

虛擬實境之下一步——動作實境

相子元、邱煜程、戴一涵*

一、前言

虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 全球當紅，而隨著技術不斷的推陳出新，虛擬實境結合遊戲、影音、娛樂和運動，也帶來更多全新的視野。VR 已不同於以往僅有平面的視角，頭戴式顯示器提供使用者沉浸式的體驗，豐富多彩的環境滿足了人們在虛擬世界視覺和聽覺的需求。然而，VR 下一步的發展會是什麼呢？

將「動作」帶入虛擬實境中可能會是一個有趣的方向，想像在 VR 的運動遊戲中踩飛輪、投球、踢球或是滑雪，每次手臂的快速甩動、足部的蓄力擺盪踢球以及滑雪時併腿轉向的技巧，這些動作都能參照著身體的一舉一動完整、忠實的出現在 VR 世界裡，當然也可以跟虛擬物件、虛擬選手進行真實互動，或是有虛擬教練錄下運動情形，及針對您的運動表現幫你做出即時進行動作分析，並能立即在 VR 環境中進行修正，這些突破時間、突破空間限制的應用將讓生活變得生動有趣。如本文介紹串聯動作分析的現況到 VR 於運動之應用，並說明虛擬實境的下一步——動作實境 (Motion Reality, MR)。

二、動作分析現況

科學化動作分析的優點在於能夠提供動作上的數據化資料，而這些資料除了記錄當前表現，更能針對動作效率最佳化、傷害預防、器材設計、常模分析等多方運用，而記錄的工具舉凡手機上能標記角度的應用程式到實驗室所使用的三維動作分析系統，都能幫助選手、教練及一般大眾進行簡易到進階的動作技術分析。(如圖一)

* 相子元，國立臺灣師範大學運動競技學系研究講座教授；邱煜程，國立臺灣師範大學運動競技學系研究生；戴一涵，宏達國際電子股份有限公司資深工程師。



圖一：以手機 App 進行簡易的飛輪踩踏膝關節角度分析

以自行車運動為例，大家肯定會好奇如何騎乘才是正確的姿勢，例如：如何降低下肢傷害發生的風險、如何讓騎乘時更加舒適或是增加騎乘運動表現……等，而透過動作分析與傷害發生的指標、騎乘舒適度量表與實際騎乘時的表現進行關聯後，就能針對這些問題進行解答並實際改善。過去有研究便指出，坐墊太低在踩踏時會使腳踝的屈曲角度減小，增加跟腱張力、坐墊太高則讓腳踝屈曲角度增加，造成跟腱疼痛¹。因此在自行車騎乘時的坐墊位置設定，建議的角度為膝關節屈曲 25-35 度作為坐墊高度的最佳設定範圍（如圖二），手把位置設定可分為上把及下把，握上把時軀幹的最佳角度為 45 度，握下把時軀幹最佳角度為 30 度，一般自行車愛好者建議使用較直立的騎乘姿勢²，自行車選手則可以在比賽時切換坐姿和站姿的姿勢，藉以在不同的情境下增加騎乘時的效率³。除此之外，騎乘時過大的膝蓋屈曲、伸展角度，會增加髌骨疼痛或髌腱發炎的機率，而過大的膝蓋彎曲角度也會增加股四頭肌的作用進而加速疲勞⁴。

¹ Silberman MR, Webner D, Collina S, Shiple BJ. Road bicycle fit. *Clin J Sport Med.* 2005 Jul; 15(4):271-6

² 陳家祥、石翔至、相子元 (2015)。〈最佳的自行車騎乘姿勢〉，《人文社會科學研究》，9:4，1-11。

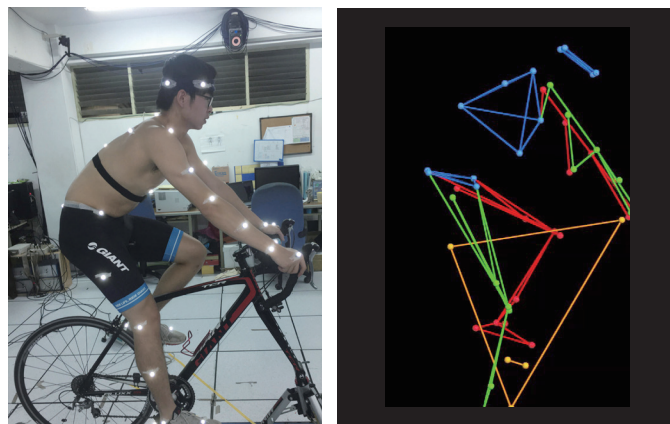
³ Chia-Hsiang Chen, Yu-Kuang Wu, Ming-Sheng Chan, Yo Shih & Tzyy-Yuang Shiang (2016): The force output of handle and pedal in different bicycle-riding postures, *Research in Sports Medicine*, DOI: 10.1080/15438627.2015.1126276

