

世界級三級跳遠選手技術之運動學分析

張偉達¹、張立羣¹、乃慧芳²

¹國立臺灣體育運動大學競技運動學系暨碩士班

²國立臺灣體育運動大學休閒運動學系

摘要

目的：探討世界級男女三級跳遠選手技術的特徵與差異。**方法：**研究對象為 1997 年、2005 年、2009 年及 2011 年世界田徑錦標賽男女三級跳遠決賽前八名選手，男女選手各 32 人，共 64 人。從運動生物力學研究報告中，收集選手在三跳的相關運動學參數數據進行處理與分析，以獨立 t 樣本考驗比較男女選手之差異。**結果：**世界級男女選手在三跳的距離、起跳水平速度、跨步跳的比率以及跨步跳與跳躍的水平速度變化與起跳垂直速度都達顯著差異 ($p < .05$)，在單腳跳至跨步跳、跨步跳至跳躍及單腳跳至跳躍的起跳水平速度損失率，也達到顯著差異 ($p < .05$)，都是男子選手顯著大於女子選手。而在單腳跳的飛程角度及水平速度變化，則女子選手顯著大於男子選手 ($p < .05$)。此外，在三跳的起跳水平速度，男女選手皆呈現逐漸遞減；而在起跳垂直速度與飛程角度，則皆是跳躍最大，其次為單腳跳，以跨步跳最小。**結論：**男女選手因解剖生理的差異，造成部份運動學參數有顯著差異，但整體的動作技術表現，世界級男女選手的趨勢是相似的。

關鍵詞：三級跳遠、性別差異、水平速度變化

壹、前言

三級跳遠的技術由助跑、單腳跳、跨步跳及跳躍所組合而成，是一個技術性高且要求選手自身協調性高的田徑項目。男子三級跳遠在 1896 年第一屆奧運就列為正式比賽項目，當時的冠軍成績為 13.71 公尺，而世界上第一個女子三級跳遠成績為 8.805 公尺，由美國選手在 1909 年所創下的。但女子三級跳遠的發展比男子三級跳遠要來的晚，直到 1990 年國際田徑總會 (International Amateur Athletic Federation) 才承認女子三級跳遠為比賽項目，第一個承認的女子世界紀錄是由中國選手在 1990 年跳出的 14.54 公尺。在 1993 年世界田徑錦標賽將女子三級跳遠列為正式項目，當時由俄羅斯選手以 15.09 公尺奪得冠軍，到 1995 年的世界田徑錦標賽，烏克蘭選手柯拉薇茲 (Inessa Kravets) 以 15.50 公尺獲得冠軍，此成績仍是現今女子三級跳遠的世界紀錄，而在同屆比賽中英國男子選手愛德華 (Jonathan Edwards) 以 18.29 公尺獲得冠軍，同時也是現今男子的世界紀錄 (Brüggemann & Arampatzis, 1999)。在 1996 年亞特蘭大奧運會女子三級跳遠才成為正式比賽項目。

影響三級跳遠成績的因素，包括助跑速度、各跳距離、起跳水平速度、起跳垂直速度、水平速度變化、以及選擇適合的三跳比率等 (許樹淵, 1992; Yu & Hay, 1996; Susanka, Jurdik, Koukal, Kratky, & Velebil, 1987)。研究顯示，增加助跑速度、減少三跳過程中水平速度的損失、身體重心起伏變化變小以及三跳技術銜接更加流暢有節奏，皆是提升成績的關鍵 (張立群, 2004; Yu, 1999; Panoutsakopoulos & Kollias, 2008)。

雖然男女選手的比賽型式、訓練分法和受傷方式基本相同，但由於解剖生理的差異導致了力學效應，作用的結束以及受傷的發生率都有不同 (Schepsis & Busconi, 2004)。研究發現，女子比男子身高矮 13 公分、肌肉力量上肢少 30~50%、下肢少 70%、體重輕 14~18 公斤、去脂體重輕 18~22 公斤、脂肪量重 3~6 公斤及相對體脂高 6~10% (Alexander, 1997; Wilmore, Costill, & Kenney, 2010)。

