國立臺灣師範大學運動與休閒學院體育學系

博士論文

Department of Physical Education
College of Sports and Recreation
National Taiwan Normal University

Doctoral Dissertation

不同層級棒球投手投擲快速直球手部肌肉活化之分析

The analysis of hand muscle activation of different level baseball pitchers in fastball throwing

陳羿揚

CHEN, Yi-Yang

指導教授：蔡虔祿 博士

Advisor: Tsai, Chien-Lu, Ph.D.

共同指導教授：邱文信 博士

Co-adviser: Chiu, Wen-Hsin, Ph.D.

中華民國 110 年 1 月

January 2021

謝 辭

在學習研究的過程中特別感謝啟蒙教授涂瑞洪博士帶領羿揚接觸運動生物力學研究，開啟了羿揚對運動生物力學研究的興趣與熱誠，並從中學習您時而言嚴肅時而幽默的領導模式、做人處事與面對研究精益求精的態度，深深的感染和激勵著羿揚，讓羿揚有著學習的榜樣。在此謹向您致以誠摯的謝意和崇高的敬意。

此外，感謝共同指導教授邱文信博士，在羿揚博士階段給予機會學習協助清華大學運動生物力學實驗室的學弟妹們，同時感謝您給予羿揚獨立完成跨領域合作研究計畫的機會，感謝您不論在學術亦或生活上，時常教導羿揚以正向、積極與樂觀的心態面對，在您的教導下除了提升自身的專業知識外，學習更多的是建立良好的品德、態度與熱心服務的精神。在此謹向您致以誠摯的謝意和崇高的敬意。

感謝指導教授蔡虔祿博士，謝謝您在羿揚學習研究的過程中給予許多空間，並支持羿揚做任何決定，讓羿揚能遵循著自己的規劃向前邁進。感謝您無私的協助羿揚一步步完成期刊發表、計畫實驗與論文撰寫，也感謝您願意騰出大量時間與羿揚討論論文內容、生活點滴與職涯規劃。時光飛逝，轉眼間博士生涯到一段落了，回想剛入學時羿揚對於臺北的陌生與系上事務的懵懂而不知所措時，您總是指引著羿揚，讓羿揚能更快適應新的環境，在此謹向您致以誠摯的謝意和崇高的敬意。

感謝論文口試委員相子元教授、劉強教授與涂瑞洪教授，給予羿揚在撰寫論文的過程中提供寶貴建議，並強調研究過程的嚴謹性與論文撰寫的邏輯性，讓羿揚能更加掌握重點。在此謹向各位口試委員致以誠摯的謝意。另外，感謝一路以來陪伴羿揚的學弟與朋友們，原諒羿揚總是花大量的時間在研究上，忽略了與你們相聚，可貴的是你們在羿揚生活遇到困難或實驗需要幫忙時，皆願意協助羿揚，謝謝上天讓羿揚遇到你們。

感謝父親、母親、兄長與嫂嫂的支持與鼓勵，謝謝您們總是包容羿揚的固執與任性，並體諒因為忙碌而鮮少陪伴您們的羿揚，讓羿揚能無後顧之憂的專注在課業，並順利完成博士學位。期許自己在未來繼續精進運動生物力學的專業知識，保持初衷並學以致用。

陳羿揚 2020/12

不同層級棒球投手投擲快速直球手部肌肉活化之分析

2021 年 1 月

研 究 生：陳羿揚
指導教授：蔡虔祿
共同指導教授：邱文信

摘要

不同層級棒球選手投擲動作技術優劣可以球體與人體兩層面加以評估，其中以球速與轉速為判定的重要指標，但僅以最後結果表現推估可能不夠完整與客觀，更重要的是釐清人體手部控制的協調性在過程中如何作用。本研究隨機招募 12 名大專公開組男子棒球選手與 12 名一般大專生，釐清投擲快速直球時，球速、轉速、上肢尺側伸腕肌、橈側屈腕肌、手背第一、第二、第三與第四背側骨間肌肌肉活化差異，並瞭解兩組各肌群肌肉活化與球速、轉速的相關性。結果發現，優秀組選手的球速與轉速皆顯著高於一般組，但兩組組間上肢與手背肌電訊號皆無顯著差異；兩組的第一背側骨間肌電訊號皆顯著大於第三背側骨間肌。轉速方面，優秀組選手的第二與第四背側骨間肌顯著大於第三背側骨間肌，一般組皆無顯著差異，且兩組的肌肉活化皆與球速無顯著相關；但優秀組伸腕肌肌電訊號與轉速有顯著正相關。本研究結論為，優秀組球速雖然快於一般組選手但兩組選手的手部四條背側骨間與伸腕肌、屈腕肌的肌電訊號沒有顯著差異，影響棒球選手的投球的球速可能與其他肌群有關。背側骨間肌的活化主要作用可能為協助控球，因此與球速的提升顯著相關。此外，優秀組投擲轉速之所以高於一般組，主因可能為優秀組透過伸腕肌的活化在離手瞬間進行制動，並將動量傳至手指給予球體動力；反觀一般組則未產生此現象。

關鍵詞：離手球速、轉速、手指、過肩投擲、肌電訊號

The analysis of hand muscle activation of different level baseball pitchers in fastball throwing

January, 2021

Author: Yi-Yang Chen
Advisor: Chien-Lu Tsai
Co-adviser: Wen-Hsin Chiu

Abstract

The throwing techniques of different levels of baseball players can be evaluated in two elements: "ball" and "human body". The releasing and rotation velocity of the ball are the two important index of throwing technique. The coordination of human limbs control might be more important that it will influent the final performance. The purpose of the study was to explore the coordination of hand muscle activation while throwing the fast balls. The study randomly recruited 12 male college baseball players in Group A and 12 general college students. Using smart baseball, wireless surface EMG, and high-speed camera to clarify the different muscle activation of upper limb extensor carpi ulnaris, flexor carpi radialis, and first to fourth dorsal interossei muscles while throwing ball balls. And understanding the correlation between the muscle activation and the ball speed and rotation speed of two groups. The results showed that the ball speed and rotation speed of the group A were higher than those of the general group, but there was no significant difference in muscle activation between two groups. We found there were no significant difference between muscle activation and ball speed in two groups. There was a significant positive correlation between extensor carpi ulnaris EMG signal and ball rotation velocity in group A. In conclusion, the main reason why the ball speed of the excellent group faster than those of the general group was not clear by forearm EMG signals. The dorsal muscle groups of hands might play the role to stable while the ball releasing. We found the EMG signal of the extensor carpi ulnaris might be the reason to brake the wrist movement to increase the momentum of the fingers in the releasing phase of the group A.

Keywords: releasing speed, rotation speed, finger, overhead throwing, EMG

目　次

謝辭……i

中文摘要……ii

英文摘要……iii

目次……iv

表次……vii

圖次……viii

第壹章　緒論……1

第一節　前言……1

第二節　問題背景……4

第三節　研究目的……8

第四節　研究假設……8

第五節　研究範圍與限制……8

第六節　操作性名詞定義……9

第貳章　文獻探討……13

第一節　棒球投擲上肢運動學、肌肉活化與離手球速的相關性……13

第二節　影響球體轉速的重要因素……16

第三節　手指壓力（力量）對棒球轉速的影響……19

第四節　現今棒球投擲訓練的現況、需求與限制……22

第五節　科技運用於運動訓練的具體方式……25

第六節　文獻總結……28

第參章　研究方法……54

一、實驗受試者……54

二、儀器設備……55

三、實驗流程……57

四、資料處理……60

五、統計方式……61

第肆章　結果……63

一、優秀組與一般組投擲快速直球球速與轉速差異……63

二、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化差異……63

三、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化與球速、轉速之相關性……68

第伍章　討論……70

一、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化差異……70

二、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化與球速、轉速之相關性……72

第陸章　結論……75

參考文獻……76

附錄一 研究參與者知情同意書……86

表　次

表 2-1 投擲動作之各關節運動學與肌肉活化相關文獻整理……..31

表 2-2 球體轉速相關文獻整理……..38

表 2-3 手指壓力與握力於運動過程中之功能整理……..42

表 2-4 現今棒球投擲訓練之相關文獻整理……..46

表 2-5 科技運動於棒球訓練之相關文獻整理……...……...51

表 4-1 優秀組與一般組離手球速與轉速差異摘要表…….....63

表 4-2 優秀組與一般組肌肉活化差異摘要表……...…...65

表 4-3 優秀組與一般組各肌肉活化與球速、轉速摘要表……..69

圖　次

圖 1-1 智慧棒球軸向……9

圖 1-2 手背肌群……10

圖 1-3 棒球投擲動作分期……12

圖 3-1 研究架構……54

圖 3-2 無線表面肌電儀與內建傳感器……55

圖 3-3 第一至第四背側骨間肌肌電儀黏貼方式……56

圖 3-4 智慧棒球……56

圖 3-5 高速攝影機……57

圖 3-6 場地布置……58

圖 3-7 實驗流程……59

圖 3-8 肌肉活化分析裁剪方式……61

圖 4-1 優秀組與一般組球速組間肌肉活化差異……66

圖 4-2 優秀組與一般組球速組內肌肉活化差異……66

圖 4-3 優秀組與一般組轉速組間肌肉活化差異……67

圖 4-4 優秀組與一般組轉速組內肌肉活化差異……67

第壹章 緒論

第一節 前言

隨著運動科技的普及，已有許多教練於常規練習時長期使用慣性感測器 (inertial measurement unit, IMU)、電腦追蹤系統、物聯網傳感器 (IoT sensors) 與電腦深度學習 (deep learning) 監控選手投擲時之運動強度、評估運動傷害機率與調整動作姿態，目的皆為協助提升棒球投手投擲動作技術與增進球速、轉速 (Bai & Hsies, 2019；Hiroyuki et al., 2019；Lizzio et al., 2020；Oliver et al., 2019；Yamagishi, 2019)。棒球投擲動作技術的優劣可以「球體」與「人體」兩層面加以評估，其中球體的球速與轉速為判定選手優劣的重要指標 (Park, Choi, & Jeong, 2019；Payne & Isaacs, 2012；Wang et al., 2016)。優質的投手可產生較快的離手球速，亦可透過高頻率的轉速來改變球路，目的皆為了使對手無法順利擊球 (Dodds, Knotts, Penrod, Scoggins, & Conners, 2020)。事實上，若以球體快慢判定選手的優劣，僅是透過「最後結果表現」加以推估，並推測在投擲動作過程中可能有極佳的動作控制與肌肉的協調，此方式並無法實際得知過程中選手動作技巧的改變。因此，除瞭解球體球速與轉速等最後結果表現外，更重要的為釐清人體動作控制協調性在「過程中」如何使球體改變。

從人體肢段動作控制的觀點而言，正確的棒球投擲動作順序依序由後腳（軸心腳）給予地面作用力，提共動力來源，並帶動前腳（跨步腳）收縮，持球之慣用手向後延伸，直至肩、肘關節與腕關節呈現最大外旋以增加動作位移，同時對側手做出適當的平衡動作，此時跨步腳大步跨出，軀幹由臀部至脊椎從側向轉動至正向，上肢依序從慣用肩關節旋轉，肘關節向前伸展橫越身體軀幹向前推進（前傾），腕關節順勢下扣等，做出連續且順暢的完整上肢動作。整體動作可分為預備期 (wind-up phase)、跨步期 (stride phase)、後擺期 (arm cocking phase)、加速期 (arm acceleration phase)、減速期 (arm deceleration phase) 與動作跟隨期 (follow phase)，共六個分期 (Grantham, Iyengar, Byram, & Ahmad, 2015)（陳羿揚、邱文信、劉亮吟，2014），而影響投擲離手球速主要為後擺期至減速期。

因此，以後擺期至減速期作為動作參考依據可作為判定選手優劣的分期 (Fleisig, Bolt, Fortenbaugh, Wilk, & Andrews, 2011)。在後擺期時主要由斜方肌與闊背肌主導 (Calabrese, 2013；Fasbender, Korff, Baltzopoulos, & Linthorne, 2020)，加速期時除闊背肌外，肱三頭肌活化帶動手臂透過位能與動能的轉換給予手臂加速的動力，產生手臂速度與增加投擲效益（邱文信，2010；Bagchi & Raizada, 2015），並在減速期球離手瞬間由腕關節屈曲將球體投出，此時屈腕肌有著適當肌肉活化產生屈腕動作，並控制球體投擲方向 (Calabrese, 2013; Wang, et al., 2016)。由此可知，整體投擲動作需透過各關節連動與肌群參與動作以提升離手球速，然而目前針對人體肢段末端之相關研究仍相當有限。

在整體投擲過程中，各肢段關節角度、角速度、角加速度與離手球速皆有顯著的正相關（邱文信、陳羿揚、蔡少偉，2019；Kobayashi, Ae, Miyazaki, Fujii, & Iiboshi, 2014；Luera, Dowling, Muddle, & Jenkins, 2020），顯示離手球速與人體動作控制和肌肉協調有一定的關聯性。此外，轉速的變化則以手指屈曲角度、角速度與手指壓力等「人體細微動作控制」有關 (Higuchi & Kiura, 2012；Matsuo et al, 2018)，因此欲提升轉速除上述動作外，更重要的則是透過「手指力量」與「手指壓力」將球投出，整體過程中以「大關節」帶動上肢肢段，最終則藉由「末端小關節」的細微控制將球釋放，因此手指所產生的壓力在球體離手瞬間亦扮演著重要的角色 (Lehman et al., 2013；Wang et al., 2016)，並與轉速有顯著正相關 (Kinoshita et al., 2017；Matsuo et al., 2018)。綜上所述，欲增進離手球速需透過身體各肢段關節與肌肉的協調進行，而增進球體轉速則需透過末端小關節施予球體壓力，進而提高球體轉動速率。有此可知，上肢肌力訓練為棒球選手不可或缺的訓練項目之一 (Escamilla et al., 2012；Vila, & Ferragut, 2019)。

棒球投手長年受肩關節或肘關節傷勢的困擾 (Grantham et al., 2015)，因此教練除著重投擲技術的訓練外，額外重視上肢肢段與核心肌群的肌力訓練，主要目皆為提升運動表現與預防運動傷害，目前最常使用的訓練方式則為藥球 (medicine ball) 與抗力球 (Resistance ball)，其次則為傳統的重量練器材，而在訓練計畫的擬訂通常皆以一般常規訓練後，再添加藥球、抗力球或傳統重量訓練，經數週訓練後除上肢肢段與核心肌群肌力有顯著增加外，亦提升擺臂速度與離手球速 (Astorino, Baker, Brock, Dalleck, & Goulet,

2011；Hermassi et al., 2015；Reinold et al., 2018；Van den & Marques, 2013；Yang et al., 2013)。在肢段小關節的訓練部分，手指握力、身高、體重、身體質量指數、脂肪量的優劣與棒球、籃球投擲表現、攀岩速度高爾夫球揮桿表現皆有正相關 (Hung, Chen, Lin, & Chung, 2017；John, Trent, Nigel, Andrew, & Daniel, 2017；Lewis, Ward, Bishop, Maloney, & Turner, 2016；Tajika et al., 2015；Martinez, et al., 2015；Young, 2003)，且影響著揮拍的穩定性（張鈺雪、蔡虔祿、黃貴樹、雷小娟，2015）。而訓練方式多半採用握力器進行，並維持在一定的週數以上，發現可顯著提升握力與運動表現 (John et al., 2017；Tajika et al., 2015)。綜合上述，手指壓力與握力在運動過程中扮演著重要的角色，亦影響著攀岩的速度與棒球投擲表現，因此欲增進球拍擊球之穩定性、攀岩速度與棒球投擲的球速，除肢段大肌群的肌力訓練外，應額外著重肢段末端的手指肌力訓練。

在現今棒球投擲訓練方面，傳統的訓練方式主要由教練經由口述進行指導，協助選手修正投擲動作技術 (Kohmura, & Yoshigi, 2004)，必要時則搭配高速攝影機進行動作分析，並著重於肩、肘、腕與髖關節的角度、角速度與角加速度的說明與動作示範 (McGinnis et al., 2012；Reinold, Macrina, Fleisig, Aune, & Andrews, 2018)，但此方式有諸多的限制，且多半僅能著重在肢段大關節與肌群之訓練。而目前已有許多研究證實透過慣性感測器 (inertial sensor) 之三軸加速規 (accelerometer) 、陀螺儀 (Gyro) 與追蹤系統等，皆可協助測得選手運動表現或生活中的身體活動量，並廣泛適用於任何年齡層，促使自我量化的概念興起（張簡旭芳、李尹鑫、戴一涵、相子元，2016；陳羿揚、莎麗娃、邱文信，2020）。棒球選手不論在比賽或訓練的過程中皆需大量的數據與影片分析，來提供教練團擬訂戰術、比賽策略與協助訓練選手，然透過紙筆紀錄或影片拍攝，往往需耗許多費人力與時間 (Nagami et al., 2011)。若能透過慣性感測器之加速規、陀螺儀或追中系統等科技協助辨別投擲之動作優劣，則能提供選手更完善與客觀的動作姿勢調整依據。再者，透過運動學影片的分析，可同時釐清於選手動作過程中整體肢段關節的變化，再透過電腦模擬計算，可提供選手與教練球體飛行的軌跡等 (Kagan, & Nathan, 2017；Sun et al., 2019；Shibata et al., 2019)。顯然，科技運用於運動訓練已逐漸成為現今體壇的趨勢，並解決過去傳統訓練的限制。

