



射箭專項能力之運動科學與發展技術

¹張吉堯、²林勁宏、¹林國全、²吳政文*

¹中原大學體育室、²元智大學體育室

投稿日期：2021 年 01 月；通過日期：2021 年 06 月

摘要

目的：射箭為一項使用精細動作結合的運動，此外射箭動作因素包含各種複雜動作階段，動作週期穩定能力為重要因素，評估運動表現也是不可或缺的部分。**方法：**本研究以不同角度探討射箭之運動科學應用與發展：一、射箭整體動作與運動表現，二、運動科學輔助射箭專項，三、感測技術應用射箭技術分析。**結果：**本篇回顧性論文發現，運動科學（運動生物力學與感測技術）為評估運動表現方法，訓練過程中以量化測量將是有效改善射箭動作評估方法。**結論：**因此可知結合感測器於專項中可有效量測指標，此外更能提供給教練與研究人員於進行射箭相關研究時，將可以針對動作週期與特徵值以定量方式進行測量。

關鍵詞：動作分期、射擊循環、運動表現、感測技術

壹、緒論

近年國際賽會上中華射箭隊成為我國金庫，魏均珩與彭家楙帶領中華隊搶下 2020 東京奧運門票，更於 2019 混雙射下金牌改寫台灣射箭歷史，國內運動風潮也隨著火熱成績將射箭推廣至社會中蓬勃發展，2019 年更是成立中華企業射箭聯賽，主要以個人、混雙與團體賽事結合對抗賽，使選手能以賽代訓，同時讓更多人認識射箭、觀看射箭比賽。透過運科技術輔助能有找出選手問題，並對症下藥針對當下狀態提升能力。因此，對於優秀射箭選手上成績上的提升，透過科學化方法對運動進行分析探討專項能力更是不可少，現今科技日新月異社會中已即時評估和監控應用於訓練方法終能有效改善選手於表現與最終結果。

身體穩定性、瞄準時間、放箭時間、拉弓手與持弓手肌肉激活狀態等原因作為量化指標，過去研究指出將對運動表現有直接性的影響 (邱炳坤、王麗鈞與陳詩園, 2011; Tinazci, C. 2011; Kolayış, İ. E., & Ertan, H. 2016)。Callaway 等人 (2017) 中也將射箭選手整體動作模式分為六個階段，分別以舉弓 (Bow Hold)、拉弓 (Drawing)、拉滿弓 (Full Draw)、瞄準 (Aiming)、放箭 (Release)、餘姿 (Follow Through) 結合組成完整之射箭動作，而在每個動作階段皆是環環相扣。近年透過支援向量機 (support vector machines, SVMs) 評估射箭成績與體能指標變化與量化方式區分優秀與次優秀等級選手，以識別運動

員的人才和分類表現能力 (Taha, Musa, Majeed, Alim, & Abdullah, 2018)。以有效評估選手方法，將結果回饋於教練、訓練員與選手了解射箭過程中狀態與變化，則能進行調整與避免過度訓練使選手造成運動傷害等。

射箭為台灣受關注重點發展項目，我國射手在國際賽場上都有傑出的表現，若能透過運科輔助使其表現以量化方式回饋，將能使成績更上一層同時具有保護運動壽命效益，備戰 2020 東京奧運選手將有更優異的發揮，藉此本文以論述性方式呈現運動輔助尋出射箭專項量化指標應用與評估分析，將分為三部分：(一) 射箭整體動作與運動表現、(二) 運動科學輔助射箭專項、(三) 感測技術應用射箭技術分析，深入探討射箭專項與運動科學密切關係與發展趨勢。

貳、射箭整體動作與運動表現

奧林匹克運動會正式項目中，射箭屬於一項同時結合肌力與耐力之靜態運動。針對射箭運動表現研究相當多元化，以科學法輔助專項運動將能有效探討指標變化，常見生物力學研究中透過三維動作分析、感測技術與器材測試等技術皆針對將影響射箭表現與提升效益之方法進行評估與回饋。從中運動生物力學更是透過動作階段進行定義與分期，將

