1993）針對李寧的直體塚原二周的研究發現第一飛程騰空為 0.2 秒為短，可見林選手的撐馬動作比李寧積極。

林選手離板時的垂直速度為  $4.04\text{m/s}$ ，水平速度為  $7.5\text{m/s}$ ，此時重心行徑方向較傾向水平方向。觸馬時垂直速度為  $3.45\text{m/s}$ ，水平速度為  $4.82\text{m/s}$ ，均比離板時的速度慢，是因為觸馬時為了改變重心行徑方向的因素。

林選手在離板時的踝關節速度為  $7.23\text{m/s}$ ，觸馬時的速度為  $14.86\text{m/s}$  共增加  $7.63\text{m/s}$ ，踝關節的速度增加是帶動翻轉時所必須的速度來源，經由動作分析與直體塚原轉體二周半的動作特性比對發現林選手的擺腿動作對於完成直體塚原轉體二週半有絕對的助益。

#### (一)、離板至觸馬重心速度變化曲線

由圖 10 中可看出林選手離板後的重心垂直速度是往上提升，而重心水平速度是呈現減慢的狀況，因為跳馬的踏板主要作用是為了將水平速度改變為垂直速度，因此踏板時會產生制動現象以獲得垂直速度，相對地造成水平速度減慢的現象。由圖 10 中可看出在  $0.02$  秒至  $0.04$  秒的階段，重心垂直速度是呈現往下遞減，而重心水平速度是呈現往上增加，這是運動員為了積極撐馬所造成的現象。

在圖 10 中  $0.12$  秒至  $0.16$  秒階段，重心垂直速度是大約維持在  $3.5\text{m/s}$ ，而水平速度是維持  $4.6\text{m/s}$  至  $4.9\text{m/s}$  之間變動幅度並不大，因為此階段是第一飛程的後半段而且已經是進入撐馬階段，並不用刻意將重心速度加快，以免造成撐馬動作不穩的現象。