整體而言，離手球速與轉速的提升除了需著重各肢段關節與肌肉的連動外，亦需搭配末端小關節的屈曲，並施予球體適當壓力，因此除著重投擲動作技巧的訓練外，需額外針對上肢肌力與手指握力肌力訓練。目前多半透過教練的口述調整選手動作正確性，其次則透過高速攝影機進行影像分析，並在常規訓練後搭配藥球、抗力球、握力器與重量訓練器材增進選手之上肢肌力。但上述兩方式前者僅透過肉眼與經驗判斷大關節動作姿勢的正確性加以調整，對於細部關節（手指）則無法精細的觀察，僅能透過球體的最後表現判斷手指動作的正確性，因此可能不夠完整與客觀，後者則具有無法即時回饋的缺陷，對於選手姿勢的調整幫助相當有限，因此勢必透過科技作為訓練輔具。

目前針對棒球投擲動作訓練已有許多研究證實透過慣性感測器之三軸加速規與陀螺儀與追蹤系統等，皆可協助測得選手投擲表現，並提出具體不易掌握之動作姿勢與細微動作要點，提供客觀的依據作為教練訓練投手時之參考。本研究期望以「科技」為輔具藉由「球體」與「人體」兩大層面，事先從球體飛行的「結果」評估優秀選手與一般選手於棒球投擲動作過程中之球體球速、轉速、手部肌肉活化差異，再從人體肢段動作控制與肌肉協調機制釐清其「原因」，期望藉由本研究能提供棒球教練在訓練專業或一般選手投擲動作時作為參考依據。

第二節 問題背景

棒球投擲離手球速與轉速的優劣，可從人體動作控制與球體兩層面進行探討，在人體動作控制方面，整體投擲動作涉及完整的身體力量傳遞，過程中經由下肢跨步產生動能，利用髖關節旋轉傳遞至上半身，於下肢與軀幹核心肌群累積動能與力量後，透過肩關節之內旋傳遞力量，再經由末端肢段擲向捕手方向投擲 (Fleisig, Diffendaffer, Ivey, & Aune, 2017)。其中上肢動作部分，多數研究皆認為影響離手球速的關鍵在於肩關節、肘關節與髖關節肢段動作的流暢性（邱文信等，2019；Fleisig et al., 2017），且好的投擲動作在各關節角度、角速度與離手球速皆會呈現顯著的正相關，其中前臂尺側伸腕肌（以下簡稱伸腕肌） 與橈側屈腕肌（以下簡稱屈腕肌） 與上臂肱二頭肌與肱三頭肌相關性

最高，其次則為軀幹，表示投擲動作的熟悉與流暢度需上、下肢各關節的參與（邱文信等，2003；Kobayashi et al., 2014）。即使如此，不同層級或年齡的選手在相同球路或不同球路下，整體上肢動作皆有所差異，其上肢肢段相關性的高低亦呈現不一致的狀態(Fleisig, Laughlin, Aune, Cain, & Dugas, 2016；Luera, Dowling, Muddle, & Jenkins, 2020；Lorson et al., 2013；Oi et al., 2019)。然上述研究雖透過肢段大關節釐清投擲動作要點，但並未著重在人體細微動作控制。顯然，從人體肢段動作而言，仍尚待釐清肢段小關節肌肉活化與離手球速的關係。

此外，目前已釐清手指壓力與伸腕肌與屈腕肌之肌力為影響球體轉速的關鍵因素(Calabrese, 2013; Wang, et al., 2016)，且手指壓力、屈曲角度、角速度越大，球體轉動的速率越高 (Hore & Watts, 2011；Nagami et al., 2011)，但並無法顯著的增進球速 (Chin, Elliott, Alderson, Lloyd & Foster, 2009)。由此可知，欲提升球體轉速主要需著重在末端小關節的協調與人體細微動作控制，目前對於球體轉速的相關研究多半採用高速攝影機、追中系統或電腦模擬的方式重建球體飛行軌跡 (Glanzer, Diffendaffer, Solwik, Drogosz, Lo, & Fleisig, 2019；Jinji et al., 2006)，但多數皆有無法「即時回饋」的缺陷，因此即便有科技的輔助，許多教練仍然依賴傳統的訓練方式透過口述進行指導，協助選手修正投擲動作技術 (Kohmura, & Yoshigi, 2004)，僅在必要時才搭配高速攝影機著重於肩、肘、腕與髖關節的角度、角速度與角加速度的說明與動作示範進行動作分析 (McGinnis et al., 2012；Reinold et al., 2018)。顯然，目前棒球投擲訓練仍處於傳統的口述指導，且缺乏可即時回饋之科技輔具以偵測球速與轉速，提供即時回饋的訓練模式。因此若選手欲提升投擲表現追根究底需著重於手指各關節的靈活控制，才能真正提升球速與轉速。

現今分析投手球路之變化皆以球體「轉速」(rotating speed) 為指標 (Vila et al., 2019)，並分為兩層面進行探討，其一為球體離手後球體縫線與風阻間的關係，用以推論球體於飛行過程中變換球路（軌跡）的主因，認為欲測得球體轉速則需透過高速攝影機拍攝球體轉動時之水平軸 (Cross, 2019)，且不論投擲任何球路，飛行中的球主要受到地心引力、空氣阻力或上升力與垂直方向的分力的影響 (Whiteside, McGinnis, Deneweth, Zernicke, & Goulet, 2016)，因此目前已證實當球體於空中飛行時，造成球體變化主要可歸因於「柏

努力定律」 (Bernoulli's principle) 所造就 (Cross, 2011；Cross, & Lindsey, 2017)。而另一討論的層面則為「人體」在投擲過程中上肢各肢段變化的過程，且著重於「手指屈曲角度」、「角速度」與「手指壓力」等進行探討 (Higuchi & Kiura, 2012；Matsuo et al, 2018)。雖然從早期的研究已證實，球體轉速的產生主要來自離手瞬間手指肌肉勁度的提升所造就 (Hore, Watts et al., 1996；Hore et al., 2011；Nagami et al., 2011)，且近端指間關節在釋放球的瞬間才會迅速彎曲 (Wang, Kuo, Shih, Lo, & Su, 2013)。

事實上，手指動作變化的動力源自於背側骨間肌肌肉活化所。手部的背側骨間肌為所有內在肌中最靠近手背的肌肉，其中第一背側骨間肌，主要作用為幫助姆指做伸展、屈曲、外展與內收動作。第二背側骨間肌位於食指與中指間，主要作用為幫助食指與中指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲。第三背側骨間肌主要作用為幫助中指與無名指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲。第四背側骨間肌主要作用為幫助無名指與小拇指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲 (Chikenji, Toda, Gyoku, Oikawa, Katayose, & Tsubota, 2010)。而整體而言，背側骨間肌可幫助手部進行握、捏與放的動作 (Buniya, Al-Timemy, Aldoori, & Khushaba, 2020)。然而不同層級間手背第一背側骨間肌、第二背側骨間肌、第三背側骨間肌與第四背側骨間肌肉活化的差異為何?皆無研究進行深入的探討。以致於目前僅有離手前手指運動學之相關知識，過程中如何改變才造就球體之軌跡變化並不明確，且亦缺乏人體細微動作與球體轉速間關係的解釋，因此有必要進一步探究人體細微動作的控制。

進一步從人體細微動作控制的觀點而言，影響球體轉速主要可歸因於手指的運動學與壓力所導致 (Kinoshita, Obata, Nasu, Kadota, & Matsuo, 2014；Vila et al., 2000；Matsuo et al., 2001)。由於投擲過程中手指屈曲之時間小於 5 毫秒，且僅在離手瞬間才迅速彎曲 (Wang et al, 2013)，但目前主要著重於球體離手瞬間，並無法得知過程中經由地心引力、空氣阻力或上升力與垂直方向的分力的影響下球體轉速的變化過程。此外，在手指壓力部分，目前市售手指壓力系統在使用過程中，往往因手臂的快速的擺臂與屈曲動作，導致感測元件滑動或脫落，且感測元件在長期使用下皆會擠壓或磨損，可能造成訊號誤差過大或產生失真的現象。再者，有些傳感器在使用過程中，需透過透氣膠帶或白貼將指

節殘繞與固定，勢必造成關節活動受限，且細部肌肉會因殘繞的鬆緊度而使訊號產生誤差，基於上述因素，目前市售手指壓力系統方便收取「靜態」動作勝過於「動態」，造就目前手指壓力與各專項運動表現的關係，仍有諸多的問題尚未被釐清。

隨著慣性感測器的普及，現今多半透過自行研發與設計適合該項目之手指壓力系統進行研究，釐清籃球罰球瞬間主要使用食指來控制力量與方向 (Hung et al., 2017；Lupo, 2015)。僅少數研究中透過自行研發之手指壓力感測器，再結合三軸加速規測得選手於投擲四縫線快速直球過程中，食指、中指、無名指與拇指的手指加速度與壓力值，比對後發現手指壓力與球速呈現正相關，顯示整體投擲動作過程中，球體離開手指瞬間主要以食指與中指進行 (Kinoshita et al., 2017；Matsuo et al., 2018)。然上述研究僅說明了球體離手瞬間所產生之食指與中指壓力多寡，但對於各手指所產生的肌肉活化多寡並未有研究提出客觀的解釋。有此可知，欲測得棒球投擲之手指肌肉活化差異，並無法透過市售壓力系統測得其參數唯採用表面肌電儀才能順利測得，但從過去研究中不難發現，目前僅能即時瞭解「擺臂動作過程」與「離手瞬間」之食指與中指的手指壓力，並無法得知球體飛行過程中之轉速的變化，因此，此結果僅能釐清動作「開始」所產生的壓力，但「過程中」球體如何改變，才造就球路的變化為本研究主要探討之核心。

由上述研究可歸納出，目前對於投擲動作與離手球速、轉速的研究中，得知上肢各肢段的動作協調為影響離手球速的主因，而手指細微的動作變化與壓力的多寡則為影響球體轉動速率的重要因素，雖然現今已可透過高速攝影機進行動作分析，但目前仍有相當多的限制，而無法提供細微動作的具體調整方式，因此現今棒球教練在投擲訓練計畫的擬訂通常皆在一般常規訓練後，再添加藥球、抗力球或傳統重量訓練 (Escamilla et al., 2012；Van den et al., 2013)，並透過口頭給予選手回饋，選手則參照教練建議進行修正 (McGinnis et al., 2012)，此方式雖有一定的訓練效益，但可能因教練判斷錯誤或經驗不足等問題，而不夠完整與客觀。同時亦凸顯目前僅能提供完整的肢段大肌群肌力與動作姿勢的回饋，但肢段小關節的變化最終皆會反應在球體轉速與球路上，目前僅能透過人體關節、肌肉的協調與控制，推估球體轉速與球路的變化，此方式僅將焦點著重於人體推估球體變化可能不夠確實，顯然在肢段小肌群的調整與訓練，仍缺乏相關輔具給予客觀

回饋 (Szymanski et al., 2004)，若能透過科技於球體飛行過程中，給予教練客觀的參考依據，再搭配攝影機與教練之經驗，則能提供教練在指導選手投擲時手部細微動作之更完整指導方針。

基於上述，本研究目的在於瞭解不同棒球層級選手投擲之球體運動學與上肢細微肌群與手部肌肉活化差異，釐清影響離手球速、轉速之關鍵因素，並以優秀選手為標的給予教練擬定訓練計畫，或調整選手投細微擲動作姿勢之參考依據。

第三節 研究目的

一、探討不同層級選手投擲快速直球球速、轉速差異。

二、探討不同層級選手投擲快速直球上肢伸腕肌、屈腕肌與手背第一背側骨間肌肌、第二背側骨間肌、第三背側骨間肌與第四背側骨間肌肌肉活化差異。

三、探討不同層級選手投擲快速直球時，上肢伸腕肌、屈腕肌、手背第一背側骨間肌肌、第二背側骨間肌、第三背側骨間肌與第四背側骨間肌肉活化和球速、轉速的相關性。

第四節 研究假設

一、優秀組球速與轉速皆顯著高於一般組。

二、優秀組投擲快速直球時，手背第一背側骨間肌、第二背側骨間肌、第三骨背側骨間肌、第四背側骨間肌伸腕肌與屈腕肌肌肉活化皆高於一般組。

三、不同層級選手優秀組相較於一般組在投擲快速直球時，球速、轉速與上肢各肌群、手背第一背側骨間肌、第二背側骨間肌、第三骨背側骨間肌與第四背側骨間肌肌肉活化有顯著正相關，且兩組相關性有所不同。

第五節 研究範圍與限制

研究範圍如下：

一、以大專公開組棒球投手為受試者，並定義為優秀組；以一般大專生定義為一般

組。

二、優秀組皆接受過至少五年以上的棒球投擲相關訓練。

三、兩組受試者半年內皆無重大上、下肢傷害。

四、兩組受試者慣用手皆為右手。

五、為了避免肌電接收器貼位置不一致而導致研究結果產生誤差，研究執行過程中，肌電接收器黏貼，皆由同一研究員進行。

研究限制如下：

為避免外在環境干擾而增加實驗工作困難度與降低實驗參數之誤差率，本研究所有實驗皆於室內體育館進行，可能有相對低的生態效度。

第六節 操作性名詞定義

一、球體飛行方向性

球體於空中飛行時具有方向性，並遵從右手定則 (right-hand rule)，將本研究根據右手定則，擬定球體正上方為垂直軸向（Z 軸），左側為（Y 軸）與正前方為（X 軸），亦符合先前相關研究所提及之方向性 (Whiteside et al., 2016)。智慧棒球軸向圖，如圖 1-1。

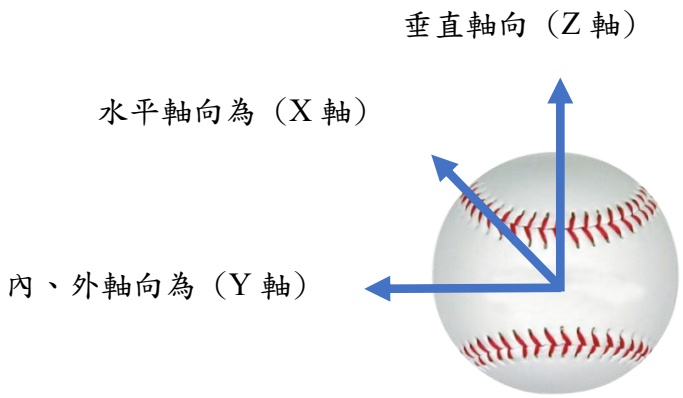

圖 1-1 智慧棒球軸向

二、轉速

轉動性物體在轉動速度上的一種衡量單位，所指的是一個物體在一分鐘內的旋轉圈數，一圈即是指一次的繞週轉動 (Nathan, & Kagan, 2014)。本研究以智慧棒球投擲離手瞬間所測得之球體轉速，並以當下顯示在手機 APP 上之轉速為依據，作為判定不同選手之轉速分類標準（單位：rpm）。

三、手部肌群

手掌背側骨間肌是所有內在肌肉中最靠手背的肌肉，其中第一背側骨間肌，在姆指做伸的動作時，可以在姆指與食指間摸到，總共有四塊，分別位於姆指與食指之間（第一）、食指與中指之間（第二）、中指與無名指之間（第三）、無名指與小指之間（第四）背側骨間肌 (Dorsal Interossei)。此四條肌肉為控制拇指、食指、中指、無名指與小拇指外展、內收、屈曲與伸展之作用 (van Duinen, Renken, Maurits, & Zijdewind, 2007)，本研究主要針對手背第一、第二、第三與第四背側骨間肌之肌肉活化進行比較。手背肌群，如圖 1-2。