由於女子三級跳遠發展較晚，目前有關世界級女子三級跳遠選手技術的生物力學研究相對較少 (Brüggemann & Arampatzis, 1999; Miladinov & Bonov, 2004; Panoutsakopoulos & Kollias, 2008)，第一篇探討世界級女子三級跳遠選手技術特徵，是分析 1997 年世界田徑錦標賽獲得前八名選手的動

作技術，研究發現，世界級女子選手在跨步跳起跳水平速度及水平速度變化顯著小於男子選手(Bruggemann & Arampatzis, 1999)。然而，此研究樣本數很少僅有八名女子選手，近年來在幾屆世界田徑錦標賽中進行運動生物力學研究，獲得更多世界級女子三級跳遠選手表現的運動學數據。因此，本研究的目的是透過收集近幾屆世界田徑錦標賽三級跳遠選手技術的運動學參數數據，來探討世界級男女三級跳遠選手技術的特徵與差異，以提供教練及選手訓練的參考。

貳、方法

本研究以 1997 年、2005 年、2009 年及 2011 年世界田徑錦標賽男女三級跳遠決賽前八名選手為研究對象，男女選手各 32 人，共 64 人。其比賽成績見表 1，在這四屆世界田徑錦標賽中，男子選手成績平均為 17.37 ± 0.26 公尺，最大值為 17.97 公尺，最小值為 16.89 公尺，女子選手成績平均為 14.58 ± 0.31 公尺，最大值為 15.20 公尺，最小值為 14.02 公尺；而女子選手成績可達到男子選手成績的 84%，則與過去研究結果相同 (Bruggemann & Arampatzis, 1999)。

從這四屆比賽的運動生物力學研究報告中 (Bruggemann & Arampatzis, 1999; Kyroloainen, Virravirta, Komi, & Isolehto, 2009; Mendoza, Nixdorf, Isele, & Günther, 2009; Seo et al., 2011)，收集每位選手在三級跳遠三跳的各項運動學參數的數據，包括三跳的距離、比率、起跳水平速度、起跳垂直速度、飛程角度及水平速度變化（單腳跳為助跑最後一步水平速度減單腳跳水平速度、跨步跳為單腳跳水平速度減跨步跳水平速度、跳躍為跨步跳水平速度減跳躍水平速度）以及三跳的起跳水平速度損失率，包括單腳跳至跨步跳（單腳跳起跳水平速度減去跨步跳起跳水平速度後，除以單腳跳起跳水平速度）、跨步跳至跳躍（跨步跳起跳水平速度減去跳躍起跳水平速度後，除以跨步跳起跳水平速度）與單腳跳至跳躍（單腳跳起跳水平速度減去跳躍起跳水平速度後，除以單腳跳起跳水平速度）。將所獲得的資料利用 SPSS 12.0 for Windows 系統，計算世界級男女選手各項運動學參數之平均值與標準差，以獨立樣本 t 考驗來比較世界級男女選手在各項運動學參數之差異情形，顯著水準為 $\alpha = .05$ 。

表 1

1997 年、2005 年、2009 年與 2011 年世界田徑錦標賽男女三級跳遠決賽前八名選手比賽成績 (m) (mean±SD)

	1997 年 ^a	2005 年 ^b	2009 年 ^c	2011 年 ^d	合計 (n=32)
男生	17.42±0.30	17.31±0.17	17.28±0.29	17.46±0.28	17.37±0.26
女生	14.57±0.44	14.66±0.26	14.51±0.022	14.58±0.31	14.58±0.31

資料來源：a: Brüggemann & Arampatzis (1999) ; b: Kyroloainen 等 (2009) ;
c: Mendoza 等 (2009) ; d: Seo 等 (2011)

參、結果

本研究結果發現 (表 2) , 世界級男女選手在三跳的距離、起跳水平速度、跨步跳的比率以及跨步跳和跳躍的水平速度變化與起跳垂直速度都達顯著差異 ($p<.05$) , 在起跳水平速度損失率方面, 在單腳跳至跨步跳、跨步跳至跳躍及單腳跳至跳躍的起跳水平速度損失率, 也達到顯著差異 ($p<.05$) , 上述運動學參數皆是男選手顯著大於女選手。此外, 在單腳跳的飛程角度與水平速度變化, 男女選手也達顯著差異 ($p<.05$) , 但女選手則顯著大於男選手。而各屆比賽男女前八名選手各項運動學參數的數據, 見表 3 與表 4。