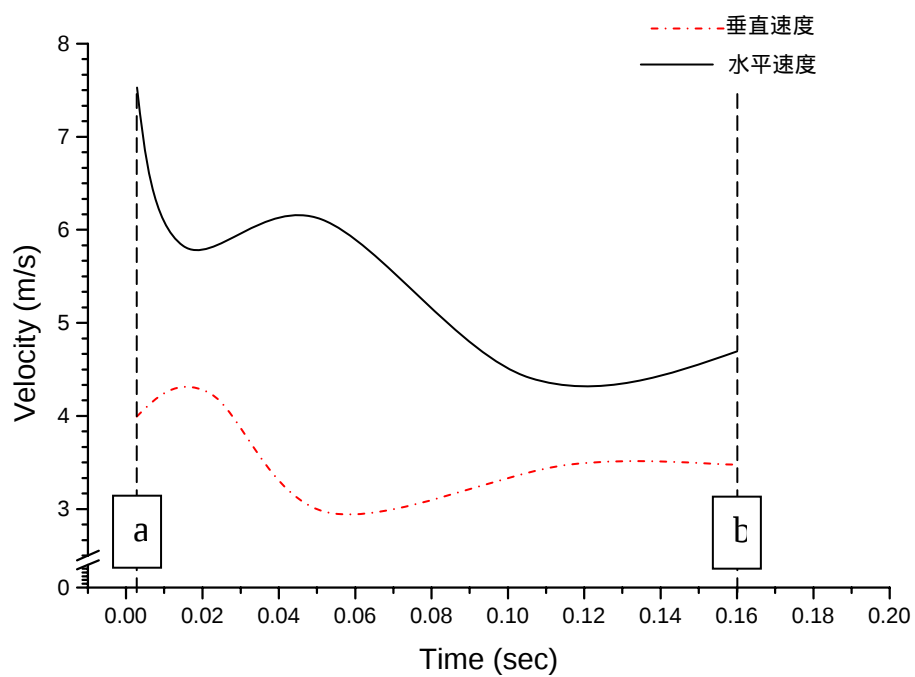


圖 10：第一飛程身體重心垂直及水平速度變化曲線圖。

a 為離板瞬間；b 為撐馬瞬間。

## (二)、離板至撐馬階段踝關節速度變化曲線

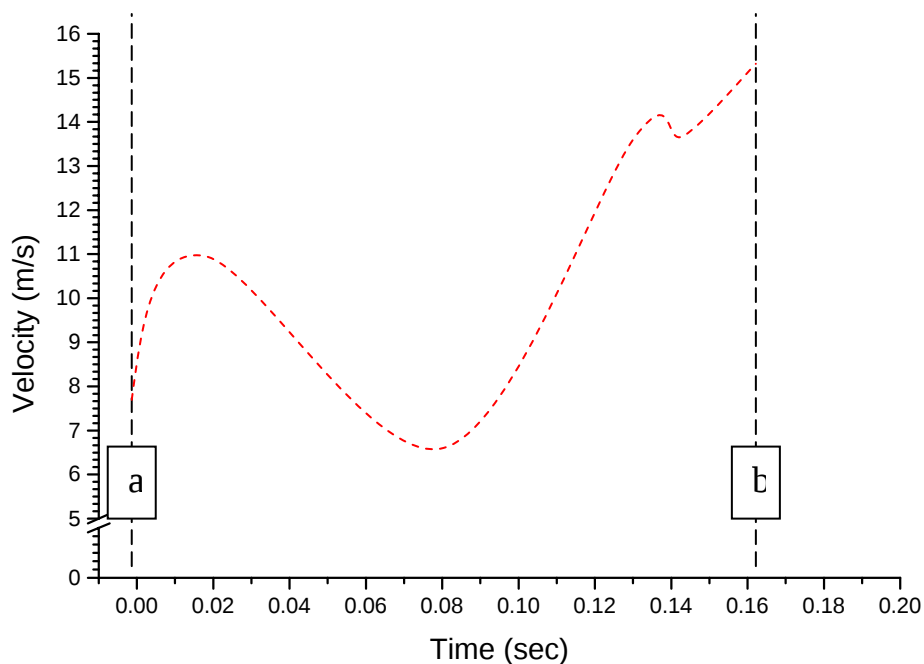


圖 11：第一飛程踝關節速度變化曲線圖。

a 為離板瞬間；b 為撐馬瞬間。

在進入第一騰空後，必須要轉體 90 度而且積極撐馬，動作上並非馬上擺腿，必須等身體重心超過馬的高度後才加速擺腿，而且擺腿速度越快越好，由圖 11 中可看出離板瞬間林選手的踝關節速度為 7.23m/s 觸馬時為 14.85m/s，在整個第一騰空階段的踝關節最快速度是出現在觸馬瞬間，此發現與姚俠文（1993）針對李寧跳馬塚原轉體二周所作的運動學分析中發現李寧的踝關節速度最快為 11.7m/s，因此明顯看出林選手的擺腿速度較李寧快，這也是完成塚原轉體二周半的重要因素之一。

(三)、第一飛程觸板至離板瞬間各關節角度分析

表 3：第一飛程觸板至離板瞬間髖、膝、踝、肩及騰起角各運動學參數

|     | <u>髖角</u> | <u>膝角</u> | <u>踝角</u> | <u>肩角</u> | <u>騰起角</u> |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|     | 觸板        | 觸板        | 觸板        | 觸板        | 離板         |
|     | 離板        | 離板        | 離板        | 離板        |            |
| 角度  | 109       | 145       | 120       | 92        | 37         |
| (度) | 178       | 172       | 132       | 143       |            |

表 3 是第一飛程觸板至離板瞬間各關節角度的運動學參數；第一飛程的身體重心拋物線是由助跑獲得的水平速度和踏跳獲得的垂直速度合成的，林選手的重心拋物線行進的軌跡是逐漸上升的，其騰起角為 37 度，此與宋曉東（1994）針對胡軍跳馬前手翻團身前空翻二周所做的研究中其起騰角為 39 度並無多大差異，說明了這樣的騰起角度與動作類型的不同並無多大差異。

林選手在觸板瞬間的髖角為 109 度，離板瞬間髖角為 178 度，由這樣的改變可知，在踏板時為了獲得較佳的踏板動量，以雙腳踏板起跳，重心微落於雙腳後方以取得更大的踩板重

心垂直速度的所以必須透過髖角的縮小來增加踏板動量，在動作與力學上是極為合理的。

林選手在觸板瞬間的膝角為 145 度，離板瞬間為 172 度，膝角改變了 27 度，這樣的改變是為了獲得較佳的踏板動量，而且離板瞬間膝角幾乎是呈伸直的狀況，並配合踝角的改變由踏板瞬間 120 度增加至離板瞬間的 132 度，這樣的踝關節改變證明林選手充分的運用蹬伸的動作來獲取起跳後水平及垂直速度。

由表 3 中可知，林選手踏板瞬間肩角部分為 92 度，離板瞬間為 143 度，改變幅度相當大，由此可知林選手在踏板過程中充分運用擺手來帶動上軀幹前傾以獲得較佳的撐馬動作。

## 二、推撐階段相關運動學參數探討

### （一）推撐階段各關節運動學參數分析

表 4 為撐馬至離馬各關節的相關運動學參數，由表 4 中可看出林選手的撐馬時肩角為 117 度，離馬時肩角為 148 度，由這樣的肩角改變可知林選手入馬時手臂與軀幹有呈現曲肘的動作，這樣的曲肘在塚原跳類型的動作是必須的，主要是為了獲取肘撐的動量並加快身體的翻轉。

