

「棒球投手的最佳化訓練祕密武器——指壓棒球」於 2019 未來科技展

施皇嘉*

一、前言

以科學方法來提升球員或球隊的運動技能在近年來獲得極大的關注，除了廣大球迷帶來龐大的商業利益之外，競賽的結果可說是國家強盛的另一指標。運動種類的受歡迎程度也因地域及風俗民情不同而大相逕庭，整體而言，足球運動為全球最多人收看、擁有最廣大球迷的運動，特別是歐洲國家。然而，位處亞洲的臺灣、日本和韓國，棒球都是國家的第一運動，當然也不能忘記世界第二大運動聯賽——美國職棒大聯盟（MLB）。因此，許多棒球相關的科學研究也應運而生，為了讓臺灣的國球在世界排名上更加提升，我們開發了各種智慧棒球用具及分析機制，並持續修正精進，目標在開發最適合真實球員訓練使用的智慧訓練器材，擷取棒球「投」與「打」的關鍵特徵，結合機器學習及大數據分析來找出一個能夠量化的最佳化訓練方案，並能應用於球員狀態分析、傷害防治及選才上，而客製化執行模式也是勢在必行的，所以我們也全面性的考量所有巨觀及微觀特徵，以實現最佳訓練效能。

二、緣起

自 2018 年 10 月我們參與了科技部人文司精準運動科學研究專案計畫，為八個執行團隊之一，本團隊結合元智大學、國立成功大學、國立清華大學、國立臺灣科技大學等共九位教授組成的跨領域團隊，名為「臺灣棒球農場」¹，計畫目標在針對棒球投打之訓練最佳化及球員狀態快篩技術研發之議題，以大數據 AI 技術，探究隱藏其中的深層資訊，評估不同面向間之相互影響特性，並結合

* 元智大學電機工程學系教授兼電機通訊學院英語專班主任

¹ 團隊網站：<https://baseball-team.jimdosite.com/>

運動資訊模擬，搭配虛擬實境設備來強化棒球選手在投球與打擊之判斷能力。跨領域合作的科技輔助訓練，以科技方法解決人類感知能力無法檢測的細節，把傳統經驗累積的方式，將知識更明確地量化出來，有助好球再現。

三、棒球投手之訓練器材現況

目前市面上十分容易找到許多針對投手的訓練器材，大部分屬於傳統單一功能型的訓練用具，主要目的在提升球速、轉速及投球姿態校正等。如圖一所示，此類訓練器材的輔助提升或修正，對於投手的指力、手臂的爆發力、或是揮臂過程中，手腕、前臂、上臂的軌跡及姿態等，仍需要棒球教練或體能教練在旁輔佐及解說，才能完全發揮其效用。



圖一：一般球速、轉速及投球姿態訓練器材（圖片來源：詳見附錄說明）

由於穿戴式裝置 (wearable device) 產業的蓬勃發展及智慧型感測元件之普及，使得科學介入運動的研究愈來愈火紅，因此，近年來市面上也出現許多智慧型的投手訓練用具，有別於傳統的單一功能且容易上手，另一方面也能即時獲得運動資訊或得到相關訓練之建議。在此，我們將介紹感測袖套及智慧棒球等智慧訓練器材。

(一) 智慧型手臂運動感測袖套：Motus Throw²

由於目前投手的能力不斷提升，投球的球速愈來愈快，因此，手肘相關的運動傷害屢見不鮮，例如投手最常遭遇的手肘尺骨附屬韌帶重建手術 (Tommy John surgery)，因為投球姿勢或揮臂施力不正確造成尺骨附屬韌帶 (Ulnar Collateral Ligament, UCL) 斷裂及受損。對此，Motus Throw 產品 (如圖二) 可用來長期監測及記錄投手的手臂運動，瞭解投手身體所承受的壓力大小，例如運動量 (Workload) 及肌肉疲勞 (Muscle fatigue) 情況，並適時地提出警訊以防止運動傷害發生，特別是可用來量測主要造成尺骨附屬韌帶傷害的手肘外翻扭矩 (Elbow valgus torque)。以球隊的角度而言，當然期許投手上場後能夠盡可能把投球局數拉長，但又不能夠超過投手的體力負荷，此套設備特別適用在連續多天集訓時的疲勞監控上。