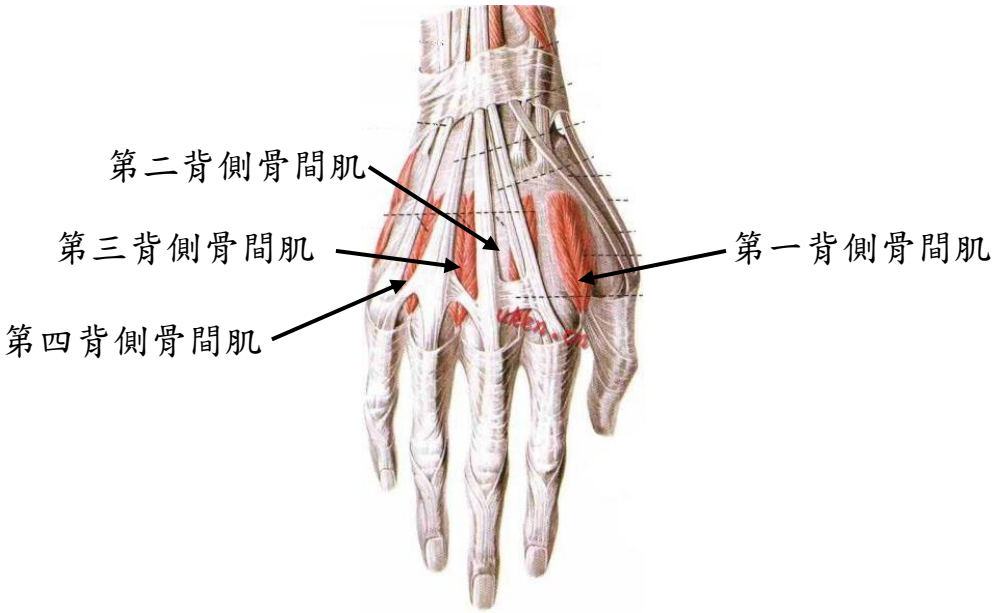

圖 1-2 手背肌群（引用至：https://m.yao51.com/jiankangtuku/ghojdjz.html）

四、肌肉活化

肌電圖 (electromyography) 為運動科學研究中的重要工具之一，主要用來研究神經及肌肉的功能，透過動作的變化觀察肌肉所產生的張力或肌肉活化的情形，常被用於臨床上評估神經傳導速度或肌肉回應，並與神經肌肉系統的病理學整診斷與紀錄結合 (Anami, Urabe, Sasadai, & Maeda, 2019)。亦為肌肉動作電位的綜合信號，可瞭解肌群參與動作順序、特定動作時的肌肉收縮強度與不同肌群的參與程度，以評估肌肉的興奮性、協調性、訓練的效果以及肌肉疲勞。以時間為橫軸、電壓為縱軸的時域分析 (time domain) 肌電訊號，記錄的為多個運動單位活動疊加的總和，代表眾多運動單位的加成，透過均方根 (root mean square, RMS) 的運算方式，是將具有連續特性的類比信號轉換成數字。以肌電圖訊號來說，似於訊號的瞬間輸出，在生理學上的意義則被用來表示運動單位的徵召情形 (Burden, 2010)。本研究將肌肉活化較高的肌群定義為參與棒球投擲之肌群程度較高。

三、棒球投擲動作分期

棒球投擲整體動作可分為預備期、跨步期、後擺期、加速期、減速期與動作跟隨期，共六個分期。而影響投擲離手球速主要為後擺期至減速期。後擺期的動作起始至結束分別為跨步期動作結束後，雙手持球將手臂向後擺動達最大肩關節外旋；加速期為從肩最大外旋結束，雙手臂開始向前移動到球離手；減速期為球離手後，上肢開始減速，動作逐漸變慢，上半身軀幹持續向前屈曲，肩關節達到最大的內旋角度，肘關節持續伸直的動作，身體重心轉移至前導腳。動作跟隨期為肩關節持續內旋及減速，重心完全放至前導腳，直到整個投擲動作結束。因此，相關研究探討棒球投擲之動作優劣，皆以後擺期至減速期作為動作參考依據進行分析（邱文信等，2019；Fleisig et al., 2011）。棒球投擲動作分期，如圖 1-3

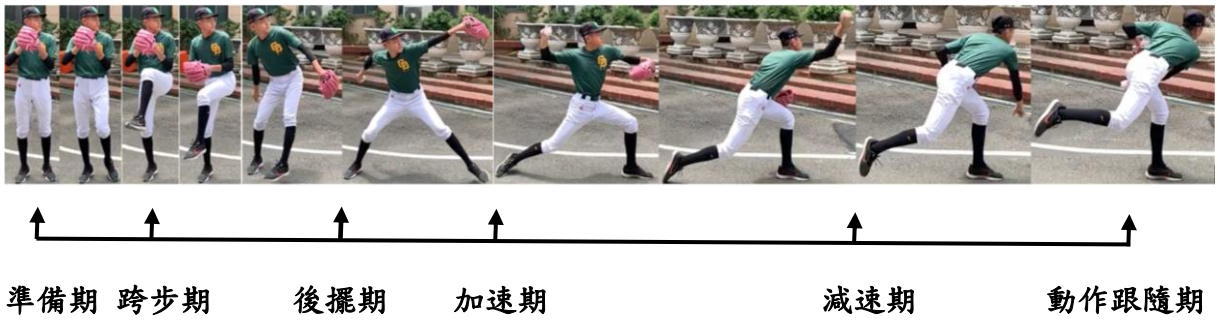

圖 1-3 棒球投擲動作分期

第貳章 文獻探討

第一節 棒球投擲上肢運動學、肌肉活化與離手球速的相關性

優秀的棒球投手通常被視為主宰比賽勝負的靈魂人物，且可再細分為先發投手 (starting pitcher, SP)、中繼投手 (middle relief pitcher, MRP) 與終結者 (closer)，主要區分之依據為工作內容的差異 (Dodds, Knotts, Penrod, Scoggins, & Conners, 2020)。在棒球比賽中，僅投手可直接控制與削弱進攻隊的擊球打擊能力，並減輕本隊的防守負擔，增加制勝的機率 (Selley et al., 2019)。目前已證實可以投擲整體動作的各關節角度、角速度、角加速度、離手球速與球體轉速等評估投手之優劣（湯文慈、龔榮堂、陳建銘、江宜玲，2009；Park, Choi, & Jeong, 2019；Payne & Isaacs, 2012；Wang et al., 2016），且影響離手球速與球體轉速的主因皆被認為由人體動作控制所造就（邱文信等，2019）。因此，良好的動作控制可提升投擲的球速，且上肢或下肢動作皆與離手球速有正相關 (Lehman, Drinkwater, & Behm, 2013)。本節主要著重釐清上肢投擲動作過程中，肢段關節、軀幹與各部運動學與離手球速的相關性，並說明整體過程中上肢肌肉活化的差異，且提出目前研究尚未被釐清之細微動作議題。藉此釐清成熟且正確的棒球投擲動作，於整體投擲過程中各關節與肌肉所呈現的狀態，以提供教練與選手於教學指導或自主訓練時，作為調整動作之依據。

正確的棒球投擲動作順序依序由後腳（軸心腳）給予地面作用力，提共動力來源，並帶動前腳（跨步腳）收縮，持球之慣用手向後延伸，直至肩、肘關節與腕關節呈現最大外旋，以增加動作位移，同時對側手做出適當的平衡動作，此時跨步腳大步跨出，軀幹由臀部至脊椎從側向轉動至正向，上肢依序從慣用肩關節旋轉，肘關節向前伸展橫越身體軀幹向前推進（前傾），腕關節順勢下扣等，以做出連續且順暢的完整上肢動作。整體動作可分為預備期、跨步期、後擺期、加速期、減速期與動作跟隨期，共六個分期，而影響投擲離手球速主要為後擺期至減速期。因此，相關研究探討棒球投擲之動作優劣，皆以後擺期至減速期作為動作參考依據進行分析（陳羿揚等，2014；Fleisig, Bolt,

Fortenbaugh, Wilk, & Andrews, 2011）。

在投擲動作運動學方面，投擲後擺期時肩關節外旋與肘關節向後屈曲，主要作用為增加投球之力矩，透過位能與動能的轉換增加投擲離手球速，當肩與肘關節屈曲角度越大，產生之關節力矩則越大，使動作過程中有更大的力量輸出，進而提升投擲球速 (Payne et al., 2012；Wang et al., 2016)，而腕關節於此分期中主要作用為協助手指持球，但亦會向後伸展，當球體離手瞬間，腕關節屈曲主要為控制球體球路與放球點，因此肩、肘關節的最大角度皆會影響離手球速，腕關節則影響球路與放球點 (Payne et al., 2012；Wagner, Buchecker, Duvillard, & Müller, 2010)。此外，上肢肩、肘與腕關節於整體投擲過程向前揮動時，所產生的最大角速度越快，球體離手球速亦越快（黃國揚，2016；Tillaar & Ettema, 2011）。且投擲過程中，上肢腕、肘、肩、髖與膝關節之肢段大角度、角速度和整體投擲動作技巧、離手球速與投擲距離均有高度正相關，其中前臂與上臂相關性最高，其次為下肢與軀幹，表示投擲動作的熟悉與流暢度需上、下肢各關節的參與（邱文信等，2003；Kobayashi, Ae, Miyazaki, Fujii, & Iiboshi, 2014），且高層級的選手相較於一般層級髖關節呈現相對大的屈曲角度與較快的角速度，且亦出現較快的髖關節旋轉，並與球速有顯著正相關 (Luera et al., 2020)。顯示，投擲球速與髖關節屈曲、旋轉角度角速度有著重要關係 (Wagner et al., 2011)，但髖關節部分為初學者較不易掌握的關鍵技巧，需經長時間學習經驗的累積方可幫助增進投擲技巧，達到更好的投擲表現 (Aguinaldo & Escamilla, 2020；Kobayashi et al., 2014)。綜合上述，一個成熟且流暢的投擲動作，不論上肢肩、肘、腕、髖關節與下肢驅動腳與跨步腳之角度與角速度，對整體投擲動作、離手球速與投擲距離等，皆有高度正相關，其中以髖關節旋轉之技巧最不易掌握。

投擲動作過程肌肉活化方面，當後擺期跨步腳跨步時，上肢已做好弓身動作用以增加投擲力距，此時肩關節處於最大外旋有較大的關節力矩，在此分期過程中斜方肌與闊背肌為主要作用肌，肌肉活化呈現較高狀態，而肱二頭肌主要為屈肘、前臂旋轉與穩定手臂上舉向後的拉力，肱三頭肌則為輔助穩定的角色，並接受軀幹和肩關節肌肉所產生的能量，因此肱二頭肌瞬間收縮有著適當的活化程度 (Calabrese, 2013；Fasbender, Korff, Baltzopoulos, & Linthorne, 2020；Oliver et al., 2018)。此時，因闊背肌為投擲主要作用肌，

斜方肌則為穩定動作的肌群，因此呈現的肌肉活化相較於肱二頭肌高 (Kelly, Backus, Warren, & Wil1iams, 2002)。而肢段細部的腕關節於此時依然保持自然且中立姿勢或些微屈曲的姿態，主要作用為持球，因此肌肉活化相對其他肌群小 (Naito, Takagi, Kubota, & Maruyama, 2017)。投擲加速期時，闊背肌與肱三頭肌主要作用為讓手臂加速，以產生手臂速度與增加投擲效益，闊背肌在此階段則有較高的肌肉活化，而斜方肌則為輔助肩與肘關節向前伸展推進的角色（邱文信，2010）。而過程中肱三頭肌扮演著重要的角色，主要讓前臂伸展，此時手臂以最大加速度作離心收縮，而肱二頭肌僅扮演著輔助的角色，故肌肉活化相對小 (Bagchi et al., 2015；Kelly et al., 2002)。

加速期作用至減速期球體離開手部前，腕關節則需屈腕進而將球體投出，此時屈腕肌有著適當肌肉活化產生屈腕動作，而在屈肘所使用的肱二頭肌與伸腕肌，則有較低的肌肉活化以提供穩定關節 (Calabrese, 2013; Wang, et al., 2016)。在減速期時，手臂會自然的朝投擲方向向前揮出，逐漸將力量完全釋放，此時闊背肌與斜方肌也會有明顯肌肉活化，進而維持肩胛骨的穩定並降低肩膀向前拉扯的力量，且在極大的力量輸出之餘，同時需要相當的肌肉力量給予抗衡以達到減速效用來避免傷害，因此必須有足以拮抗的肌力來緩衝，故肱二頭肌與肱三頭肌活化在此時應有增強的現象，而肱二頭肌主要扮演著緩衝與制動的角色（劉于詮等，2005）。而球體離手前腕關節仍處於伸展狀態，直至球離開手後順勢有屈曲動作，此時屈腕肌等也必須有適當活化，而在屈肘所使用的肱二頭肌與伸腕肌，則有較低的肌肉活化以提供穩定關節 (Calabrese, 2013；Fleisig et al., 2011)，作用為控制出手放球時機，並影響著球路與球體轉速 (Hore & Watts, 2005；Matsuo et al., 2018)。

綜合上述，在各分期的投擲動作過程中，不論各關節處於屈曲或伸展，所產生之角度、角速度與角加速度皆與離手球速有正相關，且各肌群之肌肉活化因關節動作的不同而產生差異，整體而言可發現欲增進離手球速主要需著重於闊背肌與斜方肌之肌力訓練，而欲增進控球穩定度與球體轉速，則可著重於前臂伸腕肌與屈腕肌之肌力訓練，以提升投擲的效益。然而截至目前為止，仍缺乏研究深入探討各手背第一至第四背側骨間肌肌肉活化與離手球速、轉速之相關性，導致教練於指導選手時無法提供客觀的建議給予選

手在投擲過程中提升手指控球之精準度。基於上述本研究期望釐清不同層級選手於肢段小肌群手背第一至第四背側骨間肌肌肉活化差異，並以優秀選手為指標給與教練作為指導一般選手投擲手部細微動作之標的。投擲動作之各關節運動學與肌肉活化相關研究，如表 2-1。

第二節 影響球體轉速的重要因素

棒球比賽過程中投手為影響勝負的關鍵之一，欲使打擊者揮棒落空，主要需著重於「球路的變化」與「投球節奏的掌控」，若控制得宜則可作為壓制對隊打擊者打擊表現的策略 (Naito et al., 2017)。現今在分析投手球路之變化皆以球體「轉速」 (rotating speed) 為指標 (Vila et al., 2019)，並分為兩層面進行探討，其一為球體離手後球體縫線與風阻間的關係，用以推論球體於飛行過程中變換球路（軌跡）的主因，且目前已證實當球體於空中飛行時，造成球體變化主要可歸因於「柏努力定律」(Bernoulli's principle) 所造就 (Cross, 2011；Cross, & Lindsey, 2017)。而另一討論的層面則為「人體」在投擲過程中上肢各肢段變化的過程，且著重於「手指屈曲角度」、「角速度」與「手指壓力」等 (Higuchi et al., 2012；Matsuo et al, 2018)。基於上述研究，本節主要著重以「柏努力定律」與「人體細微動作控制」兩觀點，釐清影響球體轉速的重要因素。

從伯努利定律的觀點而言，此原理普遍存在於運動中且應用相當廣泛，舉凡飛機的飛行運動皆運用此原理所製造。此外，在運動技術方面，棒球的曲球或變化球等各種球路皆以此方式造就 (Cross, 2011；Cross et al., 2017)。其原理為流動的氣體壓力會隨之減少，流動越快壓力則越小，其定律可由能量守恆定律 (energy conservation law) 來推演，如在一個穩定的水流，沿著直線流向的所有點上，各種形式的流體機械能總和必定相同。換言之，動能 (kinetic energy)、位能 (potential energy) 與內力 (internal force) 的總和維持不變。亦即任何的流體速度增加，即代表動態壓力和單位體積動能的增加，同時會導致其靜態壓力、單位體積流體的位能與內力等三者總和的減少。若液體流出水庫，在各方向的流線上，各種形式的能量的總和是相同的；因為每單位體積能量的總和（即壓力

和單位體積流體的重力位能在水庫內的任何位置都相同）(Texier, Cohen, Quéré, & Clanet, 2016)。因此，若以球體飛行的觀點，飛行中的球體除受到風阻和上升力的作用外，還受到地心引力的影響，這些因素決定了離手後的球體軌跡，從過去風動的相關研究中可透過雷諾數 (reynolds number)、和旋轉參數對球的升力和阻力係數的影響，並廣泛運用於棒球、高爾夫球、網球、排球與足球的相關研究中 (Jinji et al., 2006)。因此，飛行中的球主要受到三種因素的影響，一、地心引力；二、空氣阻力或上升力；三、垂直方向的分力 (Bahill & Baldwin, 2007；Jalilian, Kreun, Makhmalbaf, & William, 2014)。然當球體旋轉軸傾斜時，要計算滾動球上任意赤道線的運動並不容易，反觀若球體繞水平軸以恆定速度在水平面上滾動，則角速度很容易測量，而球圍繞垂直軸旋轉而額外投射，則旋轉軸會傾斜，因此很難測量旋轉速度。可透過標記來增加對於球體轉動的精準性 (Cross, 2019)。

從人體細微動作控制的觀點，多數研究皆以高速攝影機釐清投球動作與球體轉速之間的關係 (Vila et al., 2019；Matsuo et al., 2001)，且主要著重「手指」在上肢肢段部分投擲時所扮演的角色，認為一個好的投球動作需配合各關節與肌肉的協調，然欲使球體有高的轉速則需透過「指尖屈曲」的角速度來增進，其原因為投擲過程中多半以大關節與肌群進行發力，此方式主要增進的為球速，但在離手瞬間則需透過指尖使球體轉動，因此指尖屈曲的方式為影響球球體轉動的重要因素 (Hore et al., 2011；Nagami et al., 2011)，當近端和遠端指間關節持續延伸直到球釋放的瞬間會產生屈曲的動作，且手指的勁度 (stiffness) 增加，且選手平均在球上施加了 195 ± 27 N 的垂直壓力，在投擲方向（水平軸向）平均施壓了 109 ± 22 N (Matsuo et al, 2018)。因此，手臂屈伸過程中手指屈曲對產生球速與轉速有一定的貢獻，且球體產生旋轉主要與手指頭屈曲之角速度有關 (Hore, Watts, & Martin, 1996)，手指屈曲之時間小於 5 毫秒，近端指間關節在加速階段的後半部分開始伸展，同時做出肩關節最大外旋動作，直到球釋放的瞬間結束，近端指間關節在釋放球的瞬間迅速彎曲 (Wang et al, 2013)。亦有研究認為球體轉速與選手的上肢肩、肘與腕關節有關，如同保齡球投擲動作需透過上臂轉動球體 (Chin et al., 2009)。此外，打擊網球時無論發球類型為何，球體的旋轉軸和球的速度向量都接近於垂直方向，且需