*通訊作者：吳政文 元智大學體育室
地址：320 桃園市中壢區遠東路135號
E-mail：h121267227@yahoo.com.tw

每個階段找出特徵點並分析選手於時空下狀態產生變化，隨後將動作分為六個階段，分別為：持弓舉弓 (Bow Hold)、拉弓 (Drawing)、拉滿弓 (Full Draw)、瞄準 (Aiming)、放箭 (Release)、餘姿 (Follow Through) (Callaway, A. J., Wiedlack, J., & Heller, M., 2017)，透過不同階段明確定義，對於後續動作分析與特徵探討將有更多指標與量化數據能給予教練與選手資訊回饋，並能有效提升運動表現。

射箭運動將於場上接受時間較長同時接受肌力損耗較多的狀態，針對射箭選手男生將使用45至50磅進行拉弓，而女生則使用以40-45磅拉弓，此階段神經肌系統與高負荷下將可能產生疲勞效益出現，對於動作更有可能出現不穩定之狀態，進而導致成績造成影響，也可能出現傷害等風險，由此可知正確動作與穩定性將為重要。此運動過程中每個動作皆屬於環環相扣與細微，針對放箭動作流暢將會對表現造成影響，不管於學術界與專業教練皆指出流暢動作觀點，過去學者 Stone (2007) 針對不同動作模式進行探討，實驗過程中透過生物力學與生理學方法進行量測，針對不同層級選手拉弓模式，並收集肌電圖相關參數，此外透過握力等肌力指標進行探討，結果上顯示初學射箭選手透過伸指肌 (M. extensor digitorum) 進行拉弓與放箭，此外握力顯示較無技術熟練選手良好，另外對於拉弓策略上使用正確動作模式進行拉弓與放箭，將能與成績上獲得較良好之結果，對於肌肉疲勞也將較慢出現。但上述過去實驗並未針對不同動作分期進行資料分析，較無法定義每個階段肌肉活化收縮與動作階段相關問題，將無法明確給予回饋。

因射箭運動想追求良好的運動表現將有極高的準確性與穩定度，過去研究結果指指透過上肢肌力與肌耐力的結合將會是重點，以良好節奏性利用自身體能進行發射每箭，將能得到正面效益，然而同時也指出透過科學量化方式將能有效找尋問題與改善 (Ertan, Kental, Korkusuz, Tümer, 2003)。有效了解細微變化針對問題對症下藥便能有效提高選手穩定能力，過去研究透過國際間排名前段優秀選手進行探討也發現，設箭整體動作準備姿勢至放箭位置，選手由拉弓、穩定瞄準與放箭過程中將出現高重複性，也代表一致性為重要關鍵之一，能有效做出放箭位置固定，同時使每次動作誤差減少與避免許多不流暢因素排除 (Hwang & Lin, 2005)。

近幾年透過肌電圖等設備監測運動專項已成為

常態，針對動作過程中找出正確肌群加以強化，對於動作策略也能有效使用，同時能避免於肌肉收縮狀態產生不必要肌力流失，透過背部肌群 (斜方肌與背闊肌) 進行放箭動作，動作階段將利用肌群本身張力有效釋放，使動作更流暢穩定狀態良好，過去許多國際間學術研究人員更是進行探討，找出問題因素也能有效成為輔助新發現。當今正確動作策略選手透過拉弓手有效伸展與位移，同時持弓手朝靶心方向推進，此階段為背部肌群共同收縮，針對每次放箭將會受到細微因素影響，以大肌群進行帶動較能控制，藉此完成整體動作也達到較小誤差。針對教練與選手觀點進行切入也能發現，手臂等肢段活動度與肌肉活化狀態也希望能有效了解，成為不可忽視重要因子。針對選手想解決之問題，國際間研究藉由動作過程中透過肌電圖介入取得資料收集，結果上顯示放箭階段前臂肌肉進行作用與拮抗效益策略將為重要關鍵 (Ertan et al., 2003)。同時 Schnieders 等人 (2017) 於瞄準過程中針對手臂肌群以動作穩定度觀點觀察，並瞭解細微改變都將造成動作影響，此觀點也與證實早期結果指出動作晃動大小與肌肉活化相互因子影響 (Sanes & Evarts, 1983)。