圖二：運動感測袖套 Motus Throw (圖片來源：詳見附錄說明)

這套智慧型手臂運動感測彈性袖套 (Motus Throw)，自 2015 年開始被 MLB 採用，其精準度也被多個運動研究單位認可，例如美國運動醫學研究所 (ASMI)、Driveline Baseball，以及 MLB 運動科學委員會等，其準確度可達攝影機拍攝模式的 95%，目前美國職棒大聯盟 MLB 也使用了基於高速攝影機的運動補捉技術結合磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 資料來測試每位新投手，以及配合相關物理檢測來辨識球員受傷的風險。

在技術層面而言，Motus Throw 是由三軸的陀螺儀及三軸的加速度儀組成，取樣頻率在每秒鐘 1,000 筆，若是以慣性測量單元 (IMU) 的應用角度上是算高速的取樣，如此才夠精準地記錄投手的連續動作資訊。除了記錄運動向量之外，後端的資料迴歸也相當重要，要盡可能把訊號中的雜訊去除，保留最真實

² W. Carroll and B. Hansen, "The new science of bioball: Sensors and software protect baseball pitchers from injury," in *IEEE Spectrum*, vol. 56, no. 10, pp. 34-53, Oct. 2019. (doi: 10.1109/MSPEC.2019.8847588)

的運動訊號，此感測袖套會不斷地將運動向量資料傳送至終端，從出手前的 4 秒鐘，一直記錄到出手後的 1 秒鐘，而感測器本身僅 6.9 公克，厚度也只有 0.9 公分，不至於影響到投手的投球姿態。此系統為接觸式穿戴式系統，主要是針對棒球投手的運動傷害防治及疲勞監控上之使用，但對於投球技能的提升較無直接幫助，此外，對於實際的肌肉收縮及肌肉疲勞狀態等生理機能也沒有直接檢測。

(二)智慧棒球功能解析及比較

目前市面上的智慧棒球及其功能的比較如表一所示，除了 RevFire 產品目前已經停止生產，其餘在市面上都不難取得，其共通點皆是採用藍牙技術將內建的感測及計算核心所偵測到的運動向量傳送至終端，資訊接收端大都以自行開發之手機或平板電腦之 App 為主，除了 SSK 的 iBall 無法提供無線充電外，其餘皆支援無線充電功能，價格上以 Diamond Kinetics 的 PitchTracker 最為實惠，只需美金 \$99.99 即可入手；但若需要較好的資訊紀錄及雲端服務，使用者必須另外購買線上服務功能，其餘的智慧棒球的價位則在 \$6,000 元至 \$9,000 元臺幣左右。

表一：市售智慧棒球功能比較

					
Company	Jingle	Mizuno	SSK	Diamond Kinetics	RevFire (discontinued)
Smart Ball	Strike	MAQ baseball	iBall	Pitchtracker	RevFire
Velocity	✓	✓	✓	✓	✓
Release velocity				✓	
Spin	✓	✓	✓	✓	✓
Release spin				✓	
3D tracking	✓				
Rotation axis	✓ (visual only)	✓	✓	✓	✓
Count				✓	✓
Pitch location (Bullpen feature)				✓	
Pitch type detection			✓		
Connection	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
Impact prevention	120 mph (193 kmh)	130kmh	N/A	N/A	N/A