透過上肢各關節協助球體轉動 (Sakurai, Reid, & Elliott, 2012)。然與棒球投擲不同的為上述研究中，皆需持握一定重量的球體或拍體，使轉速的變化需透過肢段肌群活化或關節施力加以進行，因此可推測手部持握一定重量時，則需以上肢伸腕肌與屈腕肌為主要作用肌，反觀棒球投擲則僅需著重在手指屈曲，亦可改變球體轉速。

從上述文獻可得知，當球體離手前，手指扮演著重要的角色造就球體轉速的差異，主要來自於手指屈曲的角度，然當球體離手後，則受地心引力、空氣阻力、上升力與垂直方向的分力影響，使球體轉速與軌跡產生變化。由此可知球體轉速與軌跡的變化依先後順序可由人體細部動作控制為主因，而後再球體飛行過程中，則因物理因素使球體產生變化。然造就手指屈曲程度的差異可歸因於「持握方式」與「球體縫線」的不同，手投擲四縫線與二縫線快速直球，主要透過手指持握縫線的方式差異而導致球體軌跡有所不同，而主要的特點為球體會「後旋」，且與自由落體相比有極大的上升力 (Adair, 2002)。因此棒球球路的改變是由選手手指屈曲所造成，配合球體縫線產生出不同的球體軌跡 (Higuchi et al., 2012)，使球體飛行時產生不同的升力造就軌跡的變化 (Takahashi, Ae, & Fujii ,2001)。其論點可由電腦模擬的方式重建球體飛行軌跡，發現可精準的計算出球體飛行的軌跡 (Aguirre-López et al., 2018)。且為了回饋給教練作為比賽中擬定投擲策略之依據，研究透過市售攝影機與演算法，計算投擲時球體轉速，結果認為此方式有一定的參考價值，但由於實驗中所投出的球體轉速較低，且目前無法分辨四縫線與二縫線之差異，故後續還須進一步證實此方式的可行性 (Ijiri et al., 2017)。

綜合上述，產生球體轉速的主因可由球體離手後「縫線與風阻間的關係」與「人體細微動作控制」加以解釋，而當球體離手後主要因地心引力、空氣阻力、上升力與垂直方向的分力使球體轉速與軌跡產生變化，但事實上球體飛行的動力來源應為人體細微動作控制，且手指屈曲的角度與角速度為造就球體轉速差異的主因，目前透過科技的協助，已可以高速攝影機或電導計算模擬的方式，給予教練與選手回饋，然不論以何種方式給予回饋，其結論皆認為欲增進球體轉速則需透過手指屈曲進行，本研究將進一步從手指的觀點釐清手指壓力於運動過程中所扮演的角色。球體轉速相關文獻整理，如表 2-2。

第三節 手指壓力（力量）對棒球轉速的影響

正確的棒球投擲動作會產生較快直球與曲球離手球速，且不論上肢或下肢皆有一定肌肉活化產生，因此離手球速可作為棒球投擲動作正確性的重要指標（湯文慈等，2009；Smidebush, Stewart, Shapiro, Chander, & Knight, 2019）。欲提升離手球速在整體投擲動作過程中，則需配合下肢跨步帶動軀幹旋轉與躬身，上肢肩關節向後旋至最大角度，於加速期時藉由軀幹旋轉帶動身體向前傾，此時手臂以最高速向前伸展，最後則由腕關節屈曲進行投擲，但欲提升轉速除上述動作外，更重要的則是透過手指壓力將球投出，整體過程中以「大關節」帶動上肢肢段，最終則由「末端小關節」的控制，因此手指在整體投擲過程中亦扮演著重要的角色 (Lehman et al., 2013；Wang et al., 2016)。目前已證實手指施予球體的壓力並不會提升球速 (Ijiri et al., 2017)，主要作用除持球外，更重要為提升球體「轉速」、「改變球路」與「控制球體方向」 (Hore et al., 2005；Matsuo et al, 2018)。因此飽滿的手指壓力與握力為棒球選手不可或缺的基礎體能。本節主要著重於釐清手指壓力與握力於運動過程中扮演的角色，並提相關實證性研究說明飽滿的手指壓力與握力在整體動作過程中的效益，以提供棒球教練與選手於訓練時瞭解手指肌力之重要性。

欲測得動作過程中之手指壓力，則需透過手指壓力感應系統加以偵測，目前市面上所販售的手指壓力感應系統，主要透過壓力感測元件黏貼至手掌各指節，可量測運動過程中手指發力的狀況，在社會科學的領域中多半使用 QTC、Tekscan 9811、Grip 4255N 與 Flexiforce 四套系統，然此四套系統感測器於靜、動態精準度與靈敏度，以及易用度與耐用度皆有所差異。QTC 壓力感應器在各種負重測試下所顯示的數值誤差較大，而 Tekscan 9811 與 Flexiforce 壓力感應器測試所呈現的數值比較穩定 (Komi, Roberts & Rothberg, 2007)，但目前則以 Grip 4255N 系統較為大眾。由於手指壓力系統仍存在許多限制，在使用過程中往往因手指的動作，導致感測元件滑動或脫落，再者感測元件會因長期使用下造成擠壓或磨損，使得所收取的訊號誤差過大或產生失真的現象，有些傳感器使用過程中需透過透氣膠帶或白貼將指節殘繞與固定，造成關節活動受限，且細部肌肉會因殘繞的鬆緊度而使訊號產生誤差，目前傳感器收取訊號僅有垂直軸向，無法瞭解

手指內、外與水平的施力與剪力。也因如此，手指壓力系統方便收取「靜態」動作勝過於「動態」，造就目前手指壓力與各專項運動表現的關係，仍有諸多的問題尚未被釐清。現今相關研究僅少數採用上述提及之系統進行施測，另一部分則自行研發與設計適合該項目之手指壓力系統進行研究。

在競技體育中，僅少數透過自行研發之手指壓力感測器，再結合三軸加速規測得選手於投擲四縫線快速直球過程中，食指、中指、無名指與拇指的手指加速度與壓力值，發現在球體離手瞬間食指與中指分別產生 38-39 ms 和 6-7 ms 的加速度，且兩指有約略 97 N 的壓力，此外無名指和拇指分別產生大約 50 N 和 83 N 的壓力，食指和中指的剪力在釋放前的 4-5ms 處形成明顯的峰值，該峰值總計為 102 N 的壓力，且比對後發現手指壓力與球速呈現正相關，顯示投擲動作過程中，球體離開手指瞬間主要以食指與中指進行 (Kinoshita et al., 2017)。進一步透過高速攝影機，釐清中指於棒球投擲離手瞬間之運動學與動力學，發現當球離手前手指有更高的勁度，並增加加速度與角速度，且在球體上施加了 195 ± 27 N 的壓力，離手瞬間手指於投擲方向施加了 109 ± 22 N 的平均壓力 (Matsuo et al., 2018)。上述兩研究結果皆認為棒球投擲過程中，主要以食指與中指給予球體施加壓力，顯示影響棒球投擲時球體轉速與控制主要在上肢末端小關節的食指與中指。

多數研究皆以手指壓力為指標，主要著重於持拍運動進行探討，因此手指的功能可以持握高爾夫球桿的動作與持握方式加以解釋，認為持握的壓力多寡皆會影響揮桿及推桿擊球表現，球員在揮桿時手部持握的壓力普遍較高，且不同層級的選手在揮桿過程中，持握球桿的壓力並無明顯差異，然影響擊球穩定主要為擊球瞬間手部持握球桿的壓力變化所導致，因此欲提升擊球之穩定度，則需著重於擊球瞬間手指保持一定的持握壓力，以提升擊球之穩定度（王又德、羅瑭勻、張家豪，2016）。另研究透過手指壓力感測器 (Grip 4255N) 收取羽球選手持握羽球拍擊球時之手指壓力的差異，認為在整個動作過程當中，中指、食指、無名指及小指扮演控制、產生力量及穩定球拍的重要角色。中指、食指、小指、二至四掌骨、無名指及第一掌骨的最大力量產生在擊球瞬間前的揮拍期。第五掌骨則是因為球拍擠壓作用在擊球過後產生最大力量。各指節在跟隨期會產生第 2 高峰力量以穩定球拍（張鈺雪等，2015）。

以生活層面的觀點而言，從標準握筆姿勢與不同握筆姿勢之手指壓力差異中可由拇指、食指及中指的受力情況，瞭解在撰寫不同字形時，不論任何姿勢手指與拇指壓力最大，認為握筆時主要透過手指與拇指操控撰寫時的方向與節奏（蔡明章、沈彥宇、周佑恩、高自平、黃世疇，2010；蔡明章、李政錡、林政峰、黃世疇，2011）。基於上述，許多研究皆認為手指壓力主要影響的運動項目如持握高爾夫球桿、棒球球棒與投擲、壘球球棒、板球、桌球、壁球、木球、曲棍球、冰球與羽球等運動，皆需透過手指的力量來控制拍體，藉由手指力量的調整可提升擊球時之穩定度與命中率，進而提升運動表現 (Lewis et al., 2016；Martinez, et al., 2015；Young, 2003)。且手指除以手部的壓力來維持持握拍體的穩定度外，握力亦扮演著重要的角色，舉凡游泳時透過手指併攏可進行滑水動作；攀岩時透過手指的力量可使攀岩過程中更加順暢，且特別在從事拍類運動時手指的「握力」為影響運動表現的重要因素之一 (John et al., 2017)。

從高中棒球選手握力與身體素質的相關性研究中可得知，慣用手握力顯著高於非慣用手，且與身高、體重、身體質量指數 (body mass index, BMI)、上肢肌力與脂肪量皆有顯著正相關，顯示手指握力與身體數值有直接的關係 (Tajika et al., 2015)，因此研究透過手指壓力手套試圖瞭解籃球選手於投籃過程中手指扮演的角色，結果發現在投籃瞬間主要使用食指來控制力量與方向 (Hung et al., 2017)，證實握力與投籃命中率有正相關，顯示握力的訓練可維持選手於罰球時之命中率 (Lupo, 2015)。再者，手指的力量同樣會影響攀岩的速度，力量越大的攀岩選手，於攀岩時之速度越快，反之則越慢，但不論手指力量為何，隨著手指肌力的消耗皆會降低選手攀岩的速度，顯然手指力量對於攀岩選手而言，可視為影響勝負的關鍵，因此，即使為肢段末端小肌群皆不可忽略 (Balas, Pecha, Martin, & Cochrane, 2102；Mitchell, Bowhay, & Pitts, 2011)。

綜合上述，手指壓力與握力在運動過程中扮演著重要的角色，特別在持拍運動中，許多研究皆認為手指壓力主要影響的為持拍擊球時的「穩定性」。另外，手部的握力多寡亦影響著攀岩的速度與棒球投擲表現，因此欲增進球拍擊球穩定性、攀岩速度與棒球投擲的球速，除肢段大肌群的肌力訓練外，應額外著重肢段末端的手指肌力訓練。由於目前市面上手指壓力系統仍存在著諸多的限制，以致於研究多半採速度較慢的動作進行測

試，導致目前在棒球投擲過程中，僅少數研究以指壓系統為工具，釐清手指壓力與轉速之間的關係。顯然目前仍無法透過市面上的器材來提升棒球訓練的效益，因此若要瞭解各球路之末端肢段動作技術表現，用以協助提升選手之動作技巧，可採用表面肌電儀釐清手背第一至第四背側骨間肌肌肉活化的多寡，本研究期望透過表面肌電儀比對不同層級選手於投擲過程中，肢段末端手指壓力與轉速的差異，並以優秀層級選手為範本，藉由本研究結果提供教練於訓練一般層級選手投擲時，作為參考依據。手指壓力對棒球轉速的影響相關文獻整理，如表 2-3。

第四節 現今棒球投擲訓練的現況、需求與限制

棒球投手在職業生涯中常見的運動傷害主要分布在肩關節、肘關節與軀幹等，且有15.9%經歷過肩關節相關傷害，29.2%則經歷過肘關節相關傷害，其中以肩關節肌腱炎最為普遍 (Matsuura, Iwame, Suzue, & Arisawa, 2016；Scher et al., 2010；Sakata et al., 2017)，其次為肘關節尺內側副韌帶 (medial ulnar collateral ligament) 相關傷害 (Ostrander et al.,2019)，因此在訓練過程中除專注常規的投、接球與正確投擲動作的技巧訓練外，更應著重在上肢肩、肘與腕關節相關肌群之肌力強化的訓練，以預防肌肉因過度使用而產生上肢相關傷害 (Arnold et al., 2019)。目前已證實於常規訓練後，額外以藥球、抗力球與核心肌群等進行針對性的上肢肌力訓練，可增進投擲球速、上肢肌力、穩定度與核心肌力等，更重要的為降低運動傷害的機率 (Hermassi, Chelly, Tabka, Shephard, & Chamari, 2015；Lee, Jung, & Lee, 2016)，但仍有訓練上的限制與需求。本節主要著重討論棒球選手針對提升「投擲球速」與「轉速」之相關上肢肌力訓練，並提出目前於訓練過程之限制與需求，以釐清現今棒球投擲訓練的現況。

肌肉力量為維持身體運動、保持姿勢穩定與協助骨骼完成動作任務的重要系統，棒球投手於投擲過程中除需正確的投擲動作外，上肢肌力與離手球速有著顯著的正相關 (Vila et al., 2019)，且好的棒球投擲動作會產生較快的離手球速，因此離手球速可作為棒球投擲動作正確性的重要指標（湯文慈等，2009；Smidebush et al., 2019）。欲增進離手

球速在上肢肢段方面，訓練過程中可透過不同形式的訓練方式來增進肌力，舉凡以增強式訓練組 (plyometric)、投擲訓練組 (throwers ten) 與氣壓式阻力訓練組 (keiser pneumatic)，三組在為期六週的訓練後進行投擲球速的測驗，觀察到投擲組增加了 1.7%球速、氣壓式阻力訓練組增加了 1.2%球速，增強式組增加了 2.0% (Escamilla et al., 2012)。此外，使用藥球為輔具，設計為期六週不同運動強度的訓練計劃，亦可發現運動強度越高越能增進上肢肌力與投擲球速 (Van den et al., 2013)，且常規投擲訓練組僅能增進上肢最大肌力，而藥球組除增進上肢最大肌力外，亦可顯著提升投擲求速，顯示藥球訓練效益更勝常規投擲訓練 (Hermassi et al., 2015)。此外，在常規訓練後額外透過不同棒球重量（2 ounce 漸進到 32 ounce 與 4.4 ounce、5 ounce）進行投擲訓練，亦可提高投擲球速與手臂擺動的速度，並使肩關節顯著提升了 4.3° (Reinold et al., 2018；Yang et al., 2013)。由上述可得知，欲增進上肢肌力除常規訓練外，可額外增加藥球訓練，並將訓練計畫擬定在中等運動強度，除可增進上肢肌力外，亦可提升投擲離手球速，然除上肢肌力外，影響離手球速優劣的其中因素為「核心肌力」，因此核心肌力亦為投擲訓練之重點訓練項目之一。

核心肌力的優劣與投擲球速有正相關 (Escamilla, et al., 2010)，主因為任何動作任務的完成皆需足夠的核心肌力來傳遞力量至作用肌，良好的核心肌力能提升四肢的操控性與力量的傳遞，並降低運動傷害 （邱文信、陳羿揚、李建勳，2016）。一般針對棒球運動員常見的核心肌群訓練方式為「藥球訓」與「練抗力球訓練」等，若於常規訓練後額外加入此訓練，除可增進上肢與核心肌力外，亦可提升投擲球速與準確性（楊明達、詹貴惠，2006；Lee et al., 2016），且透過藥球核心訓練後，投擲時軀幹屈曲角度與上肢肌力顯著大於訓練前，體重與身體質量指數顯著低於訓練前（楊明達等，2006；Astorino et al., 2011），此外抗力球訓練可增進投擲球速、仰臥起坐與俯臥躬身皆有進步（陳羿揚、邱文信、錢明福，2018；葉益銘、黃士魁、林正仰，2009），並與一般重量訓練有著相同的效益 （葉益銘、侯建文，2010）。綜合上述研究可歸納出，不論是藥球訓練，亦或抗力球訓練皆可增進投擲球速、上肢肌力、身體素質與核心肌力，且在投擲動作技巧方面，可修正投擲時之軀幹屈曲前傾角度，並與一般重量訓練有著相同的效益，由此可知藥球

與抗力球訓練為現今棒球投擲訓練中，主要的上肢與核心肌力訓練項目。但不難發現，上述研究主要皆著重上肢肢段與軀幹等「大肌群」的肌力訓練，然肢段之小肌群的肌力主要為影響球體「轉速」，的關鍵因素。

