

排球踏併跳動作中先行腳與跟隨腳之運動生物力學分析

辜瀾儀 黃寶賢 王令儀 張木山

國立東華大學體育學系

E-mail: nextornext@hotmail.com

摘要

本研究之主要目的旨在探討排球踏併跳動作中先行腳與跟隨腳動作在運動生物力學上的特性與差異。以七名國立東華大學男子排球選手為研究對象進行排球踏併跳動作。以 MegaSpeed 高速攝影機與 AMTI 三軸測力板各一部同步擷取資料，分別以 Kown3D 與 KwonGRF 軟體進行影像與地面反作用力資料處理，並以 SPSS12.0 版統計軟體進行重複量數 t-test。研究結果發現在關節活動角度方面除了先行腳有較大的踝關節屈曲與屈曲腳位移外，其餘各關節之活動皆無顯著之不同。而跟隨腳有較短的總動作時間，是因其下蹲期與制動期較短，此較快速的 SSC 動作行為伴隨而來的是較大的垂直地面反作用力，此動作特性之差異期可提供運動訓練時參考。

關鍵字：關節角度、動作時間、地面反作用力

一、前言

踏併跳 (step-close jump) 是排球運動中常見的跳躍技術，其起跳期之運動技術為先行腳 (lead leg) 先接觸地面而後跟隨腳 (trail leg) 才跟進踏併，最後兩腳才同時蹬地跳起 (Coutts, 1982)。以此，踏併跳並不是一雙邊對稱的動作型態。

肌力與爆發力為許為多運動中重要的基本能力，較大的肌力與爆發力可使動作過程中最大地面反作用力增大且提早出現，有利於衝量的累積，研究便證實運動員在經過肌力訓練後可使肌力上升，進而增加垂直跳的表現 (Brown, Wells, Schade, Smith, & Fehling, 2007)。易言之，在起跳期較大的肌肉力量參與動作可形成較大的推蹬力量，有利於跳躍表現。此外，透過動作技術的改變亦可增進動作過程中肌肉力量之形成，研究透過伸張縮循環動作 (SSC) 証實肌肉的預先伸張 (pre-stretch) 活動形成伸張反射刺激與彈性能的儲存可增大接下來進行向心收縮動作之肌肉力量，有助於向心階段的表現 (Komi & Carmelo, 1978)。

此外，動作時間的增長可使力量作用的時間較長，看似有利於動作期間衝量的累積，然而研究指出，較快的牽張速度與較短的偶聯時間，其肌肉彈性能的儲存與再利用的效果較好，且較快的牽張速度亦能產生較大的牽張反射刺激，亦即，過慢的動作速度會使彈性能轉換成熱能消散並降低牽張反射之效果 (Lin, Liu, Lin, Tsai, & Chao, 2008)。因此，動作時間的延長並不有利於力量的形成。

綜合上述，踏併跳之先行腳與跟隨腳在動作時間上的差異應會形成不同的 SSC 動作特性進而改變動作效益。故本研究之目的乃在探討排球踏併跳動作中先行腳與跟隨腳動作在運動生物力學上的特性與差異，期可提供運動教學與訓練之參考。

二、研究方法

本實驗參加者為 7 名國立東華大學參加大專男子排球特優級選手。於受試者身體兩側各貼上 8 個標示點：肩關節、尺骨莖突、腕關節、指、大轉子、膝關節、脛骨外踝、第五蹠趾趾跟。以 MegaSpeed 高速攝影機 (120Hz) 與 AMTI 三軸測力板 (1200Hz) 各一部，且同步擷取受試者三步助跑併腿跳之矢狀面動作影像與著地期間地面反作用力。以 Kown3D 軟體進行影像分析，使用 Dempster (1955) 人體肢段參數常模。測力板資料以 KwonGRF 擷取與分析。因受限於僅有單塊測力板，故在測試時兩腳之資料需分次擷取，以此，每種動作之單側腳各測驗 6 次後分別取其最佳的 3 次跳躍進行資料處理，並以 3 次之平均數進行結果分析。以 SPSS for Windows 12.0 版套裝軟體進行重複量數 t-test，考驗先行腳與跟隨腳兩腳間各參數之差異。統計顯著水準定為 $\alpha=0.05$ 。先行腳與跟隨腳間有顯著差異時結果表以 * 表示。

三、結果與討論

由著地期間先行腳與跟隨腳之關節活動現象 (表 1) 發現除了踝關節的活動外，先行腳與跟隨腳在著地期間各關節活動之角位移皆無顯著的不同。而著地期間先行腳之踝關節有較大的屈曲角度故形成較大的屈