⁴ Bini RR, Hume PA, Kilding AE.(2014). Saddle height effects on pedal forces, joint mechanical work and kinematics of cyclists and triathletes. *Eur J Sport Sci.* 14(1):44-52



圖二：以膝蓋彎曲30度調整自行車坐墊高度

上述關於騎乘自行車時的傷害預防與效益探討，都是專業動作分析後的成果及建議，完整的動作分析通常使用三維動作分析系統，其中包含多部的紅外線攝影機用以捕捉黏貼在人體特定骨頭位置上的反光球移動情形（如圖三），並在得知反光球的位移、速度和加速度後，計算其所建構出的肢段角度和角速度等運動學參數。此外若再搭配測力板量測地面反作用力數值，則可以得知力量、推算力矩，並從一次又一次的動作中得知動作控制的穩定性以及不同運動情境或環境時的動作改變；最後，運用這些運動學、動力學參數的變化結果報告，改善運動表現、提供運動策略分析或是預防運動傷害，甚至進一步應用於訓練器材的開發和輔具的設計。



圖三：（左圖）紅外線攝影機搭配反光球進行三維動作分析；
（右圖）反光球建構出的人體肢段

除了紅外線攝影動作捕捉技術外，也有另一項動作捕捉技術：慣性感測式動作分析裝置 (IMU-based motion capture device)。該技術以多個慣性感測元件 (inertial measurement unit, IMU) 作為基礎，開發出來作為快速辨別動作型態、計算關節角度、肢段角速度等運動學參數的分析工具，其效果也與實驗室所使用的紅外線三維動作分析系統類似。此類裝置的原理為：感測元件中的三軸加速規、三軸陀螺儀與三軸的磁力計，能個別輸出加速度、角速度和磁力等資料，將多個感測元件放置或穿戴於四肢、軀幹上進行運動，透過這些元件間的數據演算與整合，就能完成資料的蒐集與運動學參數的計算 (如圖四)，並具有體積小、便於攜帶、操作方便、能給予使用者即時性的分析與回饋、良好的信效度等優勢，因此正逐漸發展和使用在醫療復健評估、運動技術分析、3D 動畫製作和虛擬實境中。



圖四：(左圖)慣性感測元件；(右圖)慣性感測動作分析裝置

三、VR 於運動之應用

虛擬實境利用電腦模擬產生三維空間的虛擬世界，提供使用者在視覺、聽覺、觸覺上一種沉浸且可感知的人工環境，允許直接觀察、操作、觸摸周圍環境及事物的內在變化，並能與之互動，讓使用者仿佛身歷其境⁵。但虛擬實境不僅只有提供影音、遊戲與娛樂上的使用，在運動場上也有許多實際應用的例子。如：2018年2月在韓國平昌所舉辦的冬季奧林匹克運動會，美國滑雪隊引入 STRIVR 的虛擬實境系統進行滑雪訓練⁶，此系統的 360 度影片是根據實際的比賽賽道進行拍攝，可以讓其隊伍盡情的體驗和熟悉他們即將進行比賽的場地，以往選手只能透過奧運會所舉辦的視察日，以數小時到一天的時間進行場

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality

⁶ <https://uploadvr.com/vr-2018-winter-games/>

地的視察和實際的賽道測試，現在透過虛擬實境的技術和模擬，運動員幾乎可以在賽前於無形之中就做好對賽道的準備，對於賽道的熟悉程度能遠勝於對手。除了在訓練外，此種較易受控制的環境也成為傷後復出的運動員作為再次回到運動場上的理想選擇。