在肢段小肌群方訓練面，少數研究擬訂前臂伸腕肌、屈腕肌、手腕與握力的漸進式肌力訓練計畫，認為此方式可增加投擲之穩定性 (Szymanski, Szymanski, Molloy, & Pascoe, 2004)。探究其原因，在投擲過程中加速期作用至減速期球體離開手部前，腕關節部分需屈腕進而將球體投出，當球體離手瞬間手指會增加肌肉之勁度、加速度與角速度，以提升球體的轉速 (Matsuo et al., 2018)，進而產生屈腕動作，而此過程中皆由肢段小關節的伸腕肌與屈腕肌為作用肌，因此此兩肌群之肌力為影響球體轉速與穩定性的重要因素 (Szymanski et al., 2004)。然現今在棒球投擲訓練過程中，投手教練皆透過口述進行指導且著重調整投手投擲時的動作，搭配視覺的提醒 (Kohmura, & Yoshigi, 2004)，並在細部的姿勢調整時，除口頭指導外，必要時亦會透過攝影機捕捉投手的姿勢，用以協助說明選手姿勢之優劣 (McGinnis et al., 2012)。此方式可觀察肢段大肌群之動作優劣，但對於肢段小關節（手指指節）與肌群的活化程度則無法僅透過肉眼加以判斷。再者，肢段小關節角度、角速度與角加速度的變化，造就球體轉速與球速的差異 (Kinoshita et al., 2017)，但在常規訓練中，即便使用高倍速的高速攝影機加以拍攝，也無法即時回饋給教練，作為指導方針，導致現今多數訓練僅能著重肢段大肌群之肌力訓練與投擲動作訓練，在肢段小肌群的肌力與動作指導則略選不足，顯然現今棒球投擲訓練仍有其限制。

由於肢段小關節的變化最終皆會反應在球體轉速與球路上，但目前僅能透過人體關節、肌肉的協調與控制，推估球體轉速與球路的變化，此方式僅將焦點著重於「人體」推估「球體」之變化，可能不夠完整與客觀，若能將球體飛行結果與人體動作控制進行比對，則能給予教練更為完整與客觀的參考依據，再搭配攝影機與教練之經驗，則能釐清造就此球體球速或轉速之差異的據理原因，協助教練研擬更完整之指導處方。因此主要著重於釐清人體肢段動作與球體飛行過程的關係，以在學理上能提供更完整的人體於棒球投擲動作控制之依據，實務上則能提供教練與選手擬訂或調整投擲動作姿勢之參考依據。現今棒球投擲訓練之相關研究整理，如表 2-4。

第五節 科技運用於運動訓練的具體方式

隨著科技的進步使早期專用於運動科學或工業測試的三軸加速規、陀螺儀等，已逐漸被運動器材或科技業廣泛運用於研發體育相關器材與用品，且具體積小、攜帶方便、高信效度與價格逐漸低廉等特性，且近年來被大量置入智慧型手機與運動手環中，促使自我量化 (quantified self) 的概念興起（張簡旭芳等，2016）。目的皆為了使一般民眾更方便釐清自身參與運動時的運動強度，與提升運動選手運動表現。不論在棒球比賽或訓練時，教練需隨時觀察選手投擲動作表現、持球方式、腕、肘與肩關節動作，以釐清造就此球速與轉速等的相關原因，在此過程中往往需大量人力，且亦須耗費許多時間 (Nagami et al., 2011)，若能透過科技的輔助協助教練於訓練選手時，給予客觀的球體速度與轉速等參數，則能幫助教練在訓練過程中有更完整的參考依據，使教學與執導能「事半功倍」，本節期望透過文獻彙整的方式，蒐集近年來科技用於輔助棒球投擲訓練之相關實證性研究，釐清目前透過科技的協助能提供教練或選手哪些客觀的參數與現階段的相關限制為何，以作為日後研發相關器材之參考依據。

棒球選手不論在比賽或訓練的過程中皆需大量的數據分析，來提供教練團擬訂戰術與比賽策略，然早期於投擲訓練過程中，欲測得投擲球速則皆以測速槍在選手每次投擲瞬間進行偵測（黃致豪，2018），然此方式偶爾會因投擲角度、手臂、身體等姿勢的不同而無法順利測得投擲球速。此外，在轉速與投擲動作部分，教練通常會皆以個人經驗，透過口述、動作示範與一般攝影機說明選手投擲動作之優劣，並著重於肩、肘、腕與髖關節的角度、角速度與角加速度的說明與動作示範 (Sawicki, Hubbard, & Stronge, 2003)，此方式雖有一定的公信力，但目前仍有其限制，且可能不夠完整與客觀。也因如此，在投擲動作的調整方面，目前已有許多透過科技協助棒球選手投擲訓練的相關研究，提出在投擲訓練過程中，可透過電腦遊戲軟體或穿戴式裝置，給予選手各肌群正確的肌肉施力狀況，並與實際投擲過程進行比對 (Hettiarachchi, Kodithuwakku, Manamperi, Ifham, & Silva, 2019)，其結果發現，使用電腦遊戲軟體模擬投擲訓練、「導電奈米片」或慣性感測系統，在上肢各肢段肌肉、手掌、背闊肌、下斜方肌、上斜方肌、鋸齒肌與下肢雙側臀

中肌之肌肉活化與實際狀況類似，且在不同球種下（曲球與快速球）之肌肉活化亦無明顯差異，顯示棒球遊戲或穿戴式裝置皆可作為棒球投擲練習或調整投擲動作技術之輔具 (Bai et al., 2019；Oliver et al., 2019；Yamagishi, 2019)。

此外，在選手投擲瞬間，腕關節「扣球」之動作主要為影響球體轉速優劣的主因 (Hiroyuki, Naoya, Kazuhiro, Shigeho, & Ryutaro, 2019)，手指持握球體的方式不同，其球體的轉速亦不同 (Vila et al., 2019；Matsuo et al., 2001)。此論點可由慣性感測器中的陀螺儀測得棒球選手投擲快速直球與曲球之轉速，發現投擲快速直球時平均轉速在 12.56 rps，投擲曲球時 19.22 rps，然隨著球體向對於投手的距離增加轉速則下降，推測主因為空氣阻力所導致 (Hiroyuki et al., 2019)，且透過穿戴式裝置，可釐清其動作過程中，肘關節扭矩、手臂出手速度、肩部旋轉和球體速度。發現在投擲快速直球時，肘部內側扭矩明顯高於投擲曲球中的肘部扭矩 (p = .001)，認為與曲球相比，快速直球在肘部內側施加的扭矩要大得多 (Lizzio et al., 2020)。此外，在視覺的訓練方面，不論投手、打擊者、守備人員與捕手皆可透過「閃光眼鏡」給予選手不定時的干擾，以模擬於正式比賽過程中，媒體相機使用閃光燈時的干擾，讓選手透過此輔具於平常時適應正式比賽中之干擾，以避免失誤的產生 (Pavlovich, 2017)。綜合上述研究，透過科技為輔具確實可幫助選手於投擲過程中，上肢肢段的動作技巧調整、球速與轉速的監控等，並釐清造就此球速與轉速的主因，然上述研究在釐清投擲之球速與轉速皆著重於「肢段關節」，並透過「因素分析 (factor analysis)」 加以釐清。而整體投擲過程，目前仍依賴高速攝影機搭配穿戴式裝置，透過運動學 (kinematics) 分析比對穿戴式裝置給予的數據回饋加以確認，以整體動作過程的肢段關節角度、角速度與角加速度，釐清造就離手球速、球體速度與轉速之間人體動作過程的變化。

訓練與正式比賽過程中為記錄選手揮棒與投擲的整體動作正確性，目前最普遍使用「Statcast 追蹤系統」加以記錄。Statcast 系統為現今美國職棒大聯盟 (Major League Baseball) 於比賽中最常使用的追中系統，早在 2005 年透過 Sportvision 公司開始安裝在大聯盟球場中，直至 2007 年以普及所有美國職棒大聯盟的球場，且當時僅以三個攝影機 (60 Hz) 即可跟蹤整個棒球場。其中亦包含球體飛行角度與軌跡、球員打擊姿勢與軌

跡、球員守備姿勢與傳球軌跡、音頻與裁判吹判之正確性等 (Kagan et al., 2017)。此外，研究透過安裝至棒球球棒上的三維傳感器與演算法，計算出棒球選手揮棒的軌跡，發現三維傳感器所測得之加速度與實際揮棒之加速度具有誤差 (8.91 km /h)，但透過演算法可將誤差值修復，因此認為此系統可精準的評估棒球揮桿動作，包含動作跟隨階段 (Shibata, Hirose, Naruo, & Shimizu, 2019)。再搭配多個物聯網傳感器與高速攝影機，收集棒球選手揮棒與投接球之動作行為，並透過電腦深度學習可建立動作行為之分類，並與實際攝影機所拍攝之動作相比，具有 95%以上的準確性 (Sun et al., 2019)。另外，在訓練時透過穿戴式裝置可於平時訓練時，監控選手的訓練量與運動強度，從而降低運動傷害的風險 (Fleisig ,2018；Lian, Hsu, Balram, & Lee, 2020)。因此在平常訓練時可全程穿戴 Omegawave 系統監控訓練之運動強度，並隨著狀況進行訓練強度的調整，控制組則未介入任何穿戴式裝置監控訓練之運動強度，研究結果發現全程穿戴 Omegawave 系統監控訓練之運動強度，可幫助選手於正式比賽時有良好的運動表現，因此建議選手在進行棒球訓練時，可穿戴 Omegawave 系統監控訓練之運動強度，來提升運動表現 (Jack, Lintner, Harris, & McCulloch, 2018)。

然上述用以輔助選手進行整體投擲技巧訓練、監控運動強度或投擲動作的調整所使用的科技，多半為穿戴式裝置（三軸陀螺儀與加速規），再搭配高速攝影機、物聯網傳感器與電腦模擬計算等，提供教練更完整與客觀的參數，作為棒球投擲訓練與調整之依據 (Bai et al., 2019)。顯然，科技運用於運動訓練已逐漸成為現今體壇的趨勢，並解決過去訓練之限制。因此，本研究期望透過「智慧棒球」為輔具，釐清不同層級選手於投擲過程中，球體速度、轉速與加速度，再透過高速攝影機加以比對，瞭解不同層級選手，之所以造就球速與轉速之差異原因為何，以提供棒球投擲在人體控制之學術理論依據，在實務上亦可作為日後教練與選手於擬訂訓練計畫或姿勢調整之參考依據。科技運動於棒球訓練之相關文獻整理，如表 2-5。

第六節 文獻總結

一、正確的棒球投擲動作需配合身體多關節的連動，直至手部腕關節扣球將球投出，透過高速攝影機可釐清後擺期至減速期，離手球速與身體各關節的相關性，可作為判定投擲動作正確性的指標，而在整體上肢肢段需著重肩關節外旋與肘關節向後屈曲的角度，角度越大力矩則越大，透過位能轉換為動能以增加投擲離手球速，並透過腕關節屈曲扮演控制與穩定球路的角色。在後擺期時主要由斜方肌與闊背肌主導，加速期時除闊背肌外，肱三頭肌活化帶動手臂加速，以產生手臂速度與增加投擲效益，並在減速期球離手瞬間由腕關節屈曲將球體投出，此時屈腕肌有著適當肌肉活化產生屈腕動作，並控制球體投擲方向。由此可知，整體投擲動作需透過各關節連動與肌群參與動作，以提升離手球速，然而目前仍尚未釐清手指之肌肉活化差異，因此有必要進一步探究。

二、在投擲過程中，可藉由手部的屈曲與手指的壓力作為變換球路或增加尾勁的動力來源，影響棒球球體轉速的重要因素主要可區分成「柏努力定律」與「人體細微動作控制」兩觀點，飛行中的球主要受到地心引力、空氣阻力或上升力與垂直方向的分力的影響。在分析轉速的優劣時，多半透過高速攝影機與標記點，探討球體水平軸的轉動，再透過電腦模擬分析，提供教練與選手作為判定曲球球路優劣的依據。從人體細微動作控制的觀點，主要著重手指指尖屈曲角速度來探討球體水平軸向轉動的速度，有此可知，手部屈曲的角速度與手指壓力對於球體轉速而言，扮演著關鍵角色。在手指屈曲部分目前僅能透過高速攝影機進行分析，而手指壓力部分則透過演算法加以推估，此方式雖可作為訓練與調整動作姿勢之依據，但皆有無法「即時回饋」的缺陷，因此若作為訓練使用可能使訓練效益降低。顯然目前仍缺乏即時回饋之科技輔具，用以偵測轉速與指壓。

三、手指壓力主要作用為提供球體轉速的動力來源，由於目前市售手指壓力系統有著諸多的限制，因此對於動作頻率較為快速的項目而言，無法提供精確與客觀的數據，使目前攸關棒球手指壓力與球體轉速之相關研究相當有限，無法提供教練與選手客

觀與完整的動作參考，作為訓練與調整動作姿勢之依據。目前僅少數研究透過自製壓力手套與手指壓力感測器，再搭配高速攝影機同步釐清手指於棒球或籃球運動之動作過程與壓力多寡，多數研究則以市售手指壓力系統釐清動作頻率較為緩慢的高爾夫球、握筆姿勢與拍類運動之手指壓力差異，並提出食指、中指與大拇指為主要提供穩定與控制的關鍵。追根究底手指壓力的多寡來自於手部細微肌肉活化所造就因此本研究期望透過「手指肌肉活化」為指標，比對不同層級選手於投擲過程中，肢段末端手指壓力與轉速的差異，並以優秀層級選手為範本，期望透過本研究提供教練於訓練一般層級選手投擲時，作為參考依據。

四、棒球投手長年受肩關節或肘關節傷勢的困擾，因此教練除著重投擲技術的訓練外，額外重視上肢肢段與核心肌群的肌力訓練，主要目皆為提升運動表現與預防運動傷害。而訓練方式多半以藥球與抗力球為主要工具，其次則為傳統的重量練器材，而在訓練計畫的擬訂通常皆以一般常規訓練後，再添加藥球、抗力球或傳統重量訓練，經數週訓練後除上肢肢段與核心肌群肌力有顯著增加外，亦提升了離手球速，顯然上肢肌力訓練為棒球選手不可或缺的訓練項目之一。從過去研究中不難發現目前針對投擲動作的訓練，教練多半採用口頭給予選手回饋，選手則參照教練建議進行修正，此外在上肢肌力訓練方面，則以上肢與軀幹大肌群之肌力為主，顯示目前僅能提供完整的肢段大肌群肌力與動作姿勢的回饋，且回饋方式多半以教練之經驗提供選手調整，但肢段小關節的變化最終皆會反應在球體轉速與球路上，但目前僅能透過人體關節、肌肉的協調與控制，推估球體轉速與球路的變化，此方式僅將焦點著重於人體推估球體變化，可能不夠完整與客觀，顯然在肢段小肌群的調整與訓練仍缺乏相關輔具給予客觀回饋，若能透過科技於球體飛行過程中，給予教練客觀的參考依據，再搭配攝影機與教練之經驗，則能提供更完整之指導處方。

五、透過慣性感測器之三軸加速規與陀螺儀與追蹤系統等，皆可協助測得選手運動表現，或生活中的身體活動量，並廣泛適用於任何年齡層，促使自我量化的概念興起。棒球選手不論在比賽或訓練的過程中皆需大量的數據與影片分析，來提供教練團擬訂戰術、比賽策略與協助訓練選手，然透過紙筆紀錄或影片拍攝，往往需耗許多費人

力與時間，若能透過慣性感測器之加速規、陀螺儀或追中系統等科技，則能提供選手更完善與客觀的動作姿勢調整依據。再者，透過影片的分析可同時釐清於選手動作過程中整體肢段關節的變化，再透過電腦模擬計算，可提供選手與教練球體飛行的軌跡等。顯然，科技運用於運動訓練已逐漸成為現今體壇的趨勢，並解決過去訓練的限制。

表 2-1 投擲動作之各關節運動學與肌肉活化相關文獻整理

類別	作者	目的	方法	結果	結論
	Luera et al., (2020)	探討不同層級選手投擲之髖關節動作差異與離手球速相關性。	透過高速攝影機進行拍攝。	職業組相較一般組球速相對快，且髖關節呈現相對大的屈曲角度與較快的角速度，且亦出現較快的髖關節旋轉，並與球速有顯著正相關。	專業選手與一般選手投擲過程中整體動作具有顯著的不同，其原因可能為經驗差異所造就。
	Aguinaldo et al., (2020)	釐清肩與肘關節之力矩。	透過感應功率分析法 (induced power analysis) 評估棒球過肩投擲時之肘關節扭矩 (torque)。	投擲時最大肘部外翻扭矩為 73 ± 20 N，且約有 86%是由於軀幹運動引起的。	軀幹動作為影響肘部扭矩和球速度的關鍵因素。

Fasbender et al., (2020)	探討手臂質量對揮臂速度的影響。	透過電腦建模的方式，模擬手臂質量增加對投擲球速的影響。	當前臂質量增加，會導致投擲之球速降低，反觀上臂質量增加，則會幫助提升離手球速，同時亦發現最佳的上臂質量為 5 至 6 公斤，明顯重於一般成年人(2.1 公斤)。	上臂肌肉質量為影響投擲速度的關鍵因素之一。
Oyama et al. (2014)	探討不同棒球投擲動作之運動學差異。	透過攝影機拍攝。	姿勢不正確的選手有相對於姿勢正確的選手更大的肩關節外旋角度，顯示姿勢不正確的選手使用軀幹旋轉的比例相對少，反觀整體過程中多半以肩關節施力。	軀幹動作優劣為增加肩關節受傷機率的重要因素。
Jalilian et al., (2014)	釐清空氣阻力與轉速間的關係	透過電腦模擬計算以固定空氣阻力與上升力。	不論任何球體轉速皆與空氣阻力與上升力有顯著的相關性。	空氣阻力為影響球體轉速的重要因素。