由上述許多針對動作穩定與流暢性進行討論，由回顧不同文獻資訊發現動作特徵瞭解為重要因子，有效找出問題改善對於專項運動將能得到正面效益。不管學術研究人員、專業訓練人員、選手本身不同立場進行觀看將有不同想法，但對於結果上將達到共識，皆以提升運動表現與瞭解正確動作策略為出發點，藉由科學量化方式將能有效提升射箭運動表現，以科研介入將更能瞭解每個階段影響要素。

參、運動科學輔助射箭專項

射箭為一項較精細且複雜的運動。因此，對各運動階段進行了精準的細分區別，並針對動作階段中特徵點將發生情況進行分析與描述。舉例：射箭選手進入發射線，由第一個動作階段 (預備期) 開始，由此階段開始選手開始集中專注力，由手指觸碰弓弦，延續往後每個階段 (舉弓、拉弓、瞄準、放箭與餘姿)，過程中每次動作手臂的位移、每次肌肉活動與每次呼吸都將會影響釋放弓弦後箭於空間中軌跡變化，進而使得分受到影響 (Coaching Manual., 2019)。由於即使最小的因素也會產生很大的影響，因此已經進行了許多研究來分析各種生物力學參數

(例如：運動學、力、速度與肌肉活化)，並找出上述力學參數與得分之間相關性達到最佳狀態 (Heller, M., 2012; Ertan, H.; Soylu, A.R.; Korkusuz, F., 2005; Taha, Z.; Mat-Jizat, J.A.; Omar, S.F.S.; Suwarganda, E., 2016)。

過去針對運動學進行分析，研究中以三維動作捕捉系統，並透過非控制域理論 (uncontrolled manifold, UCM)，瞭解射箭選手於動作過程中關節角度所計算出自由度同時與其他自由度進行抵消，找出動作階段協同作用。結果上發現，肩關節進行外展的狀態將能有效調整手肘與手腕角度，對於整體右手得到修正，此種方法對於選手分析結果運動學分析能有效給予回饋，並針對平時訓練進行動作調整 (Serrien, Witterzeel E, & Baeyens, JP, 2018)。近年於澳洲研究人員也透過國家隊進行時空參數分析，研究中透過測力板與聲音感測器進行資料收集，在多元線性回歸分析結果發現身體擺動速度於放箭階段明顯降低，也提出身體晃動於瞄準期為重要指標，此外於夾箭片 (Clicker) 通過所產生放箭時間上發現，當放箭時間較短選手拉弓力量相對增加，於統計結果透過反應時間與力量、最終運動表現 (即分數) 也發現達中等顯著相關 ($R^2 = 0.42$) (Spratford, W.; Campbell, R., 2017)。

此外國內研究學者李佳倫與石罕池 (2013) 針對瞄準時間與成績進行探討，研究中以影像分析方式進行競賽過程中選手瞄準時間與成績相關性之研究，在研究結果中顯示一位選手瞄準時間與整體瞄準時間上呈負相關，並指出當瞄準時間越短成績顯示將越好，然而於瞄準時間上不穩定產生忽快忽慢將會對比賽成績造成影響。此研究結果與過去射箭專業研究學者 Ertan (2009) 研究中透過不同層級選手以肌電圖進行分析，結果上提出高水平的射箭選手將會使伸指肌 (Extensor digitorum muscle) 與屈指肌 (flexor digitorum superficialis muscle) 於夾箭片通過前後時間點產生平衡，對於持弓手肌肉收縮模式將會對放箭造成不穩定，在時間上也成為影響因子。由此透過科研方式瞭解瞄準與放箭階段，可有效了解不同層級選手於不同狀態下將有差異，並能針對時間、肌肉收縮策略上進行調整。

