

武術「騰空飛腳」助跑階段的 生物力學分析

陳帝佑 國立體育學院
李志明、唐人屏 中國文化大學
黃長福、陳重佑 國立台灣師範大學

摘 要

「武術」是唯一進入亞洲運動會成為國際性的中國傳統體育運動競賽項目，其中長拳比賽的『騰空飛腳』動作，是套路指定的跳躍性動作。由於武術裁判法指出『騰空看高度』的評分準則，因此，適宜地運用三步的助跑技術，為調和起跳階段動作做準備，以增加跳躍高度，凸顯出動作的特性，進而影響裁判於「風格、節奏」與「勁力、協調」方面的主觀給分。因此本研究的主要目的乃是利用 Peak Performance 二度空間影片分析系統，探討優秀武術運動員『騰空飛腳』動作助跑階段的運動學特徵，並對國內優秀武術運動員『騰空飛腳』的助跑技術進行診斷。

實驗以國內六名優秀武術選手為受試者，平均身高為 167.9 ± 6.0 公分，平均身體質量為 62.0 ± 5.0 公斤，平均年齡為 20.0 ± 2.8 歲，平均習武年齡為 3.0 ± 1.2 歲。並以重複量數相依樣本 t 檢定 ($\alpha = 0.1$) 比較助跑兩步動作的差異。結果發現六位受試者中，僅有跳得最高的運動員助跑階段逐漸降低其重心；而重心水平速度的極大值多半產生於第一飛程階段，其減速可用於從容調整起跳時的動作技術，此一結果也與《武術基本功》(1988) 一書對於騰空飛腳技術的描述有所不同。最後，本研究建議國內武術選手施行「騰空飛腳」動作助跑時，應逐步降低重心，並在最後一步前仰身增加髖關節角度，致使膝關節於起跳階段初期有適宜的彎曲角度，以從容的起跳。

關鍵詞：亞運武術、騰空飛腳、生物力學、助跑

壹、緒 論

一、問題背景

亞運武術競賽的裁判規則(1991)指出，騰空動作的高度影響著『勁力協調』、『精神結構風格』的分值，而「騰空飛腳」是亞運武術競賽項目的指定騰空動作之一，由於該動作是以助跑、起跳、騰空、落地四個階段完成，所以，通過正確的助跑、起跳技術就能增加騰空高度。根據亞運武術競賽裁判規則規定：助跑動作不得超過三步；是故，康戈武(1991)認為應適宜地發揮三步的助跑技術，以獲得向前的水平速度，並以制動技術將其迅速轉變為向上的騰空初速度。康戈武描述騰空飛腳的助跑要領：「助跑速度要越來越快，不管採用何種步法助跑，最後一步均應以腳跟著地制動，並迅速過度到前腳掌，快速蹬跳而起。」也有許多教練認為三步助跑的步幅要一步比一步大，速度要一步比一步快，重心則要逐步下降《武術基本功，1988》。而根據台灣的亞運武術選手黃軍達指出其助跑的要領應逐步增加其步頻，方可增大其騰空高度，這與康戈武、武術基本功一書的技術描述是不同的。

有關助跑對起跳高度的控制方面，因為「騰空飛腳」的助跑、起跳動作與跳高競賽項目類似，故引用相關文獻。許樹淵(1976)認為跳高的助跑速度的控制，不能如同跳遠之一味產生最高速度，以免缺乏充分的準備起跳時間，與缺乏非常大的腿力將水平動量大部分改為垂直動量，Hay(1993)對此觀點也是相當認同的，而此概念與康戈武描述騰空飛腳助跑的技術不同，其原因可能是騰空飛腳的助跑步數僅有三步，不似跳高的助跑長度那麼長，以致於速度達7m/sec左右，造成負荷超出肌力的能力，所以，康戈武認為應可一味加快其速度；許樹淵又指出，助跑的速度並不重要，約影響跳高高度因素的百分之十不到；可是根據中國大陸體育院、系教材編審委員會運動生物力學編寫組編寫的《運動生物力學教材》(1986)中指出，助跑對踏跳高度有重要的影響，這一說法與許樹淵闡述助跑對跳高高度的貢獻程度是不盡相同的，而該書指出助跑的作用在於造成踏跳時人體必要的水平速度，形成運動員與支撐點相互作用（即踏跳）的最佳條件，為縮短踏跳時間以及提高踏跳力量創造條件，Hay卻認為此最佳條件是調和運動員的移動速度與肌力、技術的問題，而這有關踏跳時間與騰空高度成負相關的說法，與陳重佑和黃長福(1996)的研究結果是相同的。