表 2
世界級男女三級跳遠選手之運動學參數

運動學參數	男子(n=32)		女子(n=32)		p 值
	平均數	標準差	平均數	標準差	
單腳跳階段					
距離(m)*	6.34	0.21	5.36	0.20	0.001
比率(%)	36.20	1.23	36.44	1.05	0.404
起跳水平速度(m/s)*	9.57	0.35	8.31	0.28	0.001
起跳垂直速度(m/s)	2.33	0.23	2.26	0.26	0.270
飛程角度(°)*	13.78	1.30	15.18	1.56	0.022
水平速度變化(m/s)*	0.72	0.29	0.91	0.17	0.002
跨步跳階段					
距離(m)*	5.18	0.26	4.20	0.21	0.001
比率(%)*	29.61	1.44	28.63	1.48	0.009
起跳水平速度(m/s)*	8.52	0.38	7.55	0.38	0.001
起跳垂直速度(m/s)*	1.98	0.21	1.57	0.26	0.001
飛程角度(°)	13.14	1.53	12.59	2.53	0.300
水平速度變化(m/s)*	1.04	0.32	0.72	0.24	0.001
跳躍階段					
距離(m)*	6.01	0.26	5.13	0.27	0.001
比率(%)	34.18	1.40	34.93	1.62	0.053
起跳水平速度(m/s)*	7.03	0.31	6.41	0.38	0.001
起跳垂直速度(m/s)*	2.64	0.30	2.40	0.23	0.001
飛程角度(°)	20.71	2.61	20.58	2.05	0.819
水平速度變化(m/s)*	1.43	0.36	1.15	0.19	0.001
起跳水平速度損失率(%)					
單腳跳至跨步跳*	10.81	3.38	9.09	3.24	0.042
跨步跳至跳躍*	17.41	4.35	15.13	2.24	0.010
單腳跳至跳躍*	26.63	3.46	22.88	3.64	0.001

*表示男女選手達到顯著差異($p < .05$)

表 3

四屆世界田徑錦標賽男子三級跳遠決賽前八名選手之運動學參數 (mean±SD)

運動學參數	1997 年 a	2005 年 b	2009 年 c	2011 年 d
單腳跳階段				
距離(m)	6.41±0.17	6.26±0.18	6.35±0.19	6.35±0.28
比率(%)	36.15±0.89	36.16±0.96	36.50±1.41	36.00±1.69
起跳水平速度(m/s)	9.78±0.16	9.71±0.20	9.38±0.20	9.40±0.53
起跳垂直速度(m/s)	2.43±0.16	2.39±0.15	2.48±0.14	2.03±0.18
飛程角度(°)	13.94±1.02	13.81±0.88	14.75±1.04	12.61±1.40
水平速度變化(m/s)	0.71±0.12	0.46±0.21	0.76±0.15	0.94±0.38
跨步跳階段				
距離(m)	5.21±0.22	4.98±0.22	5.29±0.28	5.25±0.26
比率(%)	29.4±1.19	28.8±1.35	30.38±1.41	29.88±1.55
起跳水平速度(m/s)	8.75±0.41	8.75±0.41	8.29±0.14	8.30±0.24
起跳垂直速度(m/s)	1.94±0.23	2.00±0.27	2.06±0.19	1.94±0.13
飛程角度(°)	12.50±1.55	12.83±1.79	14.00±1.51	13.21±1.02
水平速度變化(m/s)	1.03±0.35	0.96±0.37	1.08±0.11	1.10±0.42
跳躍階段				
距離(m)	6.11±0.22	6.07±0.21	5.79±0.14	6.06±0.34
比率(%)	34.44±1.17	35.03±0.96	33.13±0.83	34.13±1.89
起跳水平速度(m/s)	7.04±0.34	7.04±0.34	6.99±0.22	7.04±0.38
起跳垂直速度(m/s)	2.79±0.24	2.79±0.24	2.63±0.23	2.37±0.31
飛程角度(°)	21.66±2.40	21.66±2.40	20.63±2.39	18.9±2.69
水平速度變化(m/s)	1.71±0.49	1.46±0.19	1.31±0.22	1.26±0.42
起跳水平速度損失率(%)				
單腳跳至跨步跳	10.38±3.62	9.75±3.85	11.63±1.06	11.50±4.34
跨步跳至跳躍	19.50±4.66	19.50±4.66	15.63±2.50	15.00±3.70
單腳跳至跳躍	28.25±2.96	27.75±2.38	25.50±2.20	25.00±4.99