運用生物力學觀點探索運動專項也是良好同時準確之方法，近年 Simsek與Ertan (2014) 為探討不同拉弓策略在肌肉活化之狀態差異性，研究中以國家對射箭選手，要求使用不同模式進行拉弓：(1)

食指中指放置弓弦操作、(2) 中指與無名指拉弓放置弓弦操作與 (3) 食指與中指與無名指放置弓弦操作，並透過肌電圖黏貼於拉弓手伸指肌、屈指肌、三角肌與斜方肌進行肌肉最大自主收縮 (maximum voluntary contraction, MVC) 資料收集比較差異性，最後於結果上發現當食指與中指與無名指放置弓弦操作拉弓動作時，肌肉活化狀態為最佳，同時能避免肌力產生多於損耗之情形，此外在瞄準期與放箭期中也瞭解透過三只進行拉弓放箭較能使肌群有效平均收縮，也能避免單一肌群較大負荷，並透過科學方式輔助預防運動傷害風險因子。

肆、感測技術應用射箭技術分析

微機電系統 (microelectromechanical system, MEMS) 技術和無線通訊傳輸技術最新發展隨著科研進步已開發出小型且低成本慣性感測器，該感測器可以精確方便地測量人體運動。慣性感測器用於測量運動專項正在成為一種流行的方法，且也可運用於體育活動 (例如：射箭、射擊) 進行生物力學量化。有別於過去相關生物力學研究，雖對於選手於射箭動作過程中以肌電設備、三維動作捕捉將無法走出空間限制之因素，藉由選手於實際場地中練習與競賽過程下量測動作分析，更能貼切選手特徵點與資訊給予回饋，利用感測技術將能不再受限於場地限制克服當前提及之問題。

近年研究中透過加速規 (accelerometer) 黏貼於前臂進行 30公尺模擬比賽情境進行單局資料收集，事後以動態時間歸整 (dynamic time warping, DTW) 方法探討每次射擊一致性，結果上顯示透過加速規於不同時序上訊號辨識動態時間歸整 (DTW) 距離之一致性與成績相關性，當距離越小時成績越高 (Quan, C. H., Mohy-Ud-Din, Z., & Lee, S., 2017)。由上述可知利用感測技術可有效評估與追蹤選手訓練狀態，更能針對選才上有更好幫助。

Eckelt 等人 (2020) 研究中透過三維加速規水平方式黏貼於雙手掌骨並靠近指骨第三節位置，並計算動作時間、動作範圍 (range of motion, ROM) 與變異系數，在資料處理以20毫秒作為窗格進行處理，研究結果顯示當動作時間越短，將會對成績有較佳的狀態出現，也證實過去研究同樣透過加速規黏貼手臂收集於中發現在瞄準階段時間越長對於成績影響越大 (Tahaa, Z., MatYJizatbk, J. A., Omar, S. F. S., & Suwargandad, E., 2016)。

除透過感測器黏貼於選手身上，結合科研技術嘗試使用感測器進行數據收集，進行訓練和回饋資訊，以利用科研方式達到提升運動表現與獲得穩定高分，同時也尋找出如何取得穩定狀態。過去研究透過將彎曲感測器 (flex sensor) 黏貼於弓臂上方進行測量產生力量與加速規定義弓身傾斜角度，最後透過電子雷射感測器紀錄箭於靶上位置，透過這些數據可有效提供不同數據 (Vervaeke, J.; Saldien, J.; Verstockt, S., 2015)，對於選手作為使用者也能有效以統計數值評估自身狀態，並瞭解每支箭變異性，俗話說：『工欲善其事，必先利其器』因射箭為較精細運動，對於事前準備也是重點之一。

現今社會隨著科研技術不斷進步，科技日新月異情況下，將感測技術應用於專項中已成為不可或缺之方法，由上述彙整過去研究發現透過便利性高、體積小等實用性高之感測元件，已能提供多元指標信息給予從事射箭運動相關人員，對於運動科學輔助專項運動則是不斷更新，對於專項資訊也能有更多方向可調整與輔助平時訓練內容。