Conrad & Ritzdorf(1990)以每秒200張的高速攝影機分析1988年漢城奧運跳高決賽的男女選手結果顯示，世界級最好的選手在最後一步的支撐時間，都有加長的趨勢；而在飛程時間方面則很清楚的都有逐漸縮短，至最後將近零的趨向；步頻的描述方面，則有逐漸增加的傾向，這個結果與武術選手黃軍達的描述有相近之處；有關於步幅

方面，各個選手在其步幅比率之因素的個別差異相當的大，但是，若以世界頂尖選手的羅馬奧運與漢城奧運的倒數第二步與最後一步的步幅個別比較，則發現漢城奧運選手所表現的二個步幅差遠小於羅馬奧運中表現的步幅差。

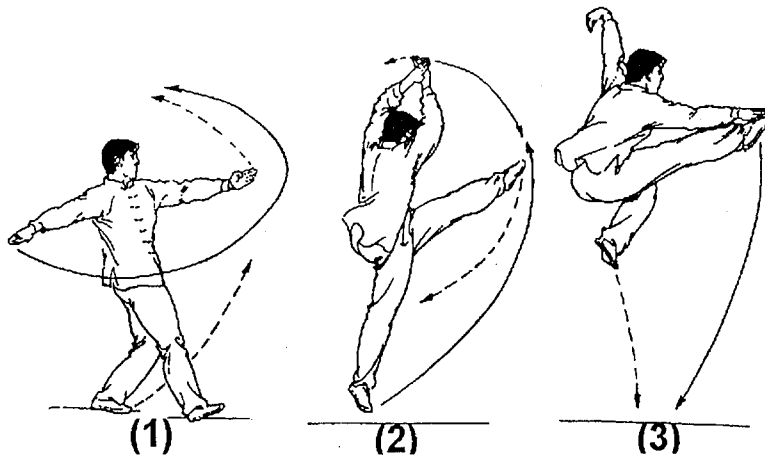
其他有關於騰空飛腳的研究有李暉(1990)以測力板分析比較直擺與屈擺的騰空飛腳，結果發現直擺較屈擺跳得高；鄭仕一和洪得明(1994)以定性分析的方法論述騰空飛腳動作，僅是針對起跳階段與騰空階段進行探討，而鄭仕一(1995)在後續研究中以影片分析法研究騰空飛腳，也僅以騰空階段進行描述。由以上的文獻可知，現今有關騰空飛腳動作的分析並不是很多，而且僅限於起跳階段或騰空階段的描述，在其利用三步助跑起跳的技術，尙未有以定量的科學方法進行技術的描述與分析。另則，由於騰空飛腳的助跑、起跳階段類似跳高運動，而有關於跳高助跑技術的分析與描述中，其步長等方面的描述又與康戈武提及者大相逕庭，而有關於助跑對跳高高度的貢獻也並非完全一致。所以，依此乃引出本文的研究目的。

二、研究目的

本研究的目的，在於利用二度空間影像分析系統，分析我國優秀武術男子選手騰空飛腳動作助跑階段的技術特徵，並對國內優秀武術運動員『騰空飛腳』的助跑技術進行診斷。

三、名詞解釋

- (一)騰空飛腳：也稱「二起腳」，為亞運武術競賽套路動作，亦是國內中小學體育課教材內容；根據亞運競賽套路的的要求，它是由助跑、起跳、騰空與落地四個階段完成，助跑的方法主要是在經過『擊步』後，向前連上二步（右、左、右步）助跑，緊接著以右腳為起跳腳蹬地跳起，如圖一之(1)，左腳為擺動腳前擺與上擺動，如圖一之(2)，於騰空階段時，以起跳腳（右腳）彈踢，並與右手掌擊響，左腳則屈膝收於胸前，如圖一之(3)。
- (二)重心提昇高度：為起跳階段之重心最低點與騰空後重心最高點的高度差。
- (三)飛程時間：指助跑階段雙腳離地時的動作時間，因此，「第一飛程時間」是指助跑第一步的右腳蹬離地面後、左腳接觸地面前的時間；「第二飛程時間」是指助跑第二步的左腳蹬離地面後、右腳（亦為起跳腳）接觸地面前的時間。
- (四)支撐時間：指助跑階段的左腳或右腳滯留於地面，用以支撐身體與推動身體向上或向前的動作時間。