關節角度	Kageyama, Sugiyama, Takai, Kanehisa, & Maeda. (2014)	釐清投擲動作之軀幹與下肢關節的特徵。	透過肌肉骨骼模型與逆動力學計算投擲動作之軀幹與下肢關節角度差異。	軸心腳 (後腳) 為提供身體向前移動的能量來源，跨步腳 (前腳) 則是將向前及垂直的動量轉換成旋轉要素，扮演固定 (anchor) 的角色。	投擲技巧中下肢為重要的能量驅動來源與固定的角色。
	Wagner et al., (2011)	釐清頂尖手球選手於投擲過程中髖關節變化與離手球速的關係。	透過高速攝影機進行拍攝。	髖關節旋轉與向前屈曲的最大角度、角速度與離手球速呈現高度正相關。	髖關節屈曲角度與角速度為影響離手球速的重要因素。
	Oliver et al., (2018)	釐清青少年女性壘球投擲之軀幹髖關節與球速之間的關係。	使用電磁跟踪系統收集運動數據。	年齡、身高、軀幹髖關節、跨步距離、釋放球點皆與離手球速有正相關。	髖關節動作為主要影響離手球速之主因。

湯文慈等（2009）	釐清上肢關節角度與球速之間的關係	透過高速攝影機進行拍攝。	只有肩關節伸展在角速度 500 和 300°/s 與球速有顯著正相關；達顯著負相關的有肘關節 360°/s 屈曲、腕關節 150 與 210°/s 屈曲；其餘皆無顯著相關。	加肩關節伸展方向肌力（如胸大肌、闊背肌等）可能有助於球速表現。而部分受測者可能太過著重肘、腕關節屈曲肌力之訓練，導致空有高肌力而無快球速之結果。
邱文信等（2019）	釐清六週過肩投擲訓練之訓練效益。	透過高速攝影機進行拍攝。	練習後離手球速、各關節最大角度與角速度，除髖關節外，均顯著優於練習前。此外，練習後離手球速與上肢腕、肘關節之最大角度與肘關節、雙腳膝關節最大角速度皆達顯著的正相關。	經訓練後各關節角度與角速度有顯著的提升，且與離手球速有著正相關。
Wang et al. (2016)	釐清伸腕肌與屈腕肌疲勞時，投	透過高速攝影機與表面肌電儀在肘關節屈曲度	肩關節伸展在角速度 500 和 300°/s 與球速有顯著正相關，肘	伸腕肌與屈腕肌活化的主要作用為提升肘關節的穩定。

	擲棒球對肩關節角度的影響	45°，90°和 120°時蒐集運動學與肌肉活化參數。	關節 360°/s 屈曲、腕關節 150 與 210°/s 屈曲達顯著負相關。	
Calabrese (2013)	釐清投擲動作各分期之肌肉活化差異。	將投擲動作之肌肉活化差異相關研究進行文獻整理。	球體離手前腕關節仍處於伸展狀態，球離開手後順勢有屈曲動作，此時屈腕肌等有適當活化，而在肱二頭肌與伸腕肌，則有較低的肌肉活化。	在球體離手瞬間，主要依靠屈腕將球釋放。
Smidebush et al., 2019	比較快速直球與曲球之上之肌肉活化差亦。	透過表面肌電儀與高速攝影機同步收取動作過程中所產生之上肢與下肢肌肉活化參數。	投擲快速直球之上肢肱肱二頭肌、肱三頭肌肌、上斜方肌、下斜方肌、腓腸肌和股二頭肌肉活化顯著高於曲球。	投擲快速直球有別於曲球之肌肉參與程度。

肌肉活化	Kuhtz-Buschbeck, & Keller, (2019)	比較慣用手與非慣用手飛鏢投擲之上肢肌肉活化差異。	使用表面肌電儀收取上肢肌肉活化參數。	慣用手與非慣用手飛鏢投擲時，上肢前三角肌、肱二頭肌和肱三頭肌肌肉活化無明顯差異，僅後三角肌有顯著差異。	慣用手與非慣用手飛鏢投擲時，上肢肌群肌肉活化類似，僅後三角肌有差異。
	Wang et al., (2016)	探討疲勞後投擲棒球對伸腕肌與屈腕肌之肌肉活化差異。	透過表面肌電儀與高速攝影機同步收取動作過程中所產生之伸腕肌與屈腕肌肌肉活化參數。	在肌肉疲勞後屈腕肌之肌肉活化顯著增加。	疲勞後屈腕肌之肌肉活化增加主要為提供晚關節保持穩定。
	邱文信(2010)	比較參與者棒球投擲時上肢肌群肌電起始與最大肌電值差異。 比較過肩投擲上	使用表面肌電儀與高速攝影機收取不同距離投擲之上肢肌肉活化差異。	在三種不同距離的肱二頭肌、斜方肌、闊背肌在目標距離爲 20 公尺時激發時間顯著早於 10 公尺，各肌群起始激發順序會因距離改變而產生次序變化，起始激發時	20 公尺的肌群活化時序比其他目標距離更符合動力由下肢產生經由轉腰、肩關節、肘關節到腕關節的動力鏈傳遞過程。

	肢肌群之肌肉活化在不同目標距離下激發時間及次序是否有差異。		間則有隨著距離增加而提早激發的現象；伸橈肌、斜方肌爲較早開始活化的肌群，闊背肌隨著距離的增加，活化的次序有提前激發的現象。	
劉于詮等（2005）	探討手榴彈投擲對上肢肌肉活化的差異。	透過高速攝影機與表面肌電儀在肘關節屈曲度45°，90°和 120°時蒐集運動學與肌肉活化參數。	投擲過程減速期時，闊背肌與斜方肌也會有明顯肌肉活化，進而維持肩胛骨穩定降低肩膀向前拉扯的力量。	闊背肌與斜方肌在投擲減速期時扮演著重要角色。

表 2-2 球體轉速相關文獻整理

作者	目的	方法	結果	結論
Texier et al., (2016)	以物理學的角度釐清造成棒球球體轉速差異的原因。	透過文獻匯整伯努利的原理進行探討。	風的阻力迫使球體飛行過程中會產生球體軌跡的變化。	主因為伯努利定律所造就。
Jinji et al., (2006)	釐清影響棒球球體轉速的原因。			可透過電腦模擬的方式，以雷諾數、旋轉速度對球的升力和阻力係數的影響找出影響球體轉速的主因。
Matsuto, et al., (2000)	釐清四分之三投球動作與球體轉速之間的關係。	透過高速攝影機與電腦模擬進行探討。	球體的轉速可由特定指標作為球體軌跡變化之依據。	轉速的差異主要來自手指的變化。
Hore, Watts, & Martin. (1996)	釐清投擲動作中手指變化對球體轉速的影響。			轉速的快慢主要取決於手指屈曲的角速度。

Chin et al. (2009)	釐清下臂對保齡球球體轉速的影響。		認為球體轉速與選手的上肢(肩關節、肘關節與腕關節) 有關。	造成保齡球球體轉速不同的主因為上肢肩關節的伸展與屈曲角度。
Sakurai et al., (2012)	探討不同球路網球球體轉速的差異。		發現平球、切球與截球三種球路下球體轉速皆不同	無論發球類型為何,球體的旋轉軸和球的速度向量都接近於垂直方向。
Higuchi et al., (2012)	釐清棒球球體轉速差異主要的原因。	透過粒子圖像測速技術分析棒球球體縫線與風阻之間的關係。	棒球球路的改變是由選手手指屈曲所造成,配合球體縫線產生出不同的球體軌跡。	粒子圖像測速技術可順利分析球體轉速之變化。
Bahill et al., (2007)	探討影響棒球球體轉速之主因。	透過物理學角度加以推論。	飛行中的球主要受到一、地心引力;二、空氣阻力或上升力;三、垂直方向的分力的影響。	球體轉速的變化與物理息息相關。
Adair. (2002)	釐清不同縫線對球體轉速之影響。	透過高速攝影機進行拍攝。	透過手指持握縫線的方式差異而導致球體軌跡有所不同。	主要的特點為球體會「後旋」,且與自由落體相比有極大的上升力。

Matsuo et al., (2018)	釐清手指屈曲角度與施力狀況對球體轉速的變化。		發現近端和遠端指間關節持續延伸直到球釋放的瞬間會產生屈曲的動作，且手指的勁度增加，且選手平均在球上施加了195±27 N 的垂直壓力，在投擲方向（水平）平均施壓了 109±22 N。	手指屈曲角度與手指壓力為造就球體轉速差異的主因。
Wang et al., (2013)	釐清投擲時手指變化與球體飛行的關係。		近端指間關節在加速階段的後半部分開始伸展，同時做出肩關節最大外旋動作，直到球釋放的瞬間結束，近端指間關節在釋放球的瞬間迅速彎曲。	肩關節最大外旋動作為影響球體轉速的重要因素，其次為手指之屈曲角度。
Cross. (2019)	探討棒球轉速之測量方式。	透過物理學的角度加以推測。	球體旋轉軸傾斜時，要計算滾動球上任意赤道線的運動並不容易。	若球體繞水平軸以恆定速度在水平面上滾動，則角速度很容易測量，而球圍繞垂直軸

			旋轉而額外投射，則旋轉軸會傾斜，因此很難測量旋轉速度。
Aguirre-López et al. (2018)	建立球體轉速測試系統。	將球體飛行時產生的球速與轉動的角速度，透過此系統可精準的計算出球體飛行的軌跡。 電腦模擬的方式重建球體飛行軌跡。	透過電腦計算與模擬，可精準的測得球體轉速。

表 2-3 手指壓力與握力於運動過程中之功能整理

作者	目的	方法	結果	結論
Kinoshita et al., (2017)	釐清投擲過程中各手指之壓力與加速度差異。	透過自行研發之手指壓力測量儀與穿戴式裝置。	食指、中指、無名指與拇指的手指加速度與壓力值，發現在球體離手瞬間食指與中指分別產生 38-39ms 和 6-7ms 的加速度，且兩指有約略 97N 的壓力，此外無名指和拇指分別產生大約 50N 和 83N 的壓力，食指和中指的剪力在釋放前的 4-5ms 處形成了明顯的峰值，該峰值總計為 102N 的壓力，且比對後發現手指壓力與球速呈現正相關。	投擲動作過程中，球體離開手指瞬間主要以食指與中指進行。

Tajika et al., (2015)	釐清手指握力與身體素質間的關係。	透過握力計與身體各參數進行比對，以釐清握力與身體素質間的關係。	慣用手握力顯著高於非慣用手，且與身高、體重、身體質量指數(BMI)、上肢肌力與脂肪量皆有顯著正相關。
王又德等（2016）	透過文獻回顧的方式探討手指持握高爾夫球桿時，手指壓力的差異對揮桿與推桿穩定度的影響。	彙整持握高爾夫球桿之手指壓力相關文獻，進行統整。	持握的壓力皆會影響揮桿及推桿之擊球表現，球員在揮桿時持握的壓力普遍較高，且不同層級的選手在揮桿過程中，持握球桿的壓力並無明顯差異，然影響擊球穩定主要為擊球瞬間手部持握球桿的壓力變化所導致。
蔡明章等（2010）	釐清不同握筆方式撰寫時之手指壓力差異。	黏貼光纖光柵的鉛筆來撰寫，經 LabVIEW 輸出數據，再以 Excel 分析統	寫不同字形時，不論任何姿勢手指與拇指壓力最大。

欲提升擊球之穩定度，則需著重於擊球瞬間手指保持一定的持握壓力，以提升擊球之穩定度。

認為握筆時主要透過手指與拇指操控撰寫時的方向與節奏。

		整，並輸出圖形顯示手指受力變化。		
張鈺雪等（2015）	釐清羽球選手持握羽球拍擊球時之手指壓力的差異。	透過手指壓力感測器(Grip 4255N)收取羽球選手持握羽球拍擊球時之手指壓力。	中指、食指、小指、二至四掌骨、無名指及第一掌骨的最大力量產生在擊球瞬間前的揮拍期，第五掌骨則因球拍擠壓作用在擊球後產生最大力量，各指節在跟隨期時產生第 2 高峰力量，以穩定球拍。	中指、食指、無名指及小指在擊球過程中扮演控制產生力量及穩定球拍的重要角色。
Lupo. (2015)	釐清手指握力與罰球命中率的關係。	透過握力計測得選手之握力，再與投籃命中率進行比對。	發現手指的握力與投籃命中率有正相關。	握力的訓練可維持選手於罰球時之命中率。
Balas et al., (2012)	透過握力計釐清攀岩選手之握力與攀岩速度差異。	釐清攀岩選手之握力與攀岩速度差異。	手指力量越大的攀岩選手於攀岩時之速度越快。	手指肌力為提升攀岩速度的重要指標。

Mitchell et al., (2011)	釐清性別、身體素質與握力對攀岩速度之影響。	將上肢個肌群之肌力、身高、臂展、體重、身體質量指數、脂肪量、握力與攀岩實踐進行相關性的比對。	各肌群之肌力、手指握力與攀岩速度達顯著正相關。	欲提升攀岩之速度，則需增加個肌群之肌力與手指握力。
Hung et al., (2017)	釐清籃球投籃時，走指壓力之分布	透過自行研發之智慧指壓手套,於投籃過程中收取各指節之壓力。	投籃瞬間以食指的壓力最大。	在投籃瞬間主要使用食指來控制力量與方向。

表 2-4 現今棒球投擲訓練之相關文獻整理

作者	目的	方法	結果	結論
葉益銘等（2010）	六週的抗力球訓練對棒球選手核心肌群及專項運動表現的影響	棒球選手隨機分為重量訓練組與抗力球兩組，每位選手平常進行每週3次的傳統器械式重量訓練，因此重量訓練組依然維持每週 3 次的傳統器械式重量訓練，而抗力球組則將重量訓練改為每週 3 次的抗力球訓練，兩組除重量訓練和抗力球訓練不同外，其於訓練皆維持相同，在抗力球訓練介入前與六週抗力球介入後檢測兩組選手之核心肌群的肌耐力及棒球基本專項運動表現。	六週的抗力球訓練對高中棒球選手核心肌群的肌耐力及棒球基本專項表現與傳統器械式重量訓練的效果相同。	若在空間不竹的狀況下，建議可採用抗力球訓練。

葉益銘等（2009）	探討抗力球訓練對棒球選手核心肌群及專項運動表現的影響	以國中棒球運動員，隨機均分為實驗組與控制組進行抗力球訓練，實驗前以擲遠、投球球速、跑壘速度、仰臥起坐與俯臥躬身進行前、後測。	實驗組在投球球速、仰臥起坐與俯臥躬身皆有進步。	棒球訓練中使用抗力球進行訓練，可增進棒球選手之技術表現。
楊明達等（2006）	探討藥球訓練對上肢肌力的影響	棒球員為對象分成藥球組及控制組，兩組在實驗期間除接受正常的棒球訓練外，藥球組另外進行每週 3 次的藥球訓練。	經訓練後，藥球組除了下拉動作的肌力外，上半身肌力均有顯著提升	建議在訓練棒球選手時，除進行常規訓練外，可再增加藥球訓練，以提升選手之上肢肌力。
Szymanski, et al., (2004)	探討前臂肌力訓練對上肢肌力的影響。	以高中棒球選手為受試者，並在常規訓練後額外進行槓鈴腕關節屈曲、握力與握推等肌力訓練，並在每 4 週後調整運動強度，為期 12 週。	可顯著提升伸腕肌與屈腕肌之肌力。	透過漸進式的調整訓練計畫，可增進伸腕肌與屈腕肌之肌力。

Escamilla et al., (2012)	探討不同肌力訓練方式，對增進投擲球速的影響。	將高中生隨機分成控制組、增強式訓練組、投擲訓練組與氣壓式阻力訓練組共四組，事先進行投擲之前測，並記錄三組之投擲球速，經六週訓練後進行後測實驗。	投擲組增加了 1.7%球速、氣壓式阻力訓練組增加了 1.2%球速，增強式組增加了 2.0%，而對照組則無顯著差異，顯示三種訓練方式皆可增進投擲球速，但增強式訓練組效益最高。	建議欲增加選手投擲球速可以增強式訓練進行，需至少為期六週訓練週期。
Van den et al., (2013)	探討不同藥球訓練介入對投擲球速之差異。	將國中生分為對照組、輕度藥球組與中度藥球組共三組，訓練前事先測驗投擲球速，在依各組之訓練量進行為期六週的訓練，而後再進行後測。	藥球可增進投擲的球速，但中度藥球組更為顯著。	採用一定重量的藥球進行訓練，可顯著增進投擲球速。
Yang et al., (2013)	探討不同棒球重量投擲訓練對上肢投擲動作的影響。	將棒球選手分為輕量組 (4.4 ounce) 與正常重量組 (5 ounce)，在介入訓練前統一進行投擲動作	輕量組於手臂擺動的速度與投擲球速皆顯著快於正常重量組。	採用相對輕的棒球進行投擲訓練，可降低產生運動傷害的風險，亦可提升揮臂速度。