在髖角的部分，林選手撐馬時髖角為 215 度，離馬時為 182 度，這樣的髖角改變是為了獲得較佳的擺腿速度，因為

撐馬時髖角超過 180 度，肢體外顯上是呈現挺腰的動作狀態，而離馬時小於 180 度是呈現收腹動作狀態，有利於加速擺腿的動作。

表 4：推撐階段各運動學參數

| 撐馬瞬間            |                 |                      |                         |                             |                             |                        | 離馬瞬間            |                 |                      |                         |                             |                             |                        |                               |
|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 肩<br>角<br><br>度 | 髖<br>角<br><br>度 | 撐<br>馬<br>角<br><br>度 | 重心<br>離馬<br>高度<br>( m ) | 重心<br>水平<br>速度<br><br>m / s | 重心<br>垂直<br>速度<br><br>m / s | 踝關節<br>速度<br><br>m / s | 肩<br>角<br><br>度 | 髖<br>角<br><br>度 | 推<br>離<br>角<br><br>度 | 重心<br>離馬<br>高度<br>( m ) | 重心<br>水平<br>速度<br><br>m / s | 重心<br>垂直<br>速度<br><br>m / s | 踝關節<br>速度<br><br>m / s | 推<br>撐<br>時<br>間<br><br>( 秒 ) |
| 117             | 215             | 34                   | 0.34                    | 4.82                        | 3.45                        | 14.86                  | 148             | 172             | 64                   | 0.63                    | 3.78                        | 3.41                        | 8.91                   | 0.19                          |

註：肩角：上臂對軀幹所成夾角

髖角：上軀幹對下肢所成夾角

撐馬角：撐馬瞬間重心至手支點與跳馬水平面的夾角

推離角：身體重心至手支點與跳馬水平面的夾角

在撐馬角部分，林選手入馬時的撐馬角為 34 度，離馬角為 64 度，此與姚俠文(1999)針對肖俊峰前手翻團身前空翻二周所做的研究中，肖選手的撐馬角為 31 度、離馬角為 75 度相比較，雖然兩者在動作類型並不相同但是二者的離馬角均大於撐馬角，因此第二飛程的重心高度必須靠離馬角來獲取。

在重心離馬高度部分，林選手撐馬時重心離馬背高度為 0.34m、離馬時重心離馬高度為 0.63m，撐馬到離馬間重心高

度共增加 0.29m，這樣的改變提供了第二飛程騰空時的基本高度。姚俠文（1993）研究中認為按照力學規律，撐馬時身體重心位置越高，對推手及騰空越有利。依此理論林選手在撐馬時倘重心在稍微提高，將能獲取更具效益的騰起角，有助於動作的順利完成。

由於推手是對身體的第二次制動，身體重心水平速度和垂直速度會呈現下降趨勢，林選手撐馬時重心水平速度為 4.82m/s、垂直速度為 3.45m/s，而離馬時重心水平速度為 3.78m/s、垂直速度為 3.41m/s，與姚俠文（1993）研究中李寧撐馬時重心水平速度為 3.8m/s、垂直速度為 2.8m/s，而離馬時重心水平速度為 3.2m/s、垂直速度為 2.4m/s，相比較，林選手的速度重心水平速度與垂直均較李寧快，由此可知林選手已具有不錯的推撐能力。

在推手頂肩的同時兩腿要產生制動，因此踝關節的角度變化是先增加後減小，身體同時由挺腰逐漸變直，因此腳的速度會逐漸變小，林選手的撐馬時踝關節速度為 14.86m/s、離馬時為 8.91m/s，減小了 5.95m/s，這是側翻內轉動作的一種特性，惟若能夠盡量避免踝關節速度的減少，對於高難度動作的完成將會更有幫助。。

## （二）推撐階段肩、髖及推撐角的角度變化曲線圖

圖 12 為推撐階段肩、髖及推撐角的角度變化曲線圖；由圖 12 中可看出林選手在撐馬時肩角為 117 度，接著短暫的縮小後，隨即肩角逐漸增大，在撐馬後 0.11 秒時，肩角最大角

度達 178 度，幾乎是完全伸展，隨即逐漸縮小到雙手離馬時為 148 度。

由圖 12 中可看出撐馬時髖角為 215 度，接著短暫的增大後隨即開始縮小，因為此階段必須進行縮腹擺腿的動作，在撐馬後 0.12 秒時髖角為最小角度之 140 度，共減小 75 度，隨即髖角逐漸增大至雙手離馬時髖角之 171 度，再由影片觀察中發現林選手係充分的利用這樣的髖角改變來獲取擺腿的速度。

由圖 12 中可看出林選手推撐時的撐馬角是整個推撐過程中角度最小的階段，只有 34 度，在撐馬後撐馬角則呈現逐漸增大的情況，在撐馬後的 0.07 秒位置，撐馬角達到最大為 90 度，可見林選手在實施側翻內轉時的重心位移速度相當快。另外，林選手的推離角為 64 度比撐馬角大，這是決定第二飛程高度及遠度的重要因素之一。

