

國家運動訓練中心 之運動生物力學規劃

文 / 陳家祥、相子元

壹、前言

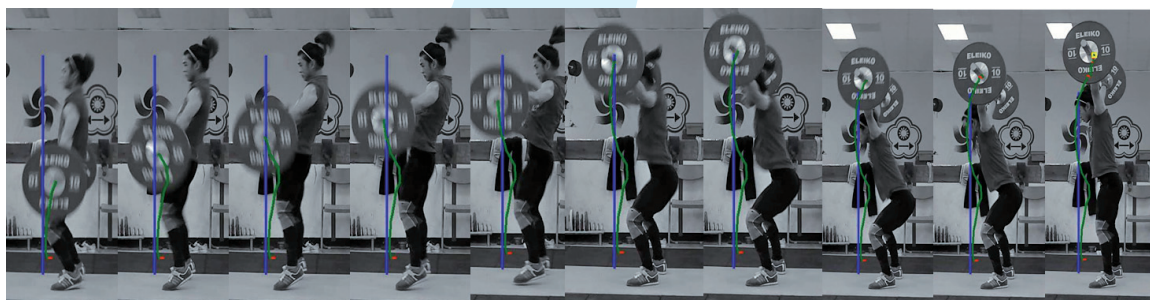
運動科學的演進不斷推陳出新，科學訓練已成為國內外訓練的基礎知識，透過科學化的訓練可提升訓練效益及增進運動選手的表現，運動科學介入訓練已經是現在不可或缺的趨勢。國家運動選手訓練中心（以下簡稱國訓中心）為國內培育優秀頂尖選手的搖籃，近期因應政策改制為行政法人，法人化後許多的政策制定及推動可以減少繁雜的公務流程，提升行政流程的效益，讓國訓中心對運動科研介入訓練有更多的彈性與自主性，透過科學化的訓練環境、規劃運動員長短期的訓練週期，落實「選、訓、賽、輔、獎」的制度，以提高國內的競技水平。其中，運動科學將扮演重要的角色，然而，以運動生物力學角度提升運動選手的運動表現及預防

運動傷害更是受到關注的一個環節。

目前，國訓中心內運動生物力學的設備有影像分析系統、力量感測儀、肌電系統、紅外線分段計時器、等速肌力儀、壓力感測儀及加速感測器…等等相關儀器，透過運動生物力學的儀器設備，使我們可以精確觀察運動選手動作表現上的缺失，進而與教練提出修正方案，提升運動選手的競技成績，並減少運動傷害的發生。

貳、運動生物力學分析

運動生物力學分析之目的主要以提升運動表現及預防運動傷害。常用的技術分析有主觀質化分析（subjective qualitative analysis）及客觀量化分析（objective quantitative analysis）。主觀質化分析是根據觀察者所

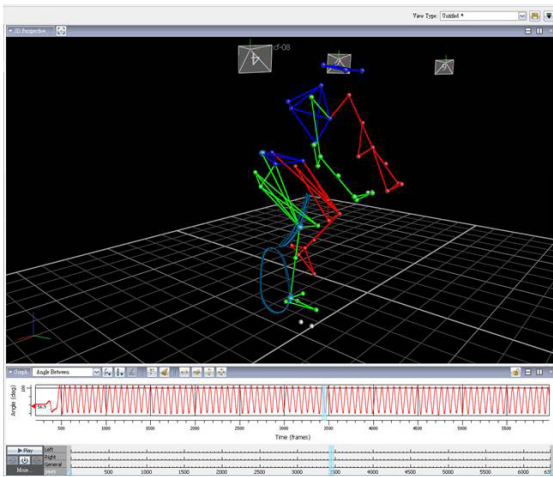


▲舉重抓舉之槓鈴軌跡分析。（圖 / 國訓中心提供）

表一 主觀質化分析與客觀量化分析之間的差異

	主觀質化分析	客觀量化分析
問題的發現	觀察大量的選手	根據理論基礎
觀察的項目	多元可變	事先決定
研究的對象	隨機，大量	特定，少量
測量的環境	實際練習或比賽場地	實驗室或經過設計的場地
資料的蒐集	教練或觀察者	客觀儀器設備
資料的分析	主觀描述	統計方法