圖一 騰空飛腳動作。(康戈武, 1991)

貳、研究方法與步驟

一、研究對象

本研究對象為國內亞運武術項目優秀男子選手 6 名。其個人基本資料如下表一：

表一 受試者基本資料

受試者	身高(cm)	身體質量(kg)	年齡(歲)	習武年齡(年)
平均數	167.9	62.0	20.0	3
標準差	6.0	5.0	2.8	1.2

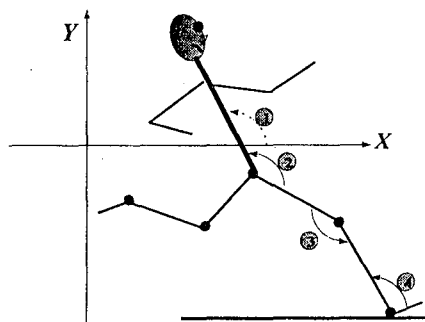
二、實驗步驟

(一)場地與儀器佈置

本研究之實驗地點於國立台灣師範大學分部生物力學實驗室外之司令台前，場地與儀器佈置如下圖二：

(二)攝影機之架設

本研究以一部 Peak 高速攝影機拍攝受試者矢狀面上二度空間的「騰空飛腳」動作，其拍攝頻率為 120Hz，快門(SHUTTER)為 1/2000；攝影機與運動平面之垂直距離為 20 公尺，鏡頭離地高度 1.2 公尺，取景範圍約為寬 4 公尺、高 2.5 公尺。



圖二 實驗場地佈置與儀器架設圖

(三)資料處理

本研究進行影片分析是以 Peak Performance 5.2.1 版二度空間影像運動分析系統為主要工具。拍攝得的影片經 PEAK 系統編碼 (Encoding) 處理後，擇取每位受試者較佳的動作一次，進行數位化分析。數位化的分析是點取人體關節的 17 個標誌點 (Landmark) 將人體分成 12 個肢段；並採用 Winter (1990) 書中 Dempster (1955) 肢段參數計算重心位置。

數位處理後的原始資料經 Peak 系統提供的修勻方法平滑處理 (Smoothing)，本研究乃選取四次零相位移數位濾波法 (fourth-order zero-phase-shift Butterworth Filter) 進行所有原始資料的修勻處理，截止頻率 (Cutoff Frequency) 設定為『最佳 (Optimum)』。上述處理過的資料再進行生物力學參數的計算。助跑兩步動作的差異以重複量數相依樣本 t 檢定 ($\alpha = 0.1$) 比較之。

參、結果與討論

本研究包括六名受試者，在數位化處理的過程中，是挑選每位受試者騰空飛腳動作完整，且騰空高度較高的動作進行分析，計算其生物力學變數，並分析六位受試者施做騰空飛腳動作助跑各階段的生物力學特徵，比較助跑對重心提昇高度的影響。結果與討論分為三個部份：一、支撐時間與飛程時間；二、步幅與重心高度、速度；三、下肢關節角度特徵。

一、支撐時間與飛程時間

表二為六名受試者騰空飛腳助跑階段的支撐時間，表三為六名受試者騰空飛腳助跑

階段的飛程時間。他們在助跑的第一步與第二步支撐時間、飛程時間方面都沒有達到統計上的顯著差異 ($p>0.1$)，可是對於重心提昇高度較高的受試者 A、C、E 而言，他們的第一步支撐時間有著比第二步支撐時間較長的趨勢，而飛程時間則以受試者 A 逐漸減少的情形較為明顯。不過研究顯示，表現較好的受試者有著支撐時間逐步縮短的現象，這與 Conrad & Ritzdorf (1990) 研究跳高助跑技術的支撐時間逐步加長的現象是相反的。表二中重心提昇最多的二位受試者 A 和 E，在起跳階段的支撐時間則較第二步的支撐時間長，而又根據陳重佑和黃長福 (1996) 的研究指出起跳時的踏跳時間與重心提昇高度成顯著的負相關，因此，對於本研究騰空飛腳動作的受試者 A 與 E 而言，他們可能是利用起跳階段作為其調整起跳技術的重要階段。