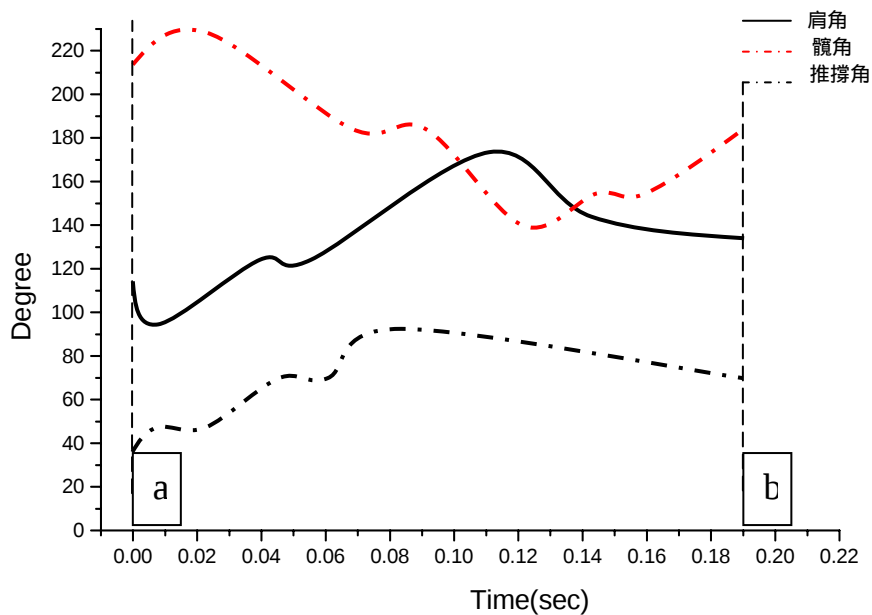


圖 12：推撐至離馬階段肩角、髖角及推撐角變化曲線圖。

a 為撐馬瞬間；b 為離馬瞬間。

### (三) 推撐至離馬階段重心水平及垂直速度變化分析

由圖 13 中可看出林選手重心水平速度與垂直速度均呈現下降趨勢，撐馬時重心水平速度為 4.82m/s、垂直速度為 3.45m/s，而由圖 13 中亦可看出撐馬後的重心水平速度是先加快後才逐漸變慢的現象，而垂直速度則是逐漸變慢，最後離馬時重心水平速度為 3.78m/s、垂直速度為 3.41m/s。

由圖 13 中可看出林選手在撐馬時踝關節速度為  $14.86\text{m/s}$ ，先加速後隨即逐漸變慢，在離馬瞬間達到最慢為  $8.91\text{m/s}$ ，因為此時準備要推離馬背所以踝關節會產生制動的現象，以利於推手動作的實施，整個推撐過程踝關節最大速度可達  $17.01\text{m/s}$ 。

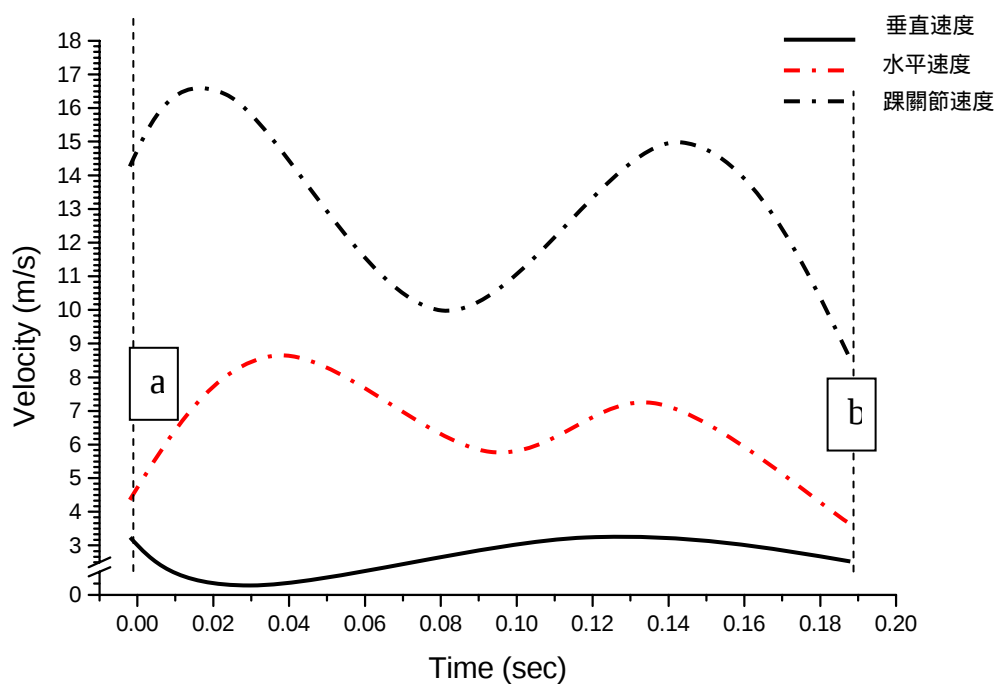


圖 13：推撐至離馬階段重心水平、垂直速度及踝關節速度曲線圖。a 為離板瞬間；b 為撐馬瞬間。

### 第三節 第二飛程相關運動學參數分析

第二飛程是決定動作難度的主要階段，這個階段的動作技術也是最為複雜的部分，直體塚原轉體二周半在動作上必須要在繞身體橫軸一周半的過程中，繞身體縱軸二周半，這樣的動作充分表現出其價值性。本節針對所收集的第三飛程階段各運動學參數加以探討。