如表一所示，他們的功能性大多針對棒球投出後的速度、轉速、轉軸等功能。臺灣新創公司 Jingle 的智慧棒球 STRIKE 還有 3D 軌跡描繪功能，PitchTracker 的功能性較全面，包含了出手時的初速及初轉速。目前所有的智慧棒球皆是用來輔助投手練習時能夠即時獲得投球的運動資訊，不需要另外架設如測速槍、或較高端的雷達式投球檢測設備，如 TrackMan、Rapsodo 及 FlightScope 等，因此十分適合攜帶，適合業餘球員或一般大眾使用。然而，以

上的智慧棒球皆無針對手指施力的感測設計，大都還是以數據蒐集為主，無法知道其成因也無法重現真正驅動棒球飛行的力量，但手指卻又是投手出手時最後接觸到棒球的位置，而探究由跨步、大腿、臀部、腰部、上臂、前臂、手腕到手指的整個投球動作近似甩鞭的連貫施力鏈又十分困難，因為除了單獨量測之外，尚須考慮其相互之間的協調性問題，因此，我們首先以手指力量感測為出發點。

四、具有指力感測之智慧棒球

在棒球運動中，投手的狀態好壞在棒球比賽中往往扮演重要的關鍵因素，好的先發投手可以為球隊邁向勝利，好的中繼及後援投手則為球隊守下勝利。在球場上的數字代號，投手為首要的 1 號位，因此投手之重要性更是不可言喻。根據過去研究投手姿勢的資料顯示，投球動作是一個由下往上再往前傳遞力量的連續性動作，主要從腳的位置、腰部的旋轉、肩膀的方向、手臂的轉幅一直到手腕的力量。而在最後控制球好壞方面，投手的手指握法與手指施力將明顯影響控球，且根據文獻探討投球動作時的關鍵手指，施加於球體的壓力是影響球速及轉速的重要因素。根據實際的國際棒球賽事中，大多顯示手指之指力與棒球表面摩擦力，對於球的轉速有直接相關，許多球員會利用汗水、唾液甚至於使用器具幫助投球，例如銼刀、皮帶扣、結婚戒指來增加握球摩擦力。最知名的一次事件，是在 2014 年 4 月，洋基著名救援投手皮內達 (Michael Pineda) 在與紅襪比賽中，使用松焦油作弊被抓包。撇除違規的方式，我們能做的就是訓練端，以最精準的方法量測，量化過去未能精準量化的資訊，加以最佳化分析，來使球員的能力提升。

除了投手握球的方式、準備動作、跨步及揮臂加速段至出手點之外，棒球的飛行軌跡才是真正評判球威的關鍵因子。在 1852 年發現的馬格納斯效應 (Magnus effect)，俗稱馬格納斯力，是指棒球在流動空氣中旋轉時造成側偏斜的現象，作用在飛行中的棒球上的力還有空氣阻力 (Drag force) 及重力 (Gravity)，此三力的交互作用乃為棒球投手能夠投出變化球的主要原因³。然而，它的成因及變化的程度，與外在環境之溫度、濕度、風向也有所關聯，但都不比投手握球及其特定部位之肌力表現之關係大，但為達到完全精準的目標，未來我們也將其變異因素納入研究考量。

³ 李中傑 (2011)。〈由流體力學之觀點看作用在飛行棒球上的力〉，《物理教育學刊》第十二卷第一期，頁 57-72。

如同上一節所分析的市售智慧棒球產品，其功能大多為偵測球速、轉速、轉軸及軌跡等數據，尚無能夠感測指壓之智慧棒球商品，相關研究論文也算稀少，主要原因在於現今立體壓力感測器之技術尚未成熟，在棒球球體上裝設壓力感測設備相對困難。由於棒球是球型立體的物件，且無法製成 3D 的感測層，因此我們朝向利用感測點的方式來獲取手指壓力數據。至於感測器本身由其感測原理分析，大致上可分為兩種模式，分別是電阻式及電容式，說明如下：