表二 六名受試者助跑階段各步的支撐時間

受試者	重心提昇高度 cm	第一步 (右腳) sec	第二步 (左腳) sec	起跳 (右腳) sec
A	56.0	0.225	0.200	0.242
B	47.4	0.192	0.250	0.250
C	49.2	0.283	0.258	0.242
D	38.8	0.233	0.233	0.242
E	51.1	0.267	0.225	0.242
F	44.5	0.217	0.275	0.258
t=-0.223	平均數	0.236	0.240	
p=0.832	標準差	0.033	0.027	

表三 六名受試者助跑階段各步的飛程時間

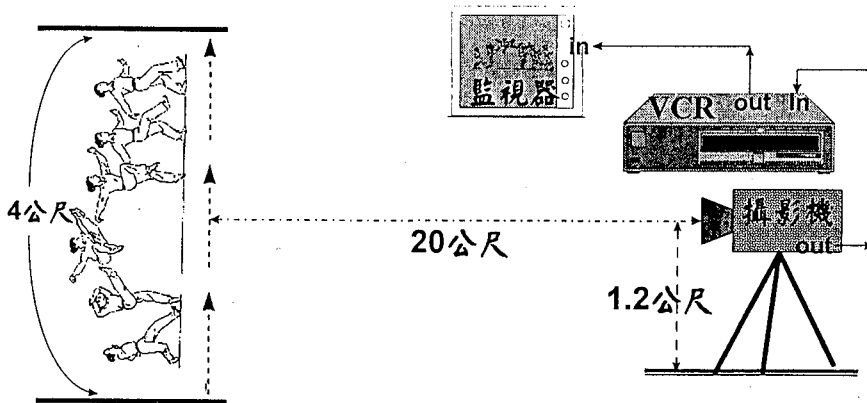
受試者	重心提昇高度 cm	第一步飛程時間 sec	第二步飛程時間 sec
A	56.0	0.067	0.033
B	47.4	0.017	0.042
C	49.2	0.033	0.033
D	38.8	0.025	0.025
E	51.1	0.058	0.050
F	44.5	0.042	0.025
t=0.704	平均數	0.040	0.035
p=0.513	標準差	0.019	0.010

二、步幅與重心高度、速度

根據康戈武(1990)與《武術基本功》(1988)指出步幅要越來越大、重心要越來越低、速度要越來越快的騰空飛腳之助跑動作技術指導；從表四與表五中，本研究的受試者在每一步步幅與身體重心高度的表現並沒有達顯著的差異，而 Conrad & Ritzdorf (1990) 針對跳高助跑技術分析發現個別的差異影響了步幅的大小，這也可能是本研究遇到的因素，可是從圖三中我們也不難發現，重心提昇高度最大的二位受試者呈現著第一步步幅大於第二步步幅的情形。表五顯示只有受試者 A 有重心逐步下降，其餘的受試者則為一步比一步高。

表四 六名受試者助跑階段各步的步幅

受試者	重心提昇高度 cm	第一步步幅 cm	第二步步幅 cm
A	56.0	169.0	113.0
B	47.4	132.5	150.5
C	49.2	145.5	157.0
D	38.8	148.5	145.5
E	51.1	181.5	151.0
F	44.5	153.5	152.9
t=0.884	平均數	155.1	145.0
p=0.417	標準差	17.5	16.1



圖三 六名受試者每一步步幅與重心提昇高度的比較圖

表五 六名受試者助跑階段各步的最小重心高度

受試者	重心提昇高度 cm	第一步重心高度 cm	第二步重心高度 cm
A	56.0	72.6	71.0
B	47.4	72.0	73.6
C	49.2	73.7	73.1
D	38.8	76.4	77.9
E	51.1	75.7	76.4
F	44.5	68.9	72.7
t=-1.17	平均數	73.2	74.1
p=0.300	標準差	2.7	2.5