資料來源：a: Brüggemann & Arampatzis (1999) ; b: Kyroloainen 等 (2009) ;
c: Mendoza 等 (2009) ; d: Seo 等 (2011)

表 4

四屆世界田徑錦標賽女子三級跳遠決賽前八名選手之運動學參數 (mean±SD)

運動學參數	1997 年 a	2005 年 b	2009 年 c	2011 年 d
單腳跳階段				
距離(m)	5.41±0.23	5.30±0.17	5.38±0.12	5.37±0.28
比率(%)	36.63±1.30	36.15±0.89	36.63±0.74	36.38±1.30
起跳水平速度(m/s)	8.40±0.23	8.34±0.24	8.35±0.23	8.14±0.37
起跳垂直速度(m/s)	2.35±0.26	2.35±0.26	2.37±0.10	1.98±0.20
飛程角度(°)	15.63±1.72	15.53±1.41	15.88±0.83	13.69±1.30
水平速度變化(m/s)	0.99±0.14	0.99±0.11	0.73±0.09	0.95±0.38
跨步跳階段				
距離(m)	4.09±0.27	4.31±0.20	4.20±0.18	4.20±0.19
比率(%)	27.75±1.75	29.40±1.19	28.63±1.06	28.75±1.58
起跳水平速度(m/s)	7.59±0.27	7.59±0.27	7.66±0.33	7.38±0.58
起跳垂直速度(m/s)	1.54±0.27	1.54±0.27	1.63±0.28	1.59±0.29
飛程角度(°)	11.48±2.13	11.35±2.11	12.00±2.00	15.53±1.41
水平速度變化(m/s)	0.71±0.12	0.73±0.15	0.70±0.17	0.76±0.44
跳躍階段				
距離(m)	5.27±0.26	5.05±0.18	5.04±0.27	5.14±0.34
比率(%)	35.88±1.13	34.45±1.15	34.50±1.77	34.88±2.10
起跳水平速度(m/s)	6.48±0.28	6.49±0.26	6.42±0.36	6.24±0.55
起跳垂直速度(m/s)	2.51±0.14	2.50±0.14	2.36±0.33	2.21±0.17
飛程角度(°)	21.24±1.58	20.94±0.80	20.38±2.77	19.75±2.50
水平速度變化(m/s)	1.11±0.14	1.10±0.15	1.25±0.18	1.14±0.26
起跳水平速度損失率(%)				
單腳跳至跨步跳	9.62±2.50	9.00±2.51	8.50±2.07	9.25±5.37
跨步跳至跳躍	14.63±1.69	14.50±1.77	16.12±2.17	15.25±3.11
單腳跳至跳躍	22.88±2.85	22.25±2.49	23.13±3.31	23.25±5.70

資料來源：a: Brüggemann & Arampatzis (1999) ; b: Kyroloainen 等 (2009) ;
c: Mendoza 等 (2009) ; d: Seo 等 (2011)

肆、討論

三級跳遠選手為了獲得理想的成績表現，必須具備以下條件：減少單腳跳-跨步跳-跳躍轉換過程中身體重心水平速度的損失；身體重心左右移動的變化範圍最小；在騰空階段的身體重心拋物線變化幅度最小；身體重心在支撐期與騰空期之間有良好的轉換；在跳躍階段有良好的落地技術 (Susanka et al., 1987)。選手在每跳的支撐階段（即從支撐腳著地至起跳離地的過程），會產生水平速度與垂直速度的變化，在支撐階段獲得起跳的垂直速度，不可避免的會失去水平速度 (Yu, 1999)，研究發現每跳的支撐階段其水平速度的損失和垂直速度的獲得是一種線性關係 (Yu & Hay, 1996)。