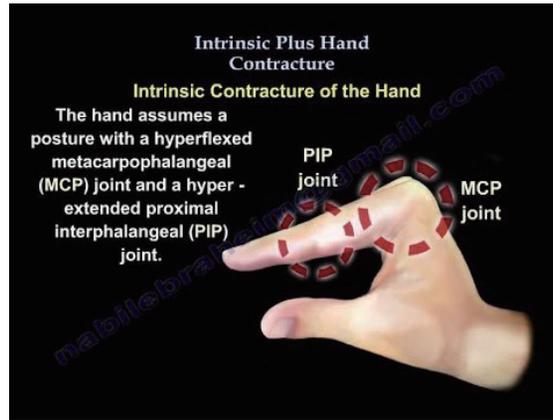
1. 電阻式：又稱壓阻式，利用壓阻效應來實現壓力感測，壓阻效應是用來描述材料在受到外部應力下所產生的電阻值變化。不同於壓電效應，壓阻效應只產生阻抗變化，並不會產生電荷。當壓力變化時，電阻發生變化，從而引發載入在電阻中間的電壓發生變化，這種變化反映出壓力值，此時我們需要利用分壓的理論，來取得所需要的壓力變化區間。
2. 電容式：電容式壓力感測器是利用電容敏感元件，將被測壓力轉換成與之成一定關係的電量輸出的壓力感測器。一般採用圓形金屬薄膜或鍍金屬薄膜作為電容器的一個電極，當薄膜感受壓力而變形時，薄膜與固定電極之間形成的電容量發生變化，通過量測電路獲得電訊號之變化，亦即輸出值與電壓的關係，透過公式推算，就能夠獲得外部所施加的壓力數值。

在考慮壓力感測點之佈點位置時，我們首先必須瞭解各種球路之關鍵指壓點，以利於設計立體壓力感測薄膜。在手指力道的使用上，我們探討各種變化球投擲時，中指與食指的用力情形，發現快速直球時，手腕伸張（extension）的角度會更大，而食與中指兩協調合作；曲球時，外展（abduction）及屈曲中指部位的掌指（metacarpophalangeal）；滑球時，則是外展（abduction）及屈曲食指部位的掌指（metacarpophalangeal）⁴。而掌指位置如圖三所示。

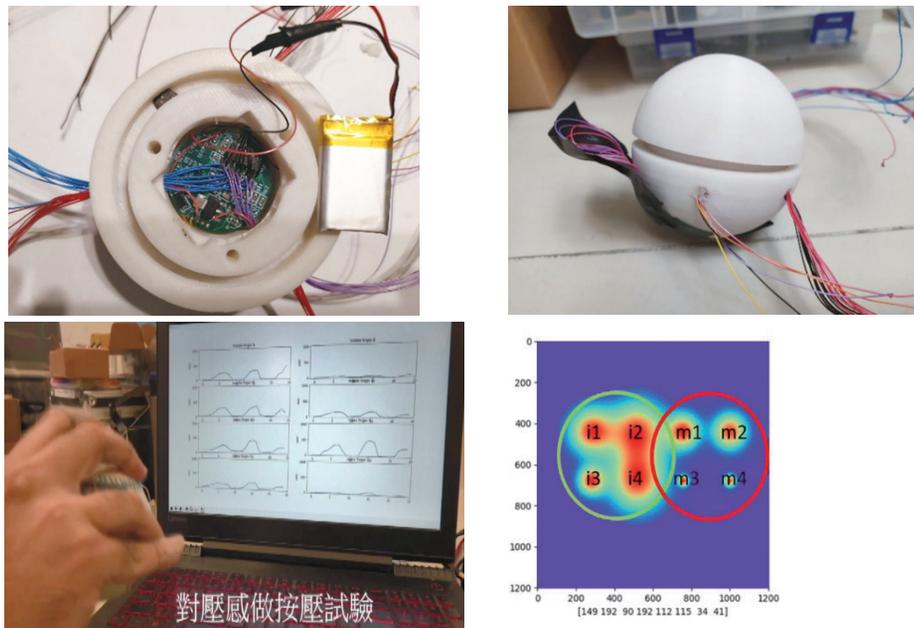
我們以立體佈點式之壓力感測薄膜方式設計球體機構，其優於市面上較常見之平面單點式的偵測模式，由於棒球為一圓形立體物件，若使用一般平面可撓式壓力感測薄膜來擷取，其缺點為誤差極大，僅適合偵測純量資訊，例如食指感測之壓力為 10 度中的 7 度，中指感測之壓力為 10 度中的 9 度。其資訊量十分短缺，因此，本計畫以影像特徵方式來擷取指力特徵，並以連續之動態資訊擷取的模式來進行資訊儲存。然而，以立體的模式來建置壓力感測元件是十分具挑戰性的，並且是領先國內外之創新技術，它必須仰賴參數調整的方式，避免因平面改成立體使感測標準失準，不管在電阻式或電容式的技術之下，皆有其難度，感測電路必須做大量的調整及重新設計，才有機會實現，在耐用性的考量之下，我們採用了電阻式壓力感測元件。