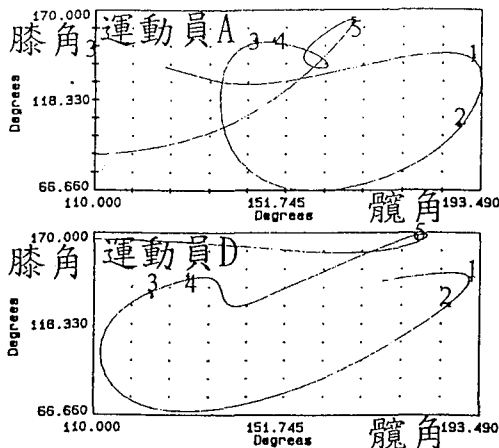
表六顯示六位受試者每一步重心水平速度的最大值達統計的顯著差異($p < 0.1$)，而除了受試者 C 以外，其餘的選手都是重心水平速度在第一步就達最快速度，當然，此一結果與康戈武等人的描述是不相同的；不過顯然的，五位受試者在第二步時速度就開始降低的目的，無非是爲了做爲調整起跳的準備工作。因此，若是結合上述起跳時間與重心提昇高度成負相關的目的爲調整起跳動作，那麼，我們就可以推測第一飛程以後的減速工作，乃爲起跳的預備工作，也就是控制並協調起跳階段前的重要機制，這一結果的推論與跳高、跳遠動作的助跑階段一樣，並不是一味地產生最快的速度，也就是說，雖然武術的所有助跑動作只有三步，可是仍不能僅爲了追求跑速而忽略了應去調節起跳的技術。

表六、受試者每一步的重心水平速度最大值

受試者	重心提昇高度 cm	第一步重心速度 m/s	第二步重心速度 m/s
A	56.0	5.19	4.35
B	47.4	4.79	4.54
C	49.2	4.52	4.76
D	38.8	5.36	4.50
E	51.1	5.34	4.83
F	44.5	4.57	4.42
t=2.25	平均數	4.96	4.57
p=0.074	標準差	0.38	0.19

三、下肢關節角度特徵

在右膝關節角對右髖關節角的座標顯示最優秀的運動員 A 與其他五位運動員有顯著不同的運動特徵，如圖四，1 以前為第一步右腳支撐，1 至 2 為右腳離地後、左腳著地前的騰空階段，2 至 3 為左腳支撐、右腳擺動階段，3 至 4 為左腳離地後、右腳著地前的騰空階段，4 至 5 為右腳支撐的起跳階段，A 運動員的右髖關節角度在 3 至 4 的擺動階段 (193.5° - 137.3°)，都遠比其他運動員 (約 195.0° - 110.0°) 曲屈的少，如此即有利於起跳前的預先伸展膝關節，因此，起跳階段的初期，A 運動員才能有充足的緩衝空間以調整起跳時的技術；但是為了使右髖關節於此階段曲屈的少，運動員就必須於起跳階段前仰其軀幹，此結果可以解釋陳重佑和黃長福 (1996) 指出軀幹角度與重心提昇高度成正相關之研究，這也就是助跑階段重心高度一步一步比一步低的重要因素。



圖四 運動員 A 與 D 助跑階段之右膝角對右髖角座標曲線

肆、結語與建議

通過生物力學的分析發現國內的六位武術運動員僅有重心提昇高度最大的運動員在助跑階段有重心逐步降低的運動表現；而《武術基本功》一書中所云：「一步比一步快」的技術描述，對於作為調和起跳的各項條件以追求騰空高度而言並不恰當。因此，本研究建議長拳武術運動員演練騰空飛腳時，應逐步降低重心，並在最後一步前仰身增加髖關節角度，致使膝關節於起跳階段初期有適宜的活動空間完成起跳前的預先伸展膝關節，以從容的施做騰空動作。