每一跳的距離是形成三級跳遠的成績，從拋物線原理得知，起跳的速度、角度與高度會影響每一跳的距離，而影響最大的是起跳速度，由起跳的水平速度與垂直速度所構成。本研究發現世界級男子選手在各跳的距離、起跳水平與垂直速度都顯著大於女子選手，由於男女選手肌肉纖維量的不同，女子上半身的肌力比男子小約 40~60%，而下半身則只小於 25~30% (Alexander, 1997; Pilz-Burstein et al., 2008; Wilmore, Costill, & Kenney, 2010)，再加上女子選手身高也比男子矮，因此，造成每跳的距離和速度達到顯著差異。

選手在助跑中所獲得的水平速度會隨著每一跳的著地而減少，如果在支撐階段的水平速度損失太多會導致縮短整體的距離。因此，選手必須將每跳的支撐階段之水平速度損失最小化 (Hay & Miller, 1985)，是三級跳遠技術的重要關鍵 (張立群, 2004)。在單腳跳的水平速度變化以女子選手顯著大於男子，但在跨步跳與跳躍的水平速度變化則是男子顯著大於女子，而在三個起跳水平速度損失率上，同樣也是男子顯著大於女子，此結果和 Brüggenmann 與 Arampatzis (1999) 研究結果相同。女子選手會有較少的水平速度變化和損失率，主要是男子選手有較快的助跑速度，在著地時下肢將承受比女子選手還要大的地面衝擊力，導致水平速度變化及損失率會較多。此外，男子選手在每跳的垂直速度也比女子選手快，相對會損失較多的水平速度 (Brüggenmann & Arampatzis, 1999; Koh & Hay, 1990b; Panoutsakopoulos & Kollias, 2008; Yu, 1999)。

本研究發現世界級男女選手在單腳跳飛程角度達顯著差異，且女子選手顯著大於男子選手，此結果和 Brüggenmann 與 Arampatzis (1999) 研究結

果相同。在單腳跳起跳時如有較大的飛程角度，會使跨步跳支撐階段承受較大的衝擊力，導致水平速度損失過多，進而影響下兩跳的距離 (Brüggemann & Arampatzis, 1999)。過去研究發現單腳跳著地時垂直方向的地面反作用力高達體重的 15.2 倍、水平方向為 7 倍 (Perttunen, Kyrolainen, Komi, & Heinonen, 2000)，顯示下肢要承受如此大的負荷。由於三級跳遠需要連續三次的著地與起跳，必須考慮地面的反作用力，以免造成跨步跳、跳躍的水平速度損失過多 (Brüggemann & Arampatzis, 1999; Panoutsakopoulos & Kollias, 2004)。選手為了降低水平速度損失，會在著地前使用積極性著地動作 (即支撐腳向下和向後擺動)，來縮短著地時支撐腳和身體重心之間的距離，進而減少著地時的地面反作用力，並且縮短支撐時間，來降低各跳水平速度的損失 (Koh & Hay, 1990a)。

選擇合適的三跳比率是影響三級跳遠成績的因素之一，它扮演一個決定成績的關鍵角色 (許樹淵, 1992; Hay, 1992; Yu & Hay, 1996)，Hay (1992) 根據三跳距離佔三級跳遠成績的百分比之多寡，提出三種技術類型，分別是：

1. 單腳跳式：單腳跳的百分比比跳躍的百分比大 2% 以上。
(例如：38%、30%、32%)
2. 均衡式：單腳跳及跳躍的百分比之間差距小於 2%。
(例如：34%、31%、35%)
3. 跳躍式：跳躍的百分比比單腳跳的百分比大 2% 以上。
(例如：32%、30%、38%)