伍、結論

射箭因受到專項特殊性，較容易受到各種細微因素導致運動表現受到影響，針對選手動作穩定之一致性，選手與教練都因得到更多資訊與結合新穎訓練模式，對於運動科學輔助選手運動表現、器材設計與傷害風險避免都為專項關鍵因子，以往過去無量化方式針對選手狀態進行檢測較容易使訓練量產生超負荷，以科技模式進行評測，更可有效了解肌力與肌耐力等變化，然而運動生物力學與感測器也隨科技進步達到普及，國內射箭項目也成為奪牌重點發展項目，對於科學普及於專項更是不可或缺，同時達到提升表現與保護選手等正面效益。本文針對射箭動作應用探討，根據回顧近年許多研究結果顯示，射箭專項因精準與細微變化特殊性，針對不同動作階段更是該有效了解，精確量測動作特徵點加以改善選手需求，若選手瞭解自身狀態更能在競賽中發揮出優異表現，更能適應不同模式對抗，同時近年透過三維動作捕捉系統進行資料收集，同步生物力學器材，如：測力板、機電設備，將可科量化選手能力指標，配合空間座標收集運動學參數，更有有效輔助專項能力評估，更能收集大數據資料，未來更能建立選手資料庫作為訓練趨勢分析，更能達到選手能力狀態客觀資訊瞭解，提升效率將會更

上一層樓。此外，感測器結合運動專項辨識來進行動作分析設計，也應加入模擬比賽情境，更能貼切收集選手當下資訊，儘管以往針對動作判別進行收集，未來實驗更希望以趨勢分析模式，瞭解整體比賽中選手各參數指標，使教練與選手更輕易瞭解技術修正與動作策略應用更多元。現今感測技術發展狀態良好，應用射箭專項中已有初步探討結果，針對動作分析與時間參數等以找尋出方法，但對於多元訊號分析尚未確認，未來研究人員將可進行多元感測訊號實驗，也能以訓練過程中進行資料收集，對於專項運動與科學發展更能貼切結合，達到更多專項運動貢獻。

陸、參考文獻

- 李佳倫、石罕池 (2013)。優秀射箭選手於競賽中之瞄準時間與射箭成績的關係。《文化體育學刊》，31-41。
- 邱炳坤、王麗鈞、陳詩園 (2011)。射箭教練選擇選手站姿之決策分析。《大專體育學術專刊》，209-216。
- Callaway, A. J., Wiedlack, J., & Heller, M. (2017). Identification of temporal factors related to shot performance for indoor recurve archery. *Journal of Sports Sciences*, 35(12), 1142-1147.
- Coaching Manual—Level 1. Available online: <https://worldarchery.org/Coaching> (accessed on 4 June 2019).
- Eckelt, M., Mally, F., & Brunner, A. (2020). Use of Acceleration Sensors in Archery. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 49, No. 1, p. 98).
- Ertan, H. U. L. U. S. İ., Kentel, B., Tümer, S. T., & Korkusuz, F. E. Z. A. (2003). Activation patterns in forearm muscles during archery shooting. *Human movement science*, 22(1), 37-45.
- Ertan, H. (2009). Muscular activation patterns of the bow arm in recurve archery. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 357-360.
- Ertan, H. U. L. U. S. İ., Soylu, A. R., & Korkusuz, F. E. Z. A. (2005). Quantification the relationship between FITA scores and EMG skill indexes in archery. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(2), 222-227.
- Heller, M. (2012). Evaluation of arrow release in highly skilled archers using an acoustic measurement system. *Procedia Engineering*, 34, 532-537.
- Kolayış, İ. E., & Ertan, H. (2016). Differences in activation patterns of shoulder girdle muscles in recurve archers. *Pamukkale Spor Bilimleri Dergisi*, 7(1), 25-34.
- Lin, K. B., & Hwang, C. K. (2005)。Analyses of the