引用文獻

- Conrad, A. & Ritzdorf, W. (1990). Biomechanical analysis of the high jump. Scientific research project at the games of the XXIVth Olympiad-Seoul 1988 (Bruggemann, G-P & Glad, B. ed.). International Athletic Foundation, pp.177-217.
- Hay, G. J. (1993). The biomechanics of sports techniques (4th ed.). New Jersey: Prentice-Hall International, Inc., pp.448-450.
- Winter, D. A. (1990). Biomechanics and motor control of human movement. NY: John Wiley & Sons, Inc, pp.56-57.
- 中國大陸體育院系教材編審委員會運動生物力學編寫組(1986)：運動生物力學。北京：人民體育出版社，228-229頁。
- 中國武術編寫組(1988)：武術基本功。台南：王家出版社，45,133-135頁。
- 李暉(1990)：武術騰空飛腳擺動腿之技術分析。武術科學探秘(徐才編)。北京：人民體育出版社，453-457頁。
- 康戈武(1991)：中國武術實用大全。台北市：五洲出版社，500-511頁。
- 國際武術套路競賽規則(1991)：國際武術聯合會。
- 陳重佑、黃長福。(1996)：武術「騰空飛腳」起跳階段的生物力學分析。國際體育學術論文研討會論文集(383-387頁)。台北市：第二十七屆大學院校運動會國際體育學術論文研討會。
- 鄭仕一、洪得明(1994)：武術競賽動作騰空飛腳之定性分析。國術研究，6，3-14頁。桃園：國立體育學院。
- 鄭仕一(1995)：武術基本動作騰空單飛腳之運動學分析。國術研究，7，77-90頁。桃園：國立體育學院。

Biomechanical Analysis of Run-up of the Wushu Jumping-Front-Kick

Ti-Yu Chen¹, Chih-Ming, Ren-Ping Tang², Chenfu Huang, & Chung Yu Chen³

¹National College of Physical Education and Sports

²Chinese Culture University

³National Taiwan Normal University.

ABSTRACT

Among traditional Chinese physical educational cultures, Wushu is the only activity that has become one of the competition events in the Asian Games. The Wushu jumping-front-kick is an important jumping action in Wushu competition, and the height of the jump that the athlete completes is a very important element to evaluate the athlete's performance by the Rules for International Wushu Routine Competition. Having a well skill of run-up of the jumping-front-kick will effectually enhance the height of jump. The purpose of this study was to analyze the biomechanical characteristics and then to diagnose the skill of the run-up of the Wushu jumping-front-kick for elite Wushu athletes of Taiwan.

Six elite male Wushu athletes of Taiwan were served as the subjects in this study. Their mean (\pm S.D.) age, height, and weight were 20.0 ± 2.8 years, 167.9 ± 6.0 cm, and 62.0 ± 5.0 kgw, respectively. Peak Performance Video Motion Analysis System (120Hz) was used to record, digitize, and calculate the biomechanical parameters in the run-up of the Wushu jumping-front-kick. The results indicated: (1) The best athlete's center of gravity was getting lower in step by step, but the other athletes were opposing the best athlete's performance. (2) The maximum horizontal velocity of center of gravity was usually appeared before the takeoff step that was different with the advice from the book of "Fundamentals of Wushu" (1988) that indicated the running speed must be faster from step to step in the three steps approaching skill. (3) This study suggested that Wushu players should lower their center of gravity step by step, and the trunk should be leaning backward before the last step to increase the right hip angle in order to bring out a optimum angle of right knee during the initial takeoff phase.

Key words: Wushu, Jumping-Front-Kick, Biomechanics, Run-up

武術「騰空飛腳」助跑階段的生物力學分析

評論人評語：

作者：陳帝佑、李志明、唐人屏、黃長福、陳重佑

- 一、定性參數不完整，只有步幅、時間、重心、速度，欠缺各步關節變化、各步體角變化。
- 二、本文只是高貴儀器之應用，觀察簡單的變化，欠缺動作流程連續性的關係。
- 三、研究參數間的關係未討論，機轉未探討。
- 四、表二、表三、表四、表五、表六可合為一表，簡潔明晰，且較易瞭解其關係。
- 五、8 頁之三下肢關節角度特徵之階段部位關節角度應以表列出，段節的寫法才能一致。
- 六、8 頁之三下肢關節角度特徵不詳細，標題有待斟酌，標題與內容不一致。
- 七、結語過於簡略，未能為題目做出結論。
- 八、題目中之「生物力學分析」，宜改為「動學分析」，似不宜加大為「生物力學分析」，才顯示以生物做為研究。

評論人：許樹淵