#### 一、第二飛程橫軸翻轉及縱軸旋轉運動學參數分析

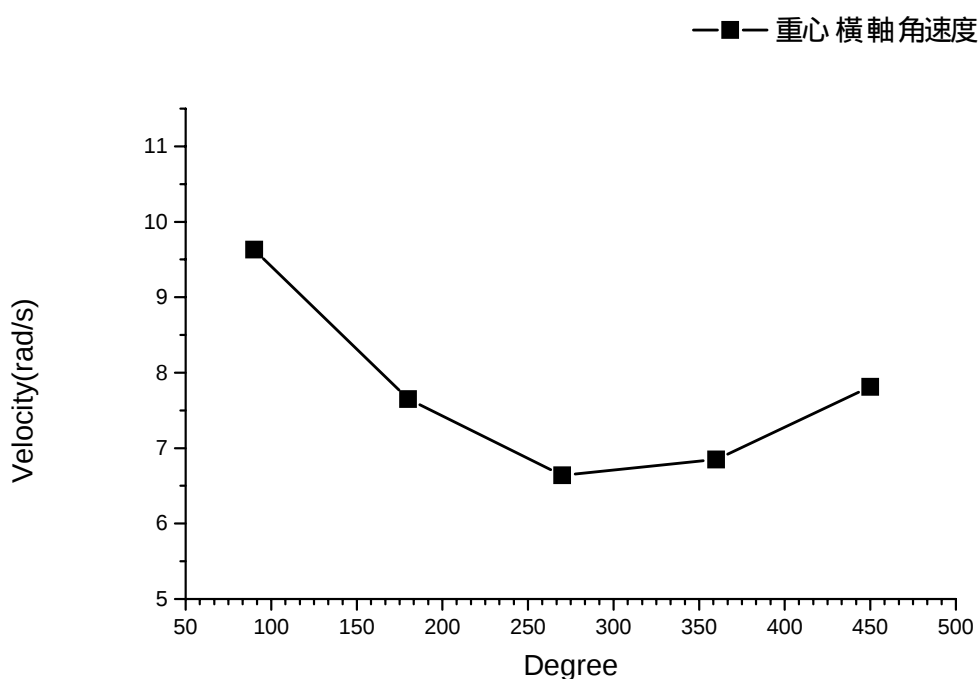


圖 14：重心橫軸翻轉角速度曲線圖。

由圖 14 中可知林選手的第二飛程身體翻轉角速度平均為  $7.72\text{rad/s}$ ，在翻轉  $1/4$  周時為  $9.63\text{rad/s}$ 、 $2/4$  周時為  $7.65\text{rad/s}$ 、 $3/4$  周時為  $6.64\text{rad/s}$ 、一周時為  $6.85\text{rad/s}$ 、 $5/4$  周時為  $7.81\text{rad/s}$ ，開始翻轉  $1/4$  周時翻轉角速度較快，逐漸變慢後在結束前又有加快的現象，會有如此現象是受到轉體因素的影響，因為身體翻轉速度（橫軸翻轉）與轉體速度（縱軸轉體）是互相協調又互相影響的。

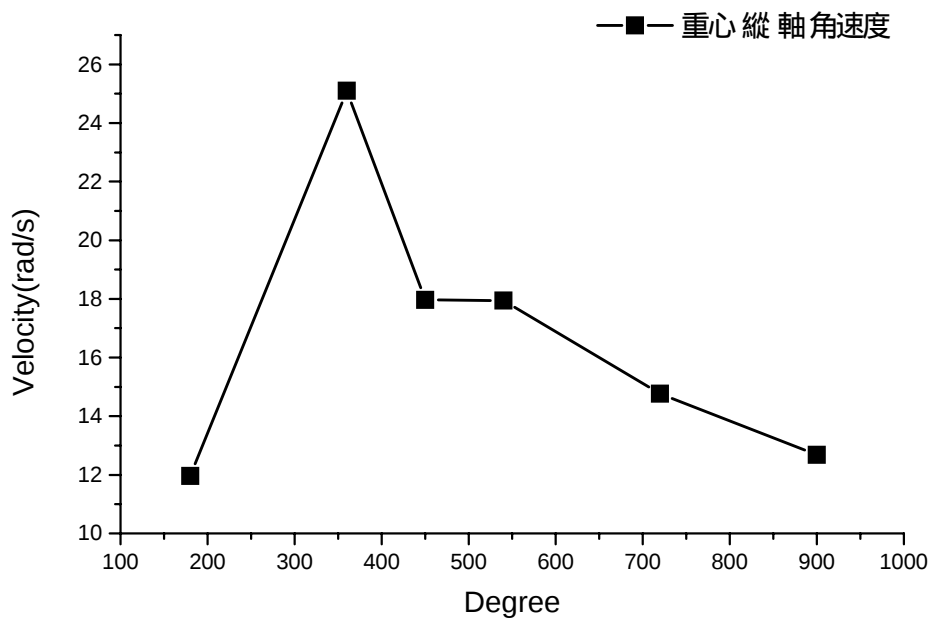


圖 15：重心縱軸翻轉角速度曲線圖。

圖 15 為重心縱軸轉體角速度曲線圖；姚俠文（1993）在

研究中認為，轉體的動力來源有三，一是推撐離馬時身體略有轉動，以獲取在支撐情況下的初始轉體力矩；二是騰空後兩臂向胸腹前屈抱，減小縱軸的轉動慣量，從而加快轉體角速度。林選手個人的轉體技術能力相當高，因此在完成塚原轉體二周半時，其轉體速度相當快，平均角速度為  $16.7\text{rad/s}$ ，轉體速度由慢到快，然後又變慢，其中在  $180$  度至  $360$  度達到  $25.10\text{rad/s}$  為轉體速度最快的時候。