曲角位移 ($p<0.05$)。以此推論，在動作技術上先行腳與跟隨腳的關節活動型態類似，僅下蹲時先行腳需有較大的踝關節屈曲，在起跳時雙腳並不在平行位置上，跟隨腳在先行腳之前，故重心要向前改變時，先行腳踝關節將產生較大的屈曲。

表 1 踏併跳著地期間各關節角度變化 (度)

	先行腳	跟隨腳
著地瞬間角度		
髖關節	112.98±8.06	109.63±11.79
膝關節	147.18±6.03	134.96±10.99
踝關節	133.3±3.63	127.85±2.92
最大屈曲角度		
髖關節	101.72±9.95	104.34±7.88
膝關節	99.99±15.96	119.03±14.33
踝關節	90.18±9.81	106.17±11.64 *
離地瞬間角度		
髖關節	189.15±6.43	186.34±6.66
膝關節	169.44±4.93	170.02±4.27
踝關節	152.24±7.10	152.18±7.00
屈曲角位移		
髖關節	11.26±7.88	5.29±10.279
膝關節	47.20±20.67	15.93±14.82
踝關節	43.12±14.21	21.67±7.334 *
蹬伸角位移		
髖關節	87.42±10.63	81.99±9.49
膝關節	69.46±16.65	50.99±11.15
踝關節	62.06±11.55	46.01±12.71

由動作時間得知 (表 2)，踏併跳之先行腳由著地瞬間至離地所經之時間顯著長於跟隨腳 ($p<0.05$)，由動作形可知，此因先行腳著地後需等待跟隨腳的踏入故使其有較長的動作時間 (Coutts, 1982)。本研究進一步將著地階段依重心位移與加速度之方向關係區分為下蹲期、制動期與蹬伸期來探討，結果顯示 (表 2)，相較於跟隨腳，先行腳有較長的下蹲期與制動期動作時間 ($p<0.05$)，以此推論，先行腳增長的總動作時間主要是增長了下來期與制動期的動作時間，等待跟隨腳的踏入一起進行推蹬，然而此行為使得先行腳進行一較為緩慢的 SSC 動作，而跟隨腳則為一較快速的 SSC 動作。

表 2 踏併跳著地期間各階段動作時間 (秒)

	先行腳	跟隨腳
總動作時間	0.36±0.32	0.24±0.66b. *
下蹲期	0.04±0.02	0.00±0.01 *
制動期	0.20±0.16	0.06±0.05 *
蹬伸期	0.23±0.14	0.18±0.02

過去研究指出，較快速的牽張收縮循環有利於肌肉向心收縮時力量的形成 (Lin, Liu, Lin, Tsai, & Chao,

2008)。故踏併跳之先行腳與跟隨腳在動作時間上的差異應會形成不同 SSC 動作效益。研究結果 (表 3) 便發現，跟隨腳在推蹬期可形成比較大的垂直地面反作用力，此應與其相對於先行腳採較快速的 SSC 動作之特性有關。

表 3 踏併跳推蹬期間最大垂直地面反作用力 (N)

	先行腳	跟隨腳
最大地面反作用力	1303.23±192.86	1567.45±275.59 *

四、結論與建議

先行腳與跟隨腳在關節動作的變化上除踝關節外並沒有顯著的不同，但跟隨腳有較短的下蹲與制動動作時間，此快速 SSC 動作的特性使其形成較大推蹬力量。此外，先行腳與跟隨腳在 SSC 動作特性上的差異或許可建議在運動訓練時應採不同的肌力訓練方式。且未來期望進一步由動力學逆過程進行內在機制之探討。

五、參考文獻

- Brown, A.C., Wells, T.J., Schade, M. L., Smith, D. L., & Fehling, P. C. (2007). Effect of plyometric training versus traditional weight training on strength, power, and aesthetic jumping ability in female collegiate dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 11(2), 38-44.
- Coutts, K.D. (1982). Kinetic differences of two volleyball jumping techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14 (1), 57-59.
- Komi, P.V., & Carmelo. B. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10 (4), 261-265.
- Lin, J. D., Liu, Y., Lin, J. C., Tsai, F. J., & Chao, C. Y. (2008). The effects of different stretch amplitudes on electromyographic activity during drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 32-39.

六、致謝

感謝國立東華大學男子甲組排球隊選手與教練的協助。