- relationship between the aiming time and the shot points in archery. *Sports & exercise research*, 7(4), 161-173.
- Quan, C. H., Mohy-Ud-Din, Z., & Lee, S. (2017). Analysis of shooting consistency in archers: A dynamic time warping algorithm-based approach. *Journal of Sensors*, 2017.
- Sanes, J. N., & Evarts, E. V. (1983). Effects of perturbations on accuracy of arm movements. *Journal of Neuroscience*, 3(5), 977-986.
- Schnieders, T. M., Stone, R. T., Oviatt, T., & Danford-Klein, E. (2017). ARCTiC LawE: An Upper-Body Exoskeleton for Firearm Training. *Augmented Human Research*, 2(1), 1.
- Serrien, B., Witterzeel, E., & Baeyens, J. P. (2018). The Uncontrolled Manifold Concept Reveals That the Structure of Postural Control in Recurve Archery Shooting Is Related to Accuracy. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 3(3), 48.
- Simsek, D., & Ertan, H. (2014). The different release techniques in high level archery: A comparative case study. *Türk Spor ve Egzersiz Dergisi*, 16(3), 20-25.
- Spratford, W., & Campbell, R. (2017). Postural stability, clicker reaction time and bow draw force predict performance in elite recurve archery. *European journal of sport science*, 17(5), 539-545.
- Stone, R. T. (2007, October). The biomechanical and physiological link between archery techniques and performance. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 51, No. 18, pp. 1227-1231). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Taha, Z., Musa, R. M., Majeed, A. P. A., Alim, M. M., & Abdullah, M. R. (2018). The identification of high potential archers based on fitness and motor ability variables: A Support Vector Machine approach. *Human movement science*, 57, 184-193.
- Tahaa, Z., MatYJizatbk, J. A., Omar, S. F. S., & Suwargandad, E. (2016). Correlation Between Archer's Hands Movement While Shooting and Its Score. *Procedia Engineering*, 147, 145-150.
- Tinazci, C. (2011). Shooting dynamics in archery: A multidimensional analysis from drawing to releasing in male archers. *Procedia Engineering*, 13, 290-296.
- Vervaeke, J.; Saldien, J.; Verstockt, S. ArcAid Interactive Archery Assistant. In Proceedings of the 2015 7th International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTETAIN), Turin, Italy, 10-12 June 2015; doi:10.4108/icst.intetain.2015.259385.



Archery specific-ability of sports science and development technology

¹Chi-Yao Chang, ²Ching-Hung Lin, ¹Kuo-Chuan Lin, ²Cheng-Wen Wu*

¹Office of Physical Education, Chung Yuan Christian University, Taoyuan, Taiwan

²Physical Education Office, Yuan Ze University, Taoyuan, Taiwan

Received: 2021/01; Accepted : 2021/06

ABSTRACT

Purpose: There was a lot of fine movement used in archery. Also, the factor of archery movements contain variety complex of motion phase. Therefore, the shot cycle of stability been shown to be important contributing factors of archery, furthermore of evaluating the performance is an integral part. **Methods:** The studies investigate sports sciences application of the archery shot cycle and its development in different perspective: 1.The archery shot cycle phases and sports performance. 2. The sports science enhanced archery. 3. Application of sensor technology to analysis in the archery. **Results:** This review demonstrates shown the sports science (biomechanics and sensor technology) is a very useful metric for assessing sports performance, quantitative measure the progress on training, and finding improve methods in archery's motion. **Conclusions:** Thus, concluded that the combine sensors are effective in measuring the skills indicators. Therefore, the suggestion for the coach and researchers is that taking quantitative as the evaluation when making the study of the archery, the measure of the shot cycle and characteristic value.

Keywords: Motion phase, Shot cycle, Sports performance, Sensor technology

*Corresponding author: Cheng-Wen Wu, Physical Education Office, Yuan Ze University, Taoyuan, Taiwan.

Address: No. 135, Yuandong Rd., Zhongli Dist., Taoyuan City 320315, Taiwan (R. O. C)

E-mail: h121267227@yahoo.com.tw