本研究依據 Hay 的技術類型定義統計這四屆選手的三跳比率數據發現 (表 5 和表 6)，男女選手所使用的技術類型，以單腳跳式技術的選手最多，均衡式其次，跳躍式為最少；在各屆男女冠軍選手的技術類型也不盡相同，顯示各種技術類型均可創造優異成績。女子三級跳遠技術類型在 1997 年使用平衡式技術的為最多，但到近兩屆比賽則為單腳跳式的最多；男子技術類型在 1997 年以單腳跳式及平衡式為主，到近兩屆則以單腳跳式為主的人數最多，而跳躍式技術在這四屆世界錦標賽中，僅在 2011 年比賽男女選手各有兩人採用。

本研究發現世界級女子選手跨步跳的比率顯著小於男子，但在單腳跳與跳躍的比率則男女選手無顯著差異，此結果和 Brüggemann 與 Arampatzis

(1999) 的研究結果相同。雖然，男子選手在水平速度損失率比女子選手高，但在較快的助跑速度的先決條件下，男子選手仍擁有較快的水平速度，再加上比女子選手高的起跳垂直速度，使得男子選手在各跳的距離皆比女子選手遠 (Brüggemann & Arampatzis, 1999)。許多研究顯示三跳的距離與成績之間沒有顯著的相關 (Hay, 1999; Hay & Miller, 1985)，但也有研究發現單腳跳距離與成績達顯著相關 (Brüggemann, 1990)。由於三級跳遠成績是三跳距離的總和，如果選手只強調某一跳的距離，這對於成績不會有所幫助，而是要分配好每一跳的距離。

此外，本研究也發現男女選手在三跳的起跳水平速度上，皆呈現逐漸遞減，相反的在三個起跳水平速度損失率皆呈現逐漸增加；在起跳垂直速度與飛程角度方面，則皆是跳躍最大，其次為單腳跳，以跨步跳最小。從上述結果顯示，世界級男女選手因解剖生理的差異，造成部份運動學參數有顯著差異，但整體動作技術表現的趨勢是相似的。在其他運動不同性別動作技術的研究也有相同的結果發現，在高爾夫球研究發現到男女球員的揮桿動作的運動學是相似的 (Zheng, Barrentine, Fleisig, & Andrews, 2008)，而撐竿跳高的研究中發現男女選手在動能和位能是相似的 (Schade, Arampatzis, Brüggemann, & Komi, 2004)。

表 5
四屆世界田徑錦標賽男女三級跳遠前八名使用的技術類型 (人)

年份	單腳跳式		均衡式		跳躍式	
	男生	女生	男生	女生	男生	女生
1997a	4	2	4	6	0	0
2005b	3	4	5	4	0	0
2009c	6	5	2	3	0	0
2011d	6	4	0	2	2	2
合計	19	15	11	15	2	2

資料來源：a: Brüggemann & Arampatzis (1999)；b: Kyroloainen 等 (2009)；
c: Mendoza 等 (2009)；d: Seo 等 (2012)

表 6
四屆世界田徑錦標賽男女三級跳遠冠軍選手使用的技術類型

年份	男生	女生
1997a	單腳跳式	均衡式
2005b	均衡式	單腳跳式
2009c	單腳跳式	均衡式
2011d	跳躍式	單腳跳式

資料來源：a: Brüggemann & Arampatzis (1999) ; b: Kyroloainen 等 (2009) ;
c: Mendoza 等 (2009) ; d: Seo 等 (2012)

伍、結論

世界級男女三級跳遠選手成績有顯著差異，但女子選手成績已達到男子選手成績的 84%，三級跳遠成績的差異主要是女子選手在三跳的距離、跨步跳的比率、起跳的水平速度與垂直速度以及起跳水平速度損失率皆顯著小於男子選手，但男女選手在三跳的起跳水平速度皆呈現逐漸遞減，而三個起跳水平速度損失率皆呈現逐漸增加的特徵，此外，在起跳垂直速度與飛程角度，男女選手皆是跳躍最大，其次為單腳跳，以跨步跳最小，由於男女選手在解剖生理上的差異，造成部份運動學參數有顯著差異，但整體的動作技術表現，世界級男女選手的趨勢是相似的。