2016 年全美橄欖球聯盟 (NFL) 就曾與 STRIVR 這家利用虛擬實境技術作為訓練服務開發的公司進行合作⁷，運動員和教練透過頭戴式顯示器能以 360 度全景、沉浸式的環境進入訓練時的場景，藉由反覆地從隊伍布陣、各成員間的肢體動作等，進行全方位地分析與判斷，幫助選手更好地理解這項運動。此外，作為最常見劇烈肢體碰撞、衝撞的競技運動項目之一，虛擬實境系統也提供像在實戰中的環境作為日常訓練的輔助，除了一些不需要身體接觸、可以避免受傷的訓練項目，也能作為受傷的球員訓練和防止進一步受傷的替代方案。

近年來美國、日本的職業棒球運動隊伍更利用在棒球場上蒐集的運動大數據結合虛擬實境技術，將這些數據重現成為真實可用的球速、球種和球路變化，再將可追蹤式的感測器如：HTC VIVE 移動定位器放置在球棒尾端，這些職棒球員就能指定特定的投手、挑選特定的球路，進行揮棒訓練⁸。荷蘭足球國家隊也採用 VR 訓練系統，透過調動球場上所有鏡頭，再結合球員的體質等個人數據，重建比賽中的某個時刻，教練可以預測球員在比賽中會做出什麼選擇，並告訴球員實際情況下他該怎麼做。

在研究上也有虛擬實境與幫助運動表現的例子。Wada et al. (2016) 以視覺延遲的方式並進行多次的虛擬滑雪運動後，發現於虛擬實境中重複的視覺——前庭覺的恐懼，能增進動態的姿勢控制和動作表現⁹。Stinson and Bowman (2014) 開發一套虛擬足球守門系統，研究使用虛擬實境於運動心理學訓練的可行性與實用性，使用者必須使用身體對虛擬自由球射門進行防守，其結果顯示運動型虛擬實境系統的環境能誘發更多的焦慮，能為運動員帶來真實比賽的高張力情境。¹⁰

使用虛擬實境技術輔助運動訓練或研究運動表現與策略時，通常會包含使用光學原理的動作分析系統，進行這些選手在特定運動時的動作捕捉。例如：

⁷ <https://techcrunch.com/2016/07/01/virtual-reality-training-ramps-up-for-the-2016-nfl-season/>

⁸ <https://www.vive.com/tw/forum/1460>

⁹ Wada Y, Nishiike S, Kitahara T, Yamanaka T, Imai T, Ito T, Sato G, Matsuda K, Kitamura Y, Takeda N. Effects of repeated snowboard exercise in virtual reality with time lags of visual scene behind body rotation on head stability and subjective slalom run performance in healthy young subjects. *Acta Otolaryngol.* 2016 Nov;136(11):1121-1124

¹⁰ Stinson, C., & Bowman, D. A. (2014). Feasibility of training athletes for high-pressure situations using virtual reality. *IEEE Trans Vis Comput Graph*, 20(4), 606-615. doi:10.1109/tvcg.2014.23

Bideau et al. (2004) 使用 12 臺紅外線攝影機，紀錄當虛擬球員丟球時手球守門員的移動情形，守門員必須移動到攔截點的位置以攔截虛擬的球，藉由捕捉這些身體不同肢段的動作，提供重要的訊息於完整的行為分析，當處於不斷變化的視覺資訊時選手如何判斷與反應¹¹。Brault, Bideau, Kulpa, and Craig (2012) 使用三維動作分析系統同時捕捉橄欖球員攻擊者和防守者的動作，並以生物力學方式追溯性深入分析攻擊者如何成功地擊敗防守者，並進一步將實際的情境以虛擬角色動畫呈現，測試有經驗橄欖球選手和新手對於偵測假動作行為的能力，他們必須決定虛擬球員最後跑動的方向，並做出最快的判斷¹²。

四、AR 於運動之應用

擴增實境是一種「將虛擬資訊擴增到現實空間中」的技術，相較於 VR 創造出一個可體驗的虛擬空間，AR 則不是要取代現實世界，而是在現實世界中添加一個虛擬物件。藉由攝影機的辨識技術與電腦的運算，當預設好的圖片或感應媒介出現在攝影機畫面中時，就能看見相對應的虛擬物件，可以透過手機、平板或是 AR 眼鏡來作為串聯現實世界和虛擬物件的載體。