⁴ Wang, L. H., Kuo, L. C., Shih, S. W., Lo, K. C., & Su, F. C. (2013). Comparison of dominant hand range of motion among throwing types in baseball pitchers. *Hum Mov Sci*, 32(4), 719-729, 2013.01.003. (doi:10.1016/j.humov)

我們所研發的主要技術為智慧指壓感測的裝置，除了可擷取投球時的手指施力、釋放的動態時序特徵與慣性運動特徵之外，更可藉由無線傳輸模組與終端進行溝通，傳送投球過程的指壓資訊及運動向量特徵，並接收出手點震動提示指令，配合後端分析及客製化訓練配方做精準調整，對於投手狀態評估及提升投球能力有極大的助益。



圖三：壓力感測元件用於擷取投球關鍵指力特徵——掌指與近端指關節圖（圖片來源：詳見附錄說明）



圖四：指壓棒球設計：(左上)內部構造；(右上)機構外觀；(左下)指壓測試之時序波形圖；(右下)食指及中指壓力 heat map

五、2019 未來科技展

我們所研發之智慧指壓感測棒球，為計畫團隊子計畫一之研究成果，獲得 2019 年未來科技展 (FUTEX 2019) ——「未來科技突破獎」，為 88 個得獎團隊之一，此次能夠雀屏中選，首先要感謝科技部人文司的肯定及補助，在多年期的精準運動科學專案研究計畫的支持下，我們得以有充裕經費支援，實現前瞻軟硬體技術的研發，將所學的工程技術應用至運動領域的智慧系統開發，以提升臺灣棒球運動員的運動能力，開發之技術將有規劃地成為實用商品，讓全世界看到臺灣。在此也特別感謝時任人文司鄭毓瑜司長的支持、營運團隊主持人臺師大休旅所陳美燕教授的輔導、人文司吳淑真副研究員的事務協助，得以讓整個計畫能夠順利執行。圖五及圖六分別為 2019 年未來科技展，自 12 月 5 日至 8 日在臺北市貿一館展出之實況。



圖五：2019 未來科技展時況：(左上) 展出攤位；(上中) 團隊合影；(右上) 中華職棒統一獅球星唐肇廷蒞臨交流；(左下) 中華職棒中信兄弟球星陳柏豪蒞臨交流；(右下) 時任科技部人文司鄭毓瑜司長(前右二)蒞臨指導



圖六：本研究團隊獲頒「未來科技突破獎」與科技部陳良基部長合影

此次所展出之技術，以水平整合角度來看，能夠連結各種運動訓練的產業應用鏈；在垂直整合方面，由硬體研發的立體壓力感測及物聯網產業，到軟體資訊分析的運動資訊分析產業，應用價值可延伸或擴大到各種運動產業上。