Hermassi et al., (2015)	不同訓練形式對棒球選手投擲球速的影響。	的前測，再依各組介入為期十週的投擲訓練，再進行後測。 將選手分為對照組、阻力訓練組、常規投擲訓練組，共三組。進行為期八週藥球訓練，再訓練前進行手臂肌力與投擲球速的評估作為前測。	阻力訓練增加了上肢最大力量與投擲球速，而常規投擲訓練組僅增加了最大力量，對照組則皆無顯著差異。	阻力訓練可增進投擲球速。
Lee et al., (2016)	探討核心肌力訓練對棒球選手投擲表現的影響。	於常規訓練後額外增加核心肌群訓練，再以投擲準度進行測驗。	選手於一般常規訓練後再介入核心訓練，確實可增進投擲的球速。	強化核心肌群的訓練有利於提高棒球選手的投擲準確性。
Freeston, & Rooney. (2008)	探討高中板球選手在一般訓練後額外增加投擲訓練，比對	將板球選手分為控制組與實驗組，兩組於訓練前先進行前測，而後控制組維持在常規訓練，實驗組額外再介入八週漸進式的投擲準度訓練。	實驗組顯著增進了球速，而控制組則無顯著差異。	

	投擲之最快球速與準確性。		
	持握不同棒球重量對投擲球動作與球速的影響。	於常規訓練中介入不同重量的棒球，進行投擲訓練。	實驗組球速顯著高於控制組，且實驗組肩關節顯著提升了 4.3°。 使用不同重量的球體進行訓練，可提升投擲球速。
Astorino et al., (2011)	探討核心肌力訓練對大學棒球選手投擲球速的相關性。	於常規訓練中介入藥球訓練。	核心肌群之肌力與投擲球速有正相關，此外，軀幹屈曲角度顯著大於訓練前，體重與身體質量指數顯著低於訓練前。 核心肌力訓練為擬定棒球投手訓練計畫的重要項目之一。

表 2-5 科技運動於棒球訓練之相關文獻整理

作者	目的	方法	結果	結論
Oliver et al., (2019)	驗證棒球投擲遊戲與實際棒球投擲動作之肌肉活化差異。	以 14 名青年棒球選手透過棒球投擲遊戲，比對實際投擲之軀幹背闊肌、下斜方肌、上斜方肌、鋸齒肌與下肢雙側臀中肌之肌肉活化差異。	投擲遊戲中所產生之肌肉活化與實際投擲類似，且在不同球種下 (曲球與快速球) 之肌肉活化亦無明顯差異。	棒球遊戲可作為棒球投擲練習之輔具。
Bai & Hsies. (2019)	透過穿戴式裝置協助判斷棒球投擲訓練。	將投擲過程中慣用手腕關節之穿戴式裝置透過藍牙進行傳輸，將記錄的數據與預設閾值進行比較。	透過三軸穿戴式裝置可判斷投擲動作之優劣。	教練可以要求選手將運動或姿勢調整為更準確的設置，以達到訓練目標。
Hiroyuki et al., (2019)	透過自製棒球瞭解快速直球與曲球之轉速差異。	將三軸陀螺儀安裝至棒球球心中，透過陀螺儀測得棒	投擲直球時，平均轉速在 12.56 rps，投擲曲球時 19.22 rps。	隨著球體向對於投手的距離增加轉速則下降，推

		球選手投擲直球與曲球之轉速。		測主因為空氣阻力所導致。
Jack et al., (2018)	驗證 Omegawave 系統監控半球選手訓練運動強度之可行性。	招募兩組棒球選手，實驗組於訓練時全程穿戴 Omegawave 系統監控訓練之運動強度，並隨著狀況進行訓練強度的調整，控制組則未介入任何穿戴式裝置監控訓練之運動強度。	全程穿戴 Omegawave 系統監控訓練之運動強度，可幫助選手於正式比賽時有良好的運動表現。	建議選手在進行棒球訓練時，可穿戴。Omegawave 系統監控訓練之運動強度，來提升運動表現。
Lizzio et al. (2020)	確認穿戴式裝置可否協助測得棒球選手於投擲過程中，肘關節扭矩、手臂出手速度、肩部旋轉和球體速度。	透過穿戴式裝置判斷快速直球與曲球之肘關節扭矩、手臂出手速度、肩部旋轉和球體速度。	投擲快速直球時，肘部內側扭矩明顯高於投擲曲球中的肘部扭矩 (p = .001)。	與曲球相比，快速直球在肘部內側施加的扭矩要大得多。

Shibata et al., (2019)	確認自製之智慧球棒可用性。	透過安裝至棒球球棒上的三維傳感器與演算法，計算出棒球選手揮棒的軌跡。	三維傳感器所測得之加速度與實際揮棒之加速度具有誤差 (8.91 km/h) 。	透過演算法可將誤差值修復，因此認為此系統可精準的評估棒球揮桿動作，包含動作跟隨階段。
Ijiri et al., (2017)	驗證以市售攝影機與演算法計算棒球轉速的可行性。	透過市售攝影機與演算法，計算投擲時球體轉速。	此方式有一定的參考價值，但由於實驗中所投出的球體轉速較低，且目前無法分辨四縫線與二縫線之差異。	目前無法分辨四縫線與二縫線之差異，故後續還須進一步證實此方式的可行性。

第參章 研究方法

本研究期望從運動控制的觀點釐清一、不同層級選手投擲快速直球，球速、轉速、上肢伸腕肌、屈腕肌、手背第一至第四背側骨間肌肌肉活化差異。二、不同層級選手投擲快速直球時，上肢伸腕肌、屈腕肌、手背第一至第四背側骨間肌肌肉活化和球體球速、轉速與加速度的相關性。研究架構，如圖 3-1。

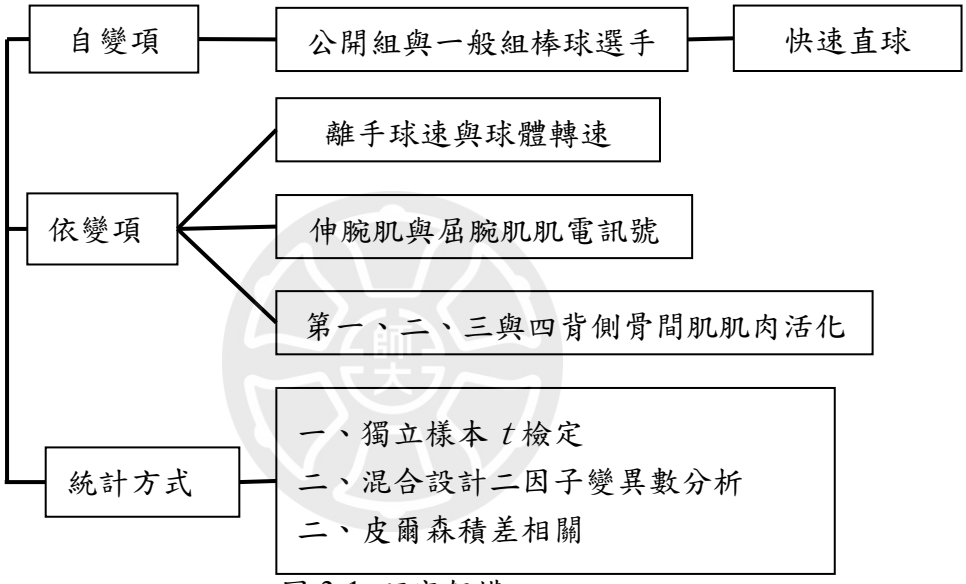

圖 3-1 研究架構

一、實驗受試者

隨機招募具有正規棒球投擲訓練至少 2 年以上的 12 名大專公開組棒球選手為實驗受試者並定義為優秀組 (年齡：19.18 ± 1.08 歲；身高：178.42 ± 6.28 公分；體重：78.01 ± 13.23 公斤；球齡：6.08 ± 1.8 年；球速：118.79 ± 5.58 km/h 與轉速：1908.83 ± 175.07 rpm)，與具有一年以上從事棒球運動之 12 名大專生定義為一般組 (年齡：24.23 ± 3.92 歲；身高：176.42 ± 5.11 公分；體重：72.41 ± 8.62 公斤；球齡：2.04 ± 1.2 年；球速：77.67 ± 9.01 km/h 與轉速：1183.08 ± 191.55 rpm)，兩組半年內皆無重大上、下肢肌肉骨骼相關傷害，投擲之慣用手皆為右手，且為預防實驗過程中有掉球現象，因此篩選之

受試者需能以慣用手，單手持握棒球完成整體投擲動作 (邱文信，2010)。受試者在參加實驗前，已被充分告知研究目的、實驗流程、練習內容及可能發生的危險，且保有說明研究結果與中途放棄的權利，經受試者同意後簽署知情同意書，本研究經國立清華大學倫理試驗委員會審查通過。

二、儀器設備

(一)、無線表面肌電儀 (Delsys, free EMG, USA) 與三軸傳感器

透過無線表面肌電儀 (2000Hz)、內建三軸傳感器與同步訊號盒（圖 3-2）將訊號接收器以專用雙面膠黏貼於受試者慣用手伸腕肌、屈腕肌、第一至第四背側骨間肌（圖 3-3），可測得整體投擲過程中之肌肉活化狀況，並將收取來之原始肌電數據做 20-450Hz 的帶通濾波 (band pass filter) 處理，進行全波整流 (full wave rectification)，最後以截止頻率為 10 Hz 的低通濾波 (low pass Filter) 作平滑化處理，求得肌電訊號的線性封包 (linear envelope)，之後進行均方根 (root mean square, RMS) 運算程序，得到均方根肌電 (RMS-EMG)，除以時間後再與最大自主等長收縮 (maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 的均方根肌電進行標準化，可得各肌群之肌肉活化。此外，透過三軸傳感器可測得加速度、角速度並換算出角速度，釐清不同層級選手投擲動作過程中各肌群肌肉活化與運動學的差異。

圖 3-2 無線表面肌電儀與內建傳感器

圖 3-3 第一至第四背側骨間肌肌電儀黏貼方式

(二)、智慧棒球

智慧棒球採用美國專業棒球縫線規格(周長 22.9 公分-23.5 公分；重量：141.8 g-148.8 g；外表材質：全牛皮；球心材質：橡膠、木材；材質縫線：聚酯纖維混合棉、純棉)，可偵測轉速、轉軸、球速、軌跡與落點的資料，提供教練和球員進行數據分析，精準了解訓練狀況（STRIKE 官方網站，2020)。本研究以智慧棒球投擲瞬間所產生之球速與轉速，作為判定不同層級手優劣的指標。智慧棒球如圖 3-4。

圖 3-4 智慧棒球 (引用於 STRIKE 官方網站，網址：

https://tw.shop.jingletek.com/products/strike-smart-baseball)

(三)、高速攝影機

本研究透過高速攝影機 (CASIO EX-F1, Japan, 200Hz；660 萬像素； 1/1.8 吋感光元件；最大解析度 2816 x 2112；體積為 127 x 79.6 x 130.1 mm) 於實驗時進行攝影，為了減少分析時手動所造成的誤差，則將收取來之 6 筆運動學影片，透過同一位研究員利用影片剪輯軟體 (Windows movie maker, Windows 10, Microsoft, USA)，擷取後擺期至加速期前，非慣用側腳最後一步著地至減速期球體離手，前、後各預留 1 秒，確定影片長度後將影片裁剪，作為投擲動作分期之依據，高速攝影機，如圖 3-5。

圖 3-5 高速攝影機

三、實驗流程

本研究實驗目的為從動作控制的觀點釐清不同層級選手於投擲過程中，上肢肌肉活化與比對不同層級選手投擲快速直球時，手部肌肉活化、球速與轉速的差異。為避免外在環境干擾而增加實驗工作困難度與降低實驗參數之誤差率，所有實驗皆於室內體育館進行（邱文信等，2019)。實驗開始前，由同一研究員統一說明實驗流程，接著每位受試者統一進行 15 分鐘的上、下肢動態熱身，而後由研究員將受試者進行編號，並請受試者於休息區等候。場地布置方面，以紅色膠帶於體育館地板黏貼一矩形（長 2 公尺，寬 1 公尺）作為投擲區，於投擲區矢狀面架設一台高速攝影機（距離：2 公尺、高：1.6 公尺)，並在投擲區起始處模擬投手丘至捕手距離以皮尺於正前方量測 18.4 公尺，並架設

一打擊練習網（長 1.53 公尺，寬 1.70 公尺）避免球體因撞擊後損壞，並在網面中心處以白貼黏一矩形（長 1 公尺，寬 1 公尺）作為兩組受試者投擲目標區 (Wang et al, 2013)（場地布置，如圖 3-6）。而後依優秀組與一般組編號請受試者分別清除慣用側伸腕肌、屈腕肌、第一至第四背側骨間肌之皮膚表面毛髮與角質，並由同一研究員將肌電訊號接收器黏貼至各肌肉肌腹位置，以白貼統一綑綁三圈，接著進行徒手測試實驗參與者最大自主等長收縮 (maximal voluntary isometric contraction, MVIC)，統一 3 秒 3 次，再站立於投擲區。

正式實驗由兩組受試者依序進行快速直球的投擲，過程中統一持棒球練習投擲 3 球。並由兩研究員分別確認同步訊號燈可順利亮起，且無線表面肌電儀與高速攝影機皆能確實收取到數據。實驗開始時，由操控無線表面肌電儀內建傳感器的研究員統一發號施令，當受試者聞「開始」後，同時觸發同步盒訊號啟動按鈕，當燈亮起時受試者統一揮動手臂 1 次，相隔一秒後，以最大努力進行快速直球投擲，同時以測速槍捕捉離手球速，並收取成功投擲入目標區之 3 次，試過程中皆由同一位研究員於受試者右側使狀面與正後方，確定受試者在投擲過程中肌電訊號接受器皆未脫落，且雙腳皆未超過投擲區起始線，並以測速槍 (Bushnell Velocity Speed Gun B0002X7V1Q, USA) 記錄正中投擲目標區之 3 次球速，作為有效數據之判定依據，完成實驗。實驗流程，如圖 3-7。