## 二、第二飛程重心相關運動學參數分析

表 5:第二飛程重心相關運動學參數

| <u>重心參數</u> |                  |                           |                     |
|-------------|------------------|---------------------------|---------------------|
| 時間<br>(秒)   | 重心騰<br>起角<br>(度) | 重心最高<br>點至地面<br>高度<br>(m) | 重心上升<br>絕對高度<br>(m) |
| 1.06        | 64               | 2.93                      | 0.58                |

林選手第二飛程飛行時間為  $1.06$  秒，而第二飛程重心軌跡是由推離時的重心水平速度和重心垂直速度決定的，由表 5 中可看出林選手的重心騰起角為  $64$  度，第二飛程最高點離地面高度為  $2.93\text{m}$  重心上升的高度為  $0.58\text{m}$ ，此與姚俠文（1992）針對李敬跳馬腱子後手翻直體後空翻轉體二周動作的運動學分析，發現李敬推離馬時的飛行時間為  $0.93$  秒重心高度為  $2.68\text{m}$ ，重心騰起角為  $42$  度，第二飛程最高點離地面高度為  $2.68\text{m}$ ，透過比較發現林選手的相關參數均比李敬

佳，這也是提供林選手能夠完成直體塚原轉體二周半的條件，因為該動作難度的完成此階段是重要的決定因子；因此除了須具備較佳的高度及騰空時間外，還必須具備快速的縱軸旋轉及橫軸的翻轉能力，才能完美完成高難度動作。

#### 第四節 落地運動學參數分析

落地對一位從事跳馬運動的體操選手來講是一門相當困難的訓練課程，而且落地技術的好壞，往往決定得分高低，而要有好的落地技術，首先必須具有熟練的空中技術，才能有好的落地技術。而本節主要針對林選手的落地相關運動學參數作一探討。

表 6 落地各關節相關運動學參數

| 上臂與<br>軀幹<br>夾角<br>(度) | 軀幹與<br>大腿<br>夾角<br>(度) | 大腿與<br>小腿<br>夾角<br>(度) | 重心與<br>支撐點<br>夾角<br>(度) | 重心速度          |               |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
|                        |                        |                        |                         | 水平速度<br>(m/s) | 垂直速度<br>(m/s) |
| 18.2                   | 136.3                  | 108.5                  | 68.8                    | 3.12          | 4.87          |

表 6 為林選手落地瞬間各關節角度變化及重心速度。由表 6 中可看出林選手落地瞬間上臂與軀幹的夾角為 18.2 度、軀幹與大腿的夾角為 136.3 度、大腿與小腿的夾角為 108.5 度，由以上各關節的角度變化發現，林選手的落地瞬間手臂並無大幅度的往外伸展，由於林選手所做的是直體塚原轉體二周半，因此落地瞬間的軀幹、大腿及小腿所成的夾角均比

薄云霄（1996）針對李泉塚原團身後空翻二周的研究中所得到的數據為大，李泉落地時的上臂與軀幹夾角為 12.6 度、軀幹與大腿的夾角為 72.7 度、大腿與小腿的夾角為 138.5 度，由此可知，直體動作的落地角度均比團身動作角度為大。

在落地瞬間重心速度變化部分，林選手的水平速度為 3.12m/s、垂直速度為 4.87m/s，重心與支撐點所成的夾角為 68.8 度，由這樣的參數可知林選手的落地瞬間身體垂直速度大於水平速度，因此林選手落地時的身體有往後傾的現象。

## 第五節 綜合討論

透過本研究所分析的資料，可知林選手的助跑最大速度較一般男子體操選手為快可達 9.27m/s；踏板速度可達 8.52m/s 如此的速度才能具有較佳的第一飛程及第二飛程所需的速度。

在第一飛程階段林選手的騰空時間為 0.16 秒，可見林選手的撐馬動作相當積極。林選手離板時的垂直速度為 4.04m/s、水平速度為 7.5m/s，觸馬時垂直速度為 3.45m/s，水平速度為 4.82m/s，均比離板時的速度慢，其原因為觸馬時為了改變重心行徑方向。林選手在離板時的踝關節速度為 7.23m/s，觸馬時的速度為 14.86m/s 共增加 7.63m/s。另外，在觸板瞬間髖角為 109 度，離板瞬間髖角為 178 度，由這樣的改變可知，在踏板時為了獲得較佳的踏板動量，以雙腳踏