六、結語及建言

藉由本團隊在人工智慧大數據分析、影像與視訊處理、虛擬／擴增實境、深度學習、生物力學及多體運動學等跨領域研究專才的通力合作之下，期能成為臺灣棒球農場基地，精進臺灣棒球在訓練、傷害防治及選手能力之提升，針對不同層級之使用者，能夠即時調適其精準度及困難度。在少棒層級，將以啟蒙為主，「成就感源自於遊戲化」；在青棒層級，將以基礎建立為主，「基礎動作精準化」；若將智慧棒球用具之感測精準度提升，使用對象的等級就可以向上延伸，在成棒層級以自我精進為主，「經驗累積數據化」；在職業階段放眼國際，「穩定精進巔峰化」。並將獲得更精準運動資訊感測及分析方法，應用在棒球選才、狀態分析及培訓上，除能促進臺灣棒球發展之外，更能整體提升運動科學的產業發展。

最後，我想藉此給臺灣未來的運動員一些建言。運動是全面性的，有人從小的時候就立定志向，例如棒球就從少棒、青少棒、青棒一路上來，屏除學業問題，通常忽略了一個重要環節，那就是發展多元運動型態的重要性（它影響了球員進入成棒跟職業領域無法順遂地延續運動生涯，當然也有一些例子是在國

際上發光發熱的，但都是少數之中的少數，也是十分幸運的一群)，造成在未來的職業生涯發展上十分容易受傷，受傷後也不易全然復原。國際上有多數知名球員，除了在自己的職業運動領域上成就非凡之外，下了球場，在其他的運動領域也能夠得心應手，由於他們從小的體育教育是全面發展的，例如「空中飛人」Michael Jordan，除了籃球，他能打棒球也能打高爾夫球；「三分球神射手」Stephen Curry 能游泳、騎自行車及打高爾夫；「詹皇」LeBron James 平時愛踢足球也打過美式足球，因為有全面性地多元運動，即使他們受傷了，也能很快的復原回到球場。舉例來說，籃球運動員的腳踝是十分重要的，但光是訓練腿部的肌群是不夠的，必須加強其他的核心肌群，例如臀部和髖部的力量，以減輕腿部的壓力，若是從小都專注在同一種運動，在相同的訓練模式下，只訓練到少部分特定的肌群，如此一來是無法發展長久的。因此，我們應該從小扎根，培養多元運動的習慣，別一頭熱地只看中自己喜愛的一種運動，應從小開始培養多元的體育教育發展，即便進入職業階段，球季之外的多元化練習才是真正延續在球場的生存重點之一。作為一位力薄才疏的教職研究人員，埋頭研發投手祕密武器，冀盼能夠為臺灣的棒球選手培訓上，盡一份微薄之力。不僅是棒球，希望臺灣所有運動類別的運動員可以更加精進自己，在國際舞臺繼續發光發熱，成為永續不斷的臺灣之光。

附錄

1. 圖一之各圖片來源一覽表：

- (a) <https://www.amazon.co.jp/dp/B00CMDGU8Y/>
- (b) https://www.amazon.co.jp/dp/B00510K0HW/ref=sr_1_43
- (c) https://www.amazon.co.jp/dp/B00CFG0JU8/ref=pd_rhf_se_p_img_7
- (d) https://www.amazon.co.jp/dp/B07GBWWDG1/ref=pd_bxgy_img_2
- (e) <https://plus.drivelinebaseball.com/product/driveline-leather-weighted-baseballs/>
- (f) https://www.amazon.com/TOWEL-TRAINER-Throwing-Pitching-Baseball/dp/B0799RZRNY/ref=pd_ybh_a_4
- (g) <https://www.amazon.com.au/Throw-Right-Baseball-Model-Training/dp/B00DH5LARC>

2. 圖二來源：W. Carroll and B. Hansen, “The new science of bioball: Sensors and software protect baseball pitchers from injury,” in *IEEE Spectrum*, vol. 56, no. 10, pp. 34-53, Oct. 2019. (doi: 10.1109/MSPEC.2019.8847588)

3. 圖三來源：<https://nabilebraheim.wordpress.com/2017/11/15/intrinsic-plus-hand-contracture/>