大家較為熟知的 AR 就是寶可夢遊戲，開啟手機網路實際走在戶外、景點，就能從手機螢幕上看到虛擬的遊戲精靈。以 AR 技術運用在運動上，也有相似的效果，例如：一般使用者首次到運動中心想要進行心肺運動或重量訓練時，往往會需要花上一段時間來閱讀器材、設施的操作說明，或是先觀看一旁的使用者運動一段時間後，才能大致了解該如何使用，而現在透過 AR 的輔助，使用者拿起手機、平板掃描任何一個運動健身器材，就會出現專屬的健身教練，親自示範正確的動作並對器材的使用方法進行解說，隨時可以擁有不用花錢的健身教練。

現在 AR 的技術也延伸擴展到體育賽事上，傳統的體育賽事轉播，僅能重複播放慢動作鏡頭或是回顧重要的動作影片，但在添加 AR 元素之後，更能夠以運動科學和動畫的方式來充分的表達運動賽場上的現象。例如陳偉殷擅長的直球到底是以怎樣的方式前進的？速度又是多快呢？跟一般的投手所投出來的球又有何區別？林子偉打擊出去後衝刺到一壘花了多少時間？一顆靠近三壘邊

¹¹ Bideau B, Multon F, Kulpa R, Fradet L, Arnaldi B, Delamarche P. Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neurosci Lett*. 2004 Nov 30;372(1-2):119-22

¹² Brault S, Bideau B, Kulpa R, Craig CM.(2012). Detecting deception in movement: the case of the side-step in rugby. *PLoS One*. 7(6):e37494

線緩慢的滾地球，防守者和跑者分別需要多快的速度和守備難度是多少？現在這都是可以一一報導且表現在螢幕上，也能讓觀眾更加感同身受。

五、未來整合發展——MR (Motion Reality)

運動科學將動作分析、虛擬實境與動作感測裝置結合，創造出不同以往的使用者、選手體驗，而未來動作捕捉系統的開發與應用將可以補足目前虛擬實境在使用上的不足。以 HTC VIVE 虛擬實境系統為例，其原理為透過兩個 Lighthouse 發射紅外線光，計算頭戴式顯示器以及控制器在空間中的位置，藉以定位出視野及雙手位置所在，但使用者可能會因為無法在其環境中看到身體四肢而影響本體感覺，甚至在與虛擬物件互動時出現與現實動作迥異的「偷懶」、「偷吃步」情形，例如：桌球殺球時不再以軀幹發力，而是用手腕鞭甩取代之，雖然樂趣依舊，但運動能對身體產生的益處卻大打折扣……。但若是使用者能夠結合動作捕捉系統的功能，進而產生出一個虛擬空間中的真實軀體，以上的問題將不復存在，而運動的優點以及訓練效果，便能再度呈現。這種將「動作分析以虛擬實境的方式實現」，即為一個新的概念——動作實境，使用者或選手穿戴上動作感測分析裝置進行運動項目之動作，不僅能在虛擬實境環境中看到自身動作，更能以錄製動作的方式和第三人稱各種角度進行觀看，還能以更視覺化的方式明確指出包含在動作角度上的差異並進行修正（如圖五）。例如：在以往動作分析呈現上，和自行車騎乘者說明踩踏時膝關節彎曲角度在 25-35 度之間會有較好的騎乘舒適度，使用者會較難理解在角度上的感受和意義，透過虛擬實境視覺化的呈現方式，則能幫助選手看到該怎麼做，進行實際化的調整，幫助在動作上的即時分析與修正，教練也能透過遠端的方式結合視訊、語音進行選手技術的修正與指導，幫助更有效率的進行運動訓練與學習。



圖五：2017未來科技展——展出動作實境概念

目前類似於動作實境的概念已經可以在一些 VR 社群應用上發現蹤跡，例如：VR Chat 或是虛擬直播媒體平臺就可以讓玩家在虛擬世界中，使用動作、表情來互動，而這類技術多是將定位器安裝在玩家四肢末端，接著再以逆動力學的方式預測四肢可能的活動情況，雖然這樣也是成功將身體帶入虛擬世界的一種方式，但較可惜的是此技術目前運用在動作分析的可行性較低，因為「逆動力學的預測」本身可能就會是一種誤差，不過隨著科技持續整合，相信動作實境這個想像終將會實現。