板起跳，重心微落於雙腳後方以取得更大的踩板重心垂直速度的所以必須透過髖角的縮小來增加踏板動量。

林選手在觸板瞬間的膝角為 145 度，離板瞬間為 172 度，其間改變了 27 度，這樣的改變是為了獲得較佳的踏板動量，而且離板瞬間膝角幾乎是呈伸直的狀況，並配合踝角的改變由踏板瞬間 120 度增加至離板瞬間的 132 度，這樣的踝關節改變證明林選手充分的運用蹬伸的動作來獲取起跳後水平及垂直速度。

林選手的撐馬時肩角為 117 度，離馬時肩角為 148 度，由這樣的肩角改變可知林選手入馬時手臂與軀幹有呈現曲肘的動作，這樣的曲肘在塚原跳類型的動作是必須的，主要是為了加快身體的翻轉。

在推撐階段髖角的改變部分，林選手撐馬時髖角為 215 度，離馬時為 182 度，這樣的髖角改變是為了獲得較佳的擺腿速度。在撐馬角部分，林選手入馬時的撐馬角為 34 度，離馬角為 64 度，而第二飛程的重心高度必須靠離馬角來獲取。在重心離馬高度部分，林選手撐馬時重心離馬背高度為 0.34m、離馬時重心離馬高度為 0.63m，共增加 0.29m，重心高度提昇的改變提供了第二飛程騰空時的基本高度，惟其重心騰起角仍太小，尚有修正與發展的空間。

由於推手動作是對身體的第二次制動，身體重心水平速度和垂直速度會呈現下降趨勢，林選手撐馬時重心水平速度

為 4.82m/s、垂直速度為 3.45m/s，而離馬時重心水平速度為 3.78m/s、垂直速度為 3.41m/s，由研究中發現林選手具有相當不錯的推撐能力。

因為在推手頂肩的同時兩腿要產生制動，林選手的撐馬時踝關節共減小了 5.95m/s，這是側翻內轉動作的一種特性，若能夠盡量避免踝關節速度的減少，對於高難度動作的完成將會更有幫助。

林選手的第二飛程身體翻轉角速度平均為 7.72rad/s，最快是出現在翻轉 1/4 周時為 9.63rad/s。另外，林選手選手個人的轉體技術能力相當高，因此在完成直體塚原轉體二周半時，其轉體速度相當快，平均角速度為 16.7rad/s，而其轉體速度最快在 180 度至 360 度為 25.10rad/s。

落地各關節角度變化部分，林選手落地瞬間上臂與軀幹的夾角為 18.2 度、軀幹與大腿的夾角為 136.3 度、大腿與小腿的夾角為 108.5 度，由以上各關節的角度變化發現，林選手的落地瞬間手臂並無大幅度的往外伸展，在落地瞬間重心速度變化部分，林選手的水平速度為 3.12m/s、垂直速度為 4.87m/s，重心與支撐點所成的夾角為 68.8 度，由這樣的參數可知林選手的落地瞬間身體垂直速度大於水平速度，因此林選手落地時的身體有往後傾的現象。

## 第伍章 結論與建議

本研究主要是利用生物力學研究方法進行運動學分析，透過研究瞭解林選手的直體塚原轉體二周半的運動學參數，以下根據實驗研究結果與討論，提出本研究發現的結論，並對於本研究課題的後續研究提供可行的建議。

### 第一節 結論

從研究的結果討論中發現，林永錫選手能成功完成直體塚原轉體二周半技術的運動學特徵為；(一)林選手具有極佳的助跑速度為  $9.27\text{m/s}$ 、踏板速度為  $8.52\text{m/s}$  及優異的轉體技術；(二)在第一飛程部分，若能避免踏板後重心水平及垂直速度的減少速度，會更有利於推撐時的水平及垂直速度；(三)林選手的踝關節速度若能盡量避免，對於高難度動作的完成將會更有幫助；(四)在推撐能力部分林選手第二飛程身體重心離地面最高可達  $2.93\text{m}$ ，這樣的高度增加了空中停留時間，這亦是完成塚原轉體二週半的前提，而只有第二騰空高，翻轉速度快，落地才能穩定，結合了以上的條件林選手才能完成塚原轉體二周半的高難度動作。經由林選手的動作分析，本研究歸納直體塚原轉體二周半的技術特徵如下以供國內選手及教練參考。(一)助跑的速度及踏板的速度要快；撐馬時重心不可過低，如此才能減少推撐時重力阻力作用，有利於保持較大的初始翻轉速度和重心水平速度；(二)上肢必須積極撐馬並且手肘不可過彎；擺腿動作速度要快、不可收髖過多；(三)第二飛程身體重心要高，增加在空中停留時間，只有第二騰空高，翻轉速度快，落地才能穩定；轉體時必須全身緊繃，縮短旋轉半徑以獲取較佳的旋轉速度。