參考文獻

- 許樹淵 (1992)。田徑論。台北：偉彬體育研究社。
- 張立群 (2003)。三級跳遠之三跳比率。《教練科學》，2，278-291。
- 張立群 (2004)。三級跳遠技術之生物力學研究。《台南女子技術學院學報》，23，577-594。
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2010)。不同性別的競技與運動。蔡櫻蘭，*運動生理學* (18-2 - 18-22)。台北市：禾楓書局。
- Alexander, M. J. L. (1997). *Comparison of biomechanical aspects of performance in male and female athletes*. Retrieved from International Society of Biomechanics in Sports web site: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/download/3623/3406>
- Brüggemann, G. P. (1990). Biomechanical analysis of the triple jump. In G. P. Brüggemann, & B. Glad (Eds.), *International Amateur Athletic Federation Scientific research project at the games of the XXIV Olympiad –Seoul 1988: final report* (pp.306-362). Seoul: International Athletic Foundation.
- Brüggemann, G. P., & Arampatzis, A. (1999). Triple jump. In G. P. Brüggemann, D. Koszewski, & H. Muller (Eds.). *Biomechanical research project Athens 1997: final report* (pp. 114-129). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Hay, J. G., & Miller, J. A. (1985). Techniques used in triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 185-196.
- Hay, J. G. (1992). The biomechanics of the triple jump: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10, 343-378.
- Hay, J. G. (1999). Effort distribution and performance of Olympic triple jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 36-51.
- Mendoza, L., Nixdorf, E., Isele, R., & Günther, C. (2009). *Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the 12th IAAF Championships in Athletics: Final report triple jump*. Retrieved from German Athletics Federation web site: <http://www.iaaf.org/download/download?filename=bc07d8b6-0668-4ab9-b4a8-c62da1aaaae.pdf&urlSlug=6-biomechanics-report-wc-berlin-2009-triple>
- Koh, T.J., & Hay, J.G. (1990a). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps I: The long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 343-360.
- Koh, T.J., & Hay, J.G. (1990b). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps II: The triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 361-372.
- Kyroloainen, H., Virmavirta, M., Komi, P. V., & Isolehto, J. (2009). Biomechanical

- analysis of the triple jump. Biomechanical Research Project – 2005 IAAF World Championships in Athletics Final Report (pp. 57-64). *IAAF New Studies in Athletic*. Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Miladinov, O., & Bonov, P. (2004). Individual approach in improving the technique of triple jump for women. *New Studies in Athletics*, 19(4), 27-36
- Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 23(4), 53-61.
- Pilz-Burstein, R., Ashkenazi, Y., Yaakobovitz, Y., Cohen, Y., Zigel, L., Nemet, D., Shamash, N., & Eliakim, A. (2010). Hormonal response to Taekwondo fighting simulation in elite adolescent athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 1283–1290.
- Schade, F., Arampatzis, A., Brüggemann, G. P., & Komi, P. (2004). Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic Games. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 35-42.
- Schepsis, A. A., & Busconi, B. D. (2004). *Sports Medicine*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins.
- Seo, J. S., Kim, H. M., Nam, K. J., Park, Y. H., Choi, S. B., Kim, J. H. (2011). *Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Daegu 2011*. Retrieved from Korean Society of Sport Biomechanics web site: <http://www.iaaf.or.jp/t-f/pdf/Daegu2011.pdf>
- Susanka, P., Jurdik, M., Koukal, J., Kratky, P., & Velebil, V. (1987). Biomechanical analysis of the triple jump. In G. P. Brüggemann and P. Susanka (Eds.), *International Athletic Foundation scientific report on the 2nd world championships in athletics, Rome 1987* (pp.F1-67). Rome: International Athletic Foundation.
- Yu, B. (1999). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 17, 221-229.
- Yu, B., & Hay, J.G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283-1289.
- Zheng, N., Barrentine, S.W., Fleisig, G. S., & Andrews J. R. (2008). Swing kinematics for male and female pro golfers. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 965-970.

主要聯絡者：張立羣

E-mail : lichun@ntupes.edu.tw 04-22213108 轉 2260