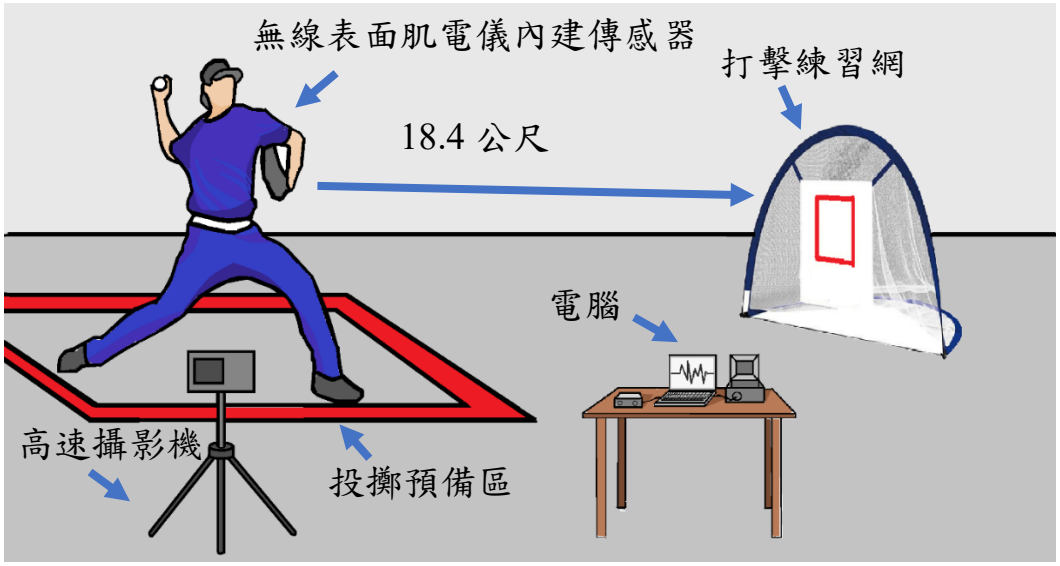

圖 3-6 場地布置

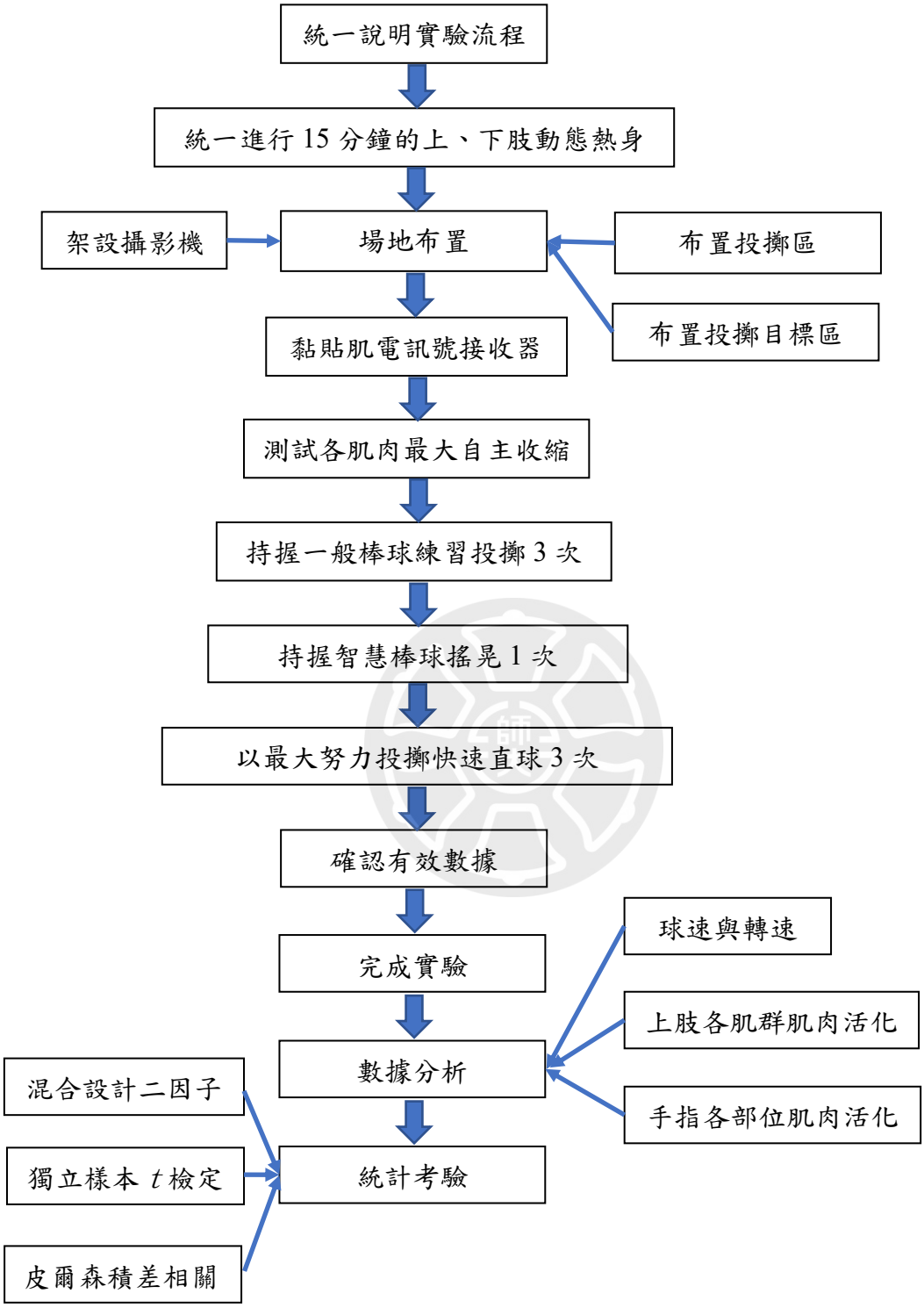
統一說明實驗流程
統一進行 15 分鐘的上、下肢動態熱身
架設攝影機
場地布置
布置投擲區
布置投擲目標區
黏貼肌電訊號接收器
測試各肌肉最大自主收縮
持握一般棒球練習投擲 3 次
持握智慧棒球搖晃 1 次
以最大努力投擲快速直球 3 次
確認有效數據
完成實驗
球速與轉速
上肢各肌群肌肉活化
數據分析
手指各部位肌肉活化
混合設計二因子
獨立樣本 t 檢定
統計考驗
皮爾森積差相關

圖 3-7 實驗流程

四、資料處理

（一）、球速與轉速

將測速槍測得之離手球速加以紀錄，透過 EXCEL 進行描述性統計，以利後續進行兩組之比較。轉速部分透過轉速測試馬達事先與智慧棒球進行比對，釐清轉速測試馬所設定之轉速與智慧棒球所呈現之轉速的相關性。再將受試者持握智慧棒球，投擲離手達到目標物所測得之球體轉速，並以當下顯示在手機 APP (Application) 上之轉速為依據，再透過 EXCEL 進行描述性統計，以利後續進行兩組之比較。

（二）、無線表面肌電儀（肌肉活化）

透過高速攝影機 (CASIO EX-F1, Japan, 200Hz) 於實驗時進行時所拍攝的影片作為動作分期依據，為了減少分析時手動所造成的誤差，則將收取來之 6 筆運動學影片，以同一位研究員利用影片剪輯軟體 (Windows movie maker, Windows 10, Microsoft, USA)，擷取後擺期至加速期前，非慣用側腳最後一步著地至減速期球體離手，前、後各預留 1 秒，確定影片長度後將影片裁剪，以離手球速與轉速最高速的 1 筆資料進行分析。再比對同步加速規所呈現的峰直，將收取來之投擲離手瞬間伸腕肌、屈腕肌、第一至第四背側骨間肌原始肌肉活化參數，透過投擲前手臂晃動時，同步加速規所收取來之振動幅度為時間軸起始點依據，紀錄後擺期至加速期前，非慣用側腳最後一步著地手臂肩關節呈現最大角度時之時間點，同時比對拍攝之運動學影片時間軸擷取後擺期至加速期前，非慣用側腳最後一步著地至減速期球體離手，前、後各預留 1 秒，確定影片長度後以 EMG works 軟體比對離手瞬間手腕保持直立至離手後腕關節最大伸展角度時所產生的電壓值進行裁減（圖 3-8），並做 20-450Hz 的帶通濾波 (band pass filter) 處理，進行全波整流 (full wave rectification)，最後以截止頻率為 10 Hz 的低通濾波 (low pass Filter) 作平滑化處理，求得肌電訊號的線性封包 (linear envelope)，之後進行均方根 (root mean square, RMS) 運算程序，得到均方根肌電 (RMS-EMG)，除以時間後再與各條肌肉之最大自主等長收縮 (maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 的均方根肌電進行標準化

(%)，作為優秀組與一般組投擲動作過程中上肢肌肉活化差異之參考依據。

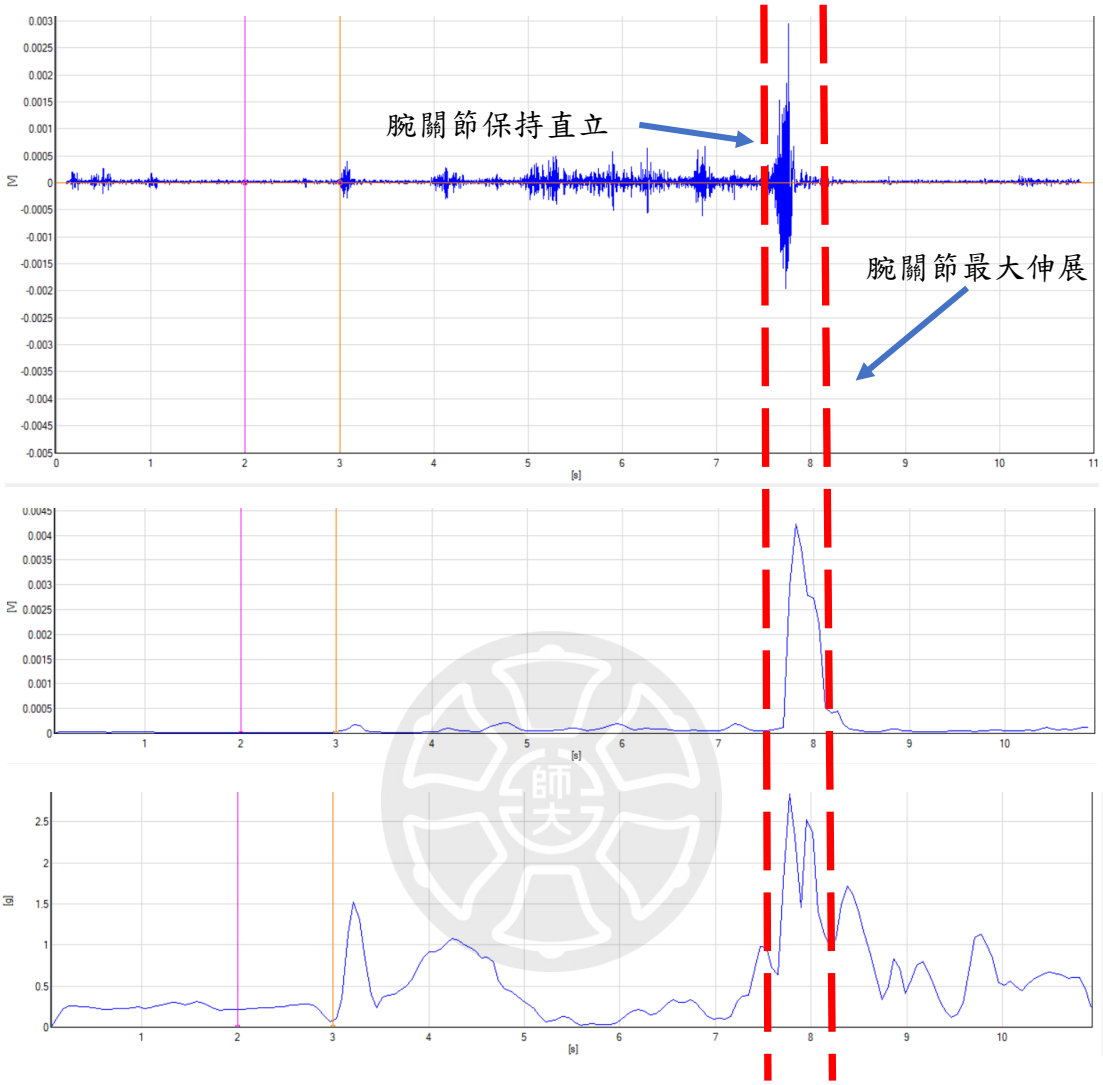

圖 3-8 肌肉活化分析裁剪方式（上圖為肌電原始訊號；中圖為分析過化之肌電訊號；下圖為同步水平軸向加速規訊號）

五、統計方式

透過 IBM SPSS 23.0 將轉速測試馬達所設定之轉速與智慧棒球所呈現的轉速先進行皮爾森積差相關 (pearson product-moment correlation coefficient) 檢驗，再進行回歸分析 (Regression Analysis)。確定智慧棒球所呈現的轉速正確性。再以測速槍所測得之球速為基準，將優秀組與一般組球速與轉速以獨立樣本 *t* 檢定 (Independent Sample t test) 進行考驗比較兩組差異。接著使用混合設計二因子變異數分析 (two-way. ANOVA, mixed

design) 考驗伸腕肌、屈腕肌、手背第一至第四背側骨間肌之肌肉活化差異，若達顯著再以杜凱 (Tukey) 進行事後比較，用以避免犯第一類型錯誤 (Type I error)，顯著水準訂為 a =.05。再將優秀組與一般組球速與轉速、各肌群肌肉活化與離手球速與轉速進行皮爾森積差相關，藉此釐清不同層級選手投擲動作與離手球速、轉速之相關性，顯著水準訂為 a =.05。

第肆章 結果

本研究將結果分為一、優秀組與一般組投擲快速直球球速與轉速差異；二、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化差異；三、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化與球速、轉速相關性。

一、優秀組與一般組投擲快速直球球速與轉速差異

透過測速槍所測得之離手球速與智慧棒球所測得之轉速，以獨立樣本 *t* 檢定檢驗後由表 4-1 發現，優秀組在投擲快速直球時，球速顯著高於一般組 ($t = 16.067$； $p = .001$)。此外，轉速亦顯著高於一般組 ($t = 9.691$； $p = .001$)，表示優秀組不論在球速亦或者轉速皆優於一般組。

表 4-1 優秀組與一般組離手球速與轉速差異摘要表 ($n = 24$)

	優秀組	一般組	*t* 值	*p* 值
球速區分 (km/h)	124.58 ± 4.58	77.67 ± 9.01	16.067	.001*
轉速區分 (RPM)	1908.83 ± 175. 07	1183.08 ± 191.55	9.691	.001*

註：*$p < .05$

二、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化差異

本研究將優秀組與一般組投擲 3 次快速直球後，擷取離手球速最快與轉速最高所產生之肌肉活化進行考驗（表 4-2） 結果發現不同層級因子未達顯著差異 ($p = .623$)(圖 4-1)、肌肉活化因子達顯著差異 ($p = .012$)；兩者交互作用亦達顯著差異 ($p = .932$)，因此進行組內肌肉活化杜凱事後比較。經由事後比較後得知（圖 4-2)球速方面，不論是優秀組或一般組皆為第一背側骨間肌顯著大於第三背側骨間肌，其餘肌群則未達顯著差異。

以轉速區分後結果發現，不同層級因子達顯著差異 ($p = .331$)、肌肉活化因子達顯著

差異 (p=.013)，交互作用未達顯著差異(p=.818)。經由事後比較後得知（圖 4-2），組間兩組皆無顯著差異。組內部分，優秀組第二骨間背側肌顯著大於第三骨間背側肌；第四骨間背側肌顯著大於第三股間背側肌；伸腕肌顯著大於屈腕肌。然而一般組皆無顯著差異。

表 4-2 優秀組與一般組肌肉活化差異摘要表

	組別	第一背側骨間肌	第二背側骨間肌	第三背側骨間肌	第四背側骨間肌	伸腕肌	屈腕肌	層級	肌肉活化	交互作用
以球速區分 (km/h)	優秀組 (n = 12)	76.11±43.80	65.29±23.23	49.64±15.08	57.44±14.50	67.47±37.21	60.33±33.58	.623	.012*	.932
	一般組 (n = 12)	89.90±42.53	64.18±31.39	48.01±28.39	62.32±26.29	65.96±21.94	65.66±28.32			
以轉速區分 (RPM)	優秀組 (n = 12)	78.03±41.20	67.79±14.09	52.43±17.98	71.09±14.97	66.21±22.63	45.37±17.85	.331	.013*	.818
	一般組 (n = 12)	61.80±29.65	53.99±20.95	43.95±24.15	58.26±35.76	48.40±29.50	47.00±22.00			

註：*p <.05

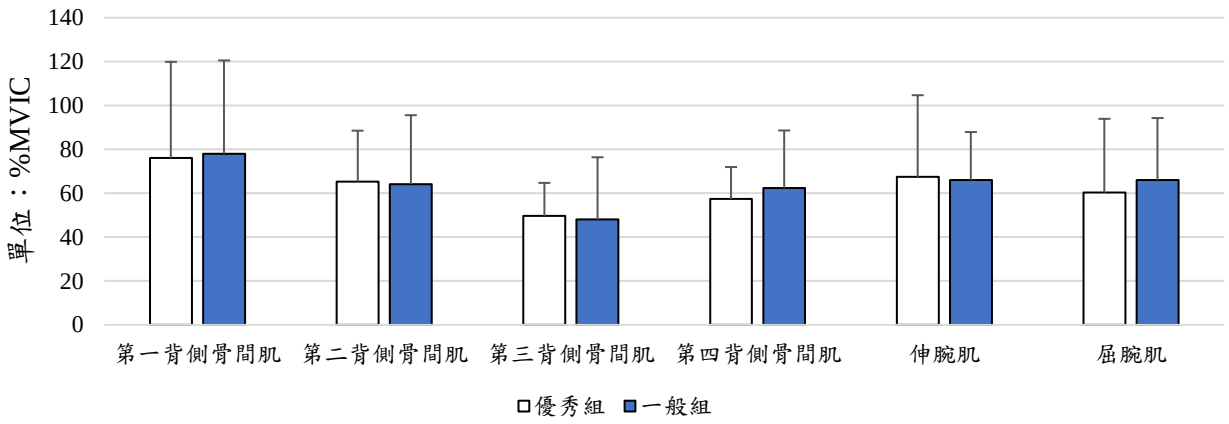

圖 4-1 優秀組與一般組球速組間肌肉活化差異

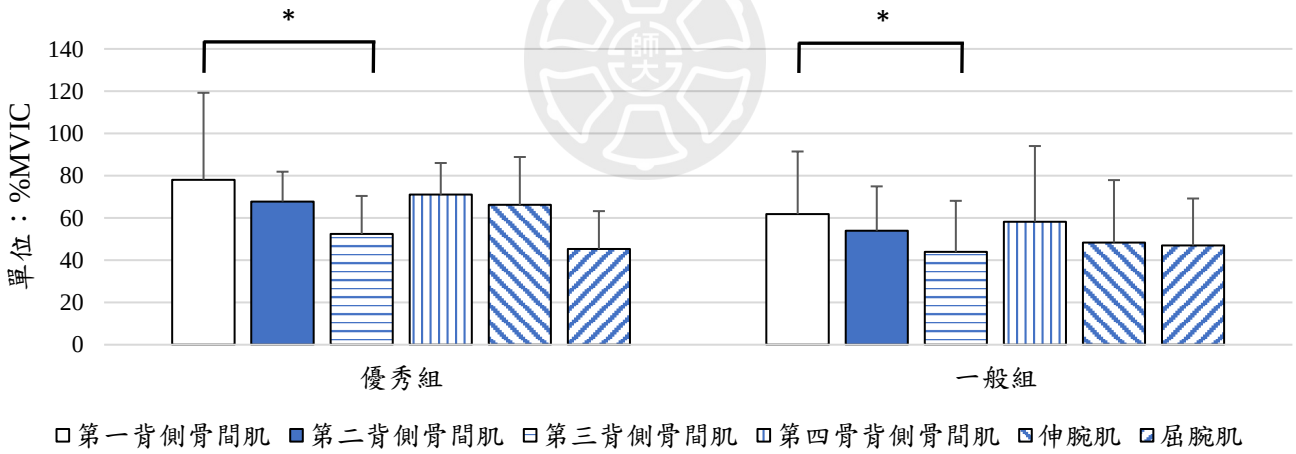

圖 4-2 優秀組與一般組球速組內肌肉活化差異