資料來源：作者自行整理



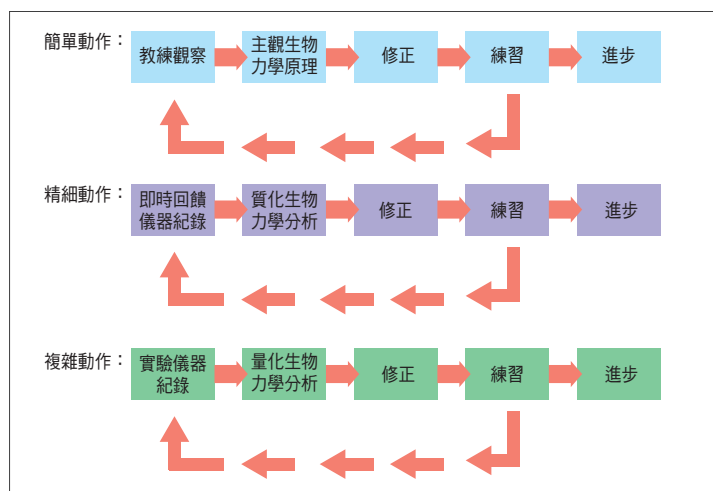
▲圖一 影像分析：透過反光球黏貼於身體重要關節處，再以紅外線高速攝影機擷取反光球位置，經數位化訊號處理後，計算身體各個部位的關節角度及運動學相關參數。（圖 / 作者提供）

觀察的動作模式進行判斷，可藉由教練觀察後立即給予選手動作回饋，常以觀察分析（spectator analysis）判斷技術的優劣；以因果分析（course-effect analysis）解釋動作的形成；以技巧分析（skill analysis）給予運動選手口語化的建議。然而，客觀量化分析以物理學或生物學的角度出發進行研究，採用儀器設備將運動選手的動作給予數據化的定量分析。

常見的技術有影像分析（image analysis）（圖一）解析運動過程的細部動作；透過反光球黏貼於身體重要關節處，再以紅外線高速攝影機擷取反光球位置，經數位化訊號處理後，計算身體各個部位的關節角度及運動學相關參數；動力分析（dynamometric analysis）運算力量對人體的影響；肌電分析（electromyography analysis）觀察肌肉活動的情形。表一為主觀質化分析與客觀量化分析之間的差異。

透過反光球黏貼於身體重要關節處，再以紅外線高速攝影機擷取反光球位置，經數位化訊號處理後，計算身體各個部位的關節角度及運動學相關參數。

上述的主觀質化分析或客觀量化分析各有其優缺點，目前國訓中心的運動生物力學分析結合以上分析優點，發現來自教練及選手的需求與問題，經由運動科學研究人員搜尋及整理相關資料後，規劃使用的儀器設備來分析運動選手動作，執行該專項動作的相關參數，並將收集到的資訊以即時回饋方式作呈現，立即與教練討論，並參考國際優秀選手及國內其他優



▲圖二 三種運動生物力學的介入模式。資料來源：作者自行整理

秀選手之技術，作為技術修正之依據，將固有動作技術改善精進，盡可能設計創新符合理論之技術，增加選手實力，可作為戰術設計之依據。並發展出以下三種運動生物力學的介入模式（如圖二）。

根據三種運動生物力學的介入模式，提出以下三個方案：一、簡單動作-結合訓練；二、精細動作-即時回饋；三、複雜動作-量身訂做，對未來運動生物力學介入實際訓練的具體建議及作法。

參、結合訓練

運動訓練是運動員提升運動表現的基礎要素之一。長期的運動訓練可以提升運動選手的

身體素質（肌力、肌耐力、速度、爆發力、敏捷性等等），但是若沒有精準的監控運動選手訓練量，往往容易造成訓練量太低（無效的訓練）或是訓練量過高（較易產生運動傷害）的情形。

透過運動生物力學結合運動訓練可以量化訓練量，增加運動訓練的效率。以運動生物力學的感測技術融入運動訓練，可以監控運動選手的運動強度，紀錄運動訓練的總量，同時也可

以監控運動選手訓練的狀況，有利於教練制定一日、一個月、一季或一整年的訓練處方及訓練規劃。另外，透過運動科學的介入也可以觀察選手當下的狀況是否已經達到疲勞的階段，是否適合增加後續的訓練量或是需要進行休息或轉換其他強度較低的訓練模式。運動科學的介入讓運動選手的訓練可以得到量化，更能提高訓練的效益，也可以減少運動傷害的發生。以下以跆拳道運動做為案例分享：