## 第二節 建議

動作的完成必須每個環節均搭配得相當協調，以下就研究結果提出建議：在競技運動的訓練上，若能結合運動生物力學及人體運動力學相關的分析技術對訓練來說是非常重要的。教練在訓練選手時，若能針對每個動作技術，提供相關的力學知識或運動學參數，讓選手能在充分瞭解動作技術的情形下從事訓練，必能收到事半功倍之效。因此希望本文能帶給國內從事體操訓練的相關人員，對於跳馬動作技術分析的相關能力會有一些的啟示與幫助，俾使我國體操水準更上層樓。

往後的研究若能增加及時回饋的研究技術，讓教練與選手能在訓練上獲得更及時的資訊，以利於調整訓練內容，相信若能往此方向努力對於訓練效果絕對會有更正面的助益。

## 參考文獻

### 一、中文部分

- 中國國家體育總局 ( 1999 )。短跑技術分析及其訓練方法。中國體育教練員崗位培訓教材-田徑。北京：人民體育。
- 男子競技體操規則 ( 2001 )。中華民國體操協會譯。
- 金季春編 ( 1990 )。冠軍的技術分析。北京：人民體育。
- 林清山 ( 1992 )。心理與教育統計學。臺北：東華書局。
- 姚俠文 ( 1993 )。現代跳馬技術與教學訓練。北京：北京體育學院。
- 姚俠文 ( 1999 )。肖俊峰跳馬前手翻團身前空翻兩周運動學分析。北京體育大學學報，22 ( 3 )，103-106。
- 俞智贏 ( 2001 )。運動科學對競技體操跳馬項目訓練之應用 - 以東亞運跳馬銀牌林選手選手為例。2001 年國際運動教練科學研討會。
- 袁志華、胡德平、嚴從麋 ( 1998 )。男子跳馬三種類型動作技術的比較研究。成都體育學院，24 ( 1 )，35-38。
- 郭榮全 ( 2002 )。短跑訓練對跳馬助跑之影響。未出版之國立台灣體育學院體育研究所碩士論文，台中市。
- 梁梅松 ( 2002 )。女子體操運動員實施新舊式跳馬上肢推撐之運動學分析。未出版之國立台灣體育學院體育研究所碩士論文，台中市。
- 陳進志、黃長福、俞智贏 ( 1999 )。男子跳馬前手翻團身前空翻兩周動作與一周動作之運動學比較分析。大專體育學刊，1 ( 2 )，39-50。
- 黃玉斌、姚俠文 ( 2000 )。男子跳馬。全國體育院校教材委員

- 會編，競技體操高級教程。北京：人民體育。
- 劉志成編（1987）。競技體操力學原理。北京：人民體育。
- 蔣薇芳、姚俠文（1991）。體育學院專修通用教材體操（上冊）。  
北京：人民體育。
- 薄云霄（1996）。李泉跳馬側手翻團身後空翻兩周的訓練與運動學分析。北京體育大學學報，19（3），88-92。
- 嚴波濤、于長菊、張伯強（1994）。體操跳躍類動作落地穩定性的生物力學原理探討。西安體育學院學報，11（2），65-71。

## 外文部份

Hay, J. G. (1993). The biomechanics of sport techniques (4th ed.). Englewood, NJ: Prentice Hall.

Jill McNitt-Gray, P Requejo, K Costa & W Mathiyakom(2002). Landing success rate during the artistic gymnastics competition of the 2000 Olympic Games. Implications for improved Gymnast/Mat interaction.

Takei, Y. (1989). Techniques used by elite male gymnasts performing a handspring vault at the 1987 Pan American Games. International Journal of Sport Biomechanics,

Takei, Y. (2000). Techniques used in high and low-scoring Hecht Vaults performed at the1995 World Gymnastics Championships. Journal of Applied Biomechanics, 16, 180-195.

## 受試者同意書

研究題目：男子跳馬直體塚原轉體二周半之運動學分析 - 以我國選手林永錫為例

指導教授：沈易利 教授

研 究 生：梁 梅 宗

單 位：國立台灣體育學院 體育研究所

聯絡電話：07-7511988. 0933306600

依實驗研究的規定與保護受試者的權益，研究者應將研究過程可能發生的危險和法律上的責任等事宜，向受試者說明清楚。而研究者應盡其所能保護受試者的健康與權益，並隨時回答受試者的問題。受試者如有改變意願時應通知實驗者，可隨時退出實驗而不受任何限制。參與實驗研究的受試者並須明瞭並注意下列事項：

- 一、 實驗時間：依運動員訓練階段進行實驗。
- 二、 在指定時間至左營國家訓練中心體操館參與實驗，受試者必須依比賽模式參與跳馬直體塚原轉體二周半之動作。
- 三、 所有實驗過程，使用高頻測速槍及高速攝影機來蒐集運動學參數。
- 四、 參與本實驗的受試者，應瞭解本身競技狀態來進行實驗前的熱身，調整至最佳競技狀態，依比賽模式進行測試。

本實驗需要您的參與合作，才能圓滿進行。現在請您在姓名欄內簽名，表示同意並遵守同意書內的各項規定。

自願者：\_\_\_\_\_簽名

日期： 年 月 日