隨著跆拳道運動的規則的改變，目前比賽都使用電子護具以增加比賽的公平性（圖三），然而，規則的改變也影響戰術的運用，為了有效增加跆拳道踢擊的得分效益，進一步以運動生物力學的角度觀察多少的踢擊力量



▲圖三 運動生物力學監測跆拳道墊子護具得分之效益。(圖 / 作者提供)

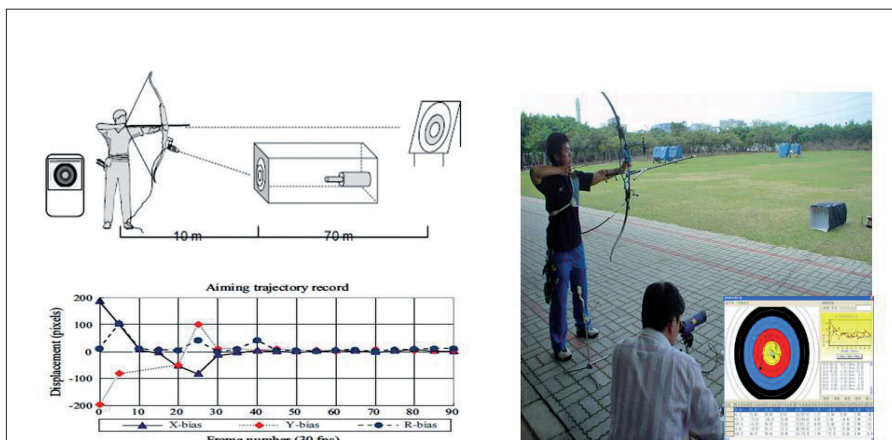
可以有效得分，因此我們將微小電子感測器置入電子護具中，能夠監控跆拳道選手每一次踢擊產生的力量，讓選手可以用最小的力量達到最佳的得分效果，也避免過度用力造成體力的浪費及肌肉的疲勞。另一方面，透過不同位置的感測器，了解不同攻擊模式對得分效益的差異（吳靜儀 & 王令儀，2014），有助於教練及選手進行個別化的調整訓練及在戰術安排的運用。

肆、即時回饋

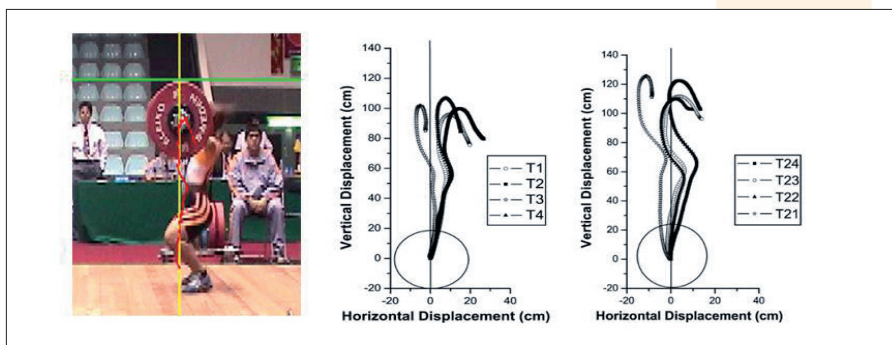
近年來運動科學領域蓬勃發展，克服了實驗室動作分析系統的缺點，不受到使用場地儀器空間的限制，測試儀器的可攜帶性提高，同時也結合智慧型手機與平板電腦的使用，在進行訓練或測試之後可以馬上給予教練或選手直接的回饋，並監控運動選手在執行動作的過程所發生的一舉一動，也提供影像的即時判讀

（相子元，石又，& 何金山，2012），同時再分析相關參數，例如：改變的距離、運動軌跡、移動速度及加速度等，經由簡單紀錄運動員在動作的過程會產生的所有特徵，方便教練在指導運動選手時的佐證資料，另外，透過高速攝影的技術可以觀察平時肉眼難以觀察的現象（例如：擊球瞬間物體因震動產生的形變），讓教練及運動選手可以針對自己平時觀察不到的細節作進一步的解析。利用即時回饋系統觀察不同選手的表現再給予不同的技術指導。藉由運動科學的量化觀察結合專項運動教練的經驗後，給予運動選手實務建議。以下以射箭運動做為案例分享：

在射箭的訓練過程中，我們透過虛擬靶的建構配合無線遙測系統，透過模擬練習監控射箭過程（如圖四），全程紀錄選手瞄準軌跡，計算分析瞄準偏移量與預測箭命中的著入點，且在練習後提供完整的報告，可以讓射箭選手



▲圖四 運動生物力學結合射箭練習。資料來源：Hung et al. (2009)



▲圖五 優與劣的提鈴軌跡。資料來源：Chiu et al. (2010)

立即對自己的動作進行修正，並找出適合自己的瞄準模式，以提高訓練的實質效益 (Hung, Tang, & Shiang, 2009)。

伍、量身訂做

運動的種類繁多，田徑、游泳、體操、球類（籃、排、桌、羽、網…）、技擊（跆拳道、擊劍、柔道…）、射箭、直排輪、舉重…等不勝枚舉。每一項運動的關鍵技術都不一樣，故採用的儀器設備及分析模式都會隨之改變（陳家祥，劉韶怡，& 相子元，2014），故在打造量

身訂做的運動生物力學分析系統，同時會先收集國內外的相關資料及大量閱讀實證性研究，彙整相關資料後與專項教練討論該專項的動作要點、該選手本身遇到的問題及未來要達成的目標，擬定完整的運動科學訓練藍圖後開始執行。以下以舉重運動做為案例分享：

舉重是一項具有相當技術性的競賽，而成功與否的判定則在舉重選手是否可以完整的將槓鈴高舉過頭並且完全站立，然而，在比賽過程中最為關鍵的時期為：抓舉的接槓的時期及挺舉的支撐分腿期，這兩個時期也是常常造

成選手試舉失敗的主要成因（Chiu, Wang, & Cheng, 2010; Gourgoulis, Aggeloussis, Garas, & Mavromatis, 2009）。較常出現錯誤的原因有以下兩點，第一是在始拉期選手給予槓鈴過大的向上力量，導致接槓期需要承受過大的下壓力量而失敗，第二則是在接槓時因為技術不正確導致接槓動作不穩定而造成失敗的結果（莊銘修 & 張立羣, 2014）。了解其原因並與教練討論後決定使用影像分析、動力分析及肌電分析給予完整的量化指標判讀，從此一過程可以清楚判讀影響成功與失敗的試舉的重要參數與發生的時間點（圖五）、試舉過程下肢關節承受的力量與力矩及分辨哪一些肌肉是主要作用肌群。再與教練和選手討論解決方案，重新擬定訓練計畫，並在一段時間的訓練後，再次檢驗訓練的效果。

陸、結語

以運動科學的介入來提升運動效益的理念已經被證實，然而，提升運動表現及預防運動傷害更是運動生物力學的首要課題。本文分析國內運動生物力學發展的動向，並提出三個不同應用層面的介紹（簡單動作 - 結合訓練；精細動作 - 即時回饋；複雜動作 - 量身訂做），期望未來可以服務更多的運動選手，提供更優質的運動訓練環境。另外一方面，期許法人化的國訓中心能夠有

效整合各方資源及落實體育相關政策，將我國體育水平推向更高層次。（本文作者陳家祥為國立高雄大學運動競技學系助理教授；相子元為國立臺灣師範大學運動競技學系教授）

參考文獻

吳靜儀，王令儀（2014）。跆拳道不同步法下壓踢動作技術分析。運動表現期刊，1（1），10-14。

相子元，石又，何金山（2012）。感測科技於運動健康科學之應用。體育學報，45（1），1-12。

莊銘修，張立羣（2014）。世界大學抓舉冠軍選手之槓鈴運動學分析。華人運動生物力學期刊（10），1-9。

陳家祥，劉韶怡，相子元（2014）。不同的運動褲對於運動表現之影響。華人運動生物力學期刊（10），10-15。

Chiu, Hung-Ta, Wang, Chih-Hung, & Cheng, Kuangyou B. (2010). The three-dimensional kinematics of a barbell during the snatch of Taiwanese weightlifters. The Journal of Strength & Conditioning Research, 24 (6), 1520-1526.

Gourgoulis, Vassilios, Aggeloussis, Nikolaos, Garas, Athanasios, & Mavromatis, Georgios. (2009). Unsuccessful vs. successful performance in snatch lifts: a kinematic approach. The Journal of Strength & Conditioning Research, 23 (2), 486-494.

Hung, Tsung-Min, Tang, Wen-Tzu, & Shiang, Tzyy-Yuang. (2009). A Case Study of Integrated Sport Sciences for an Olympic Archer. Journal of Medical and Biological Engineering, 29 (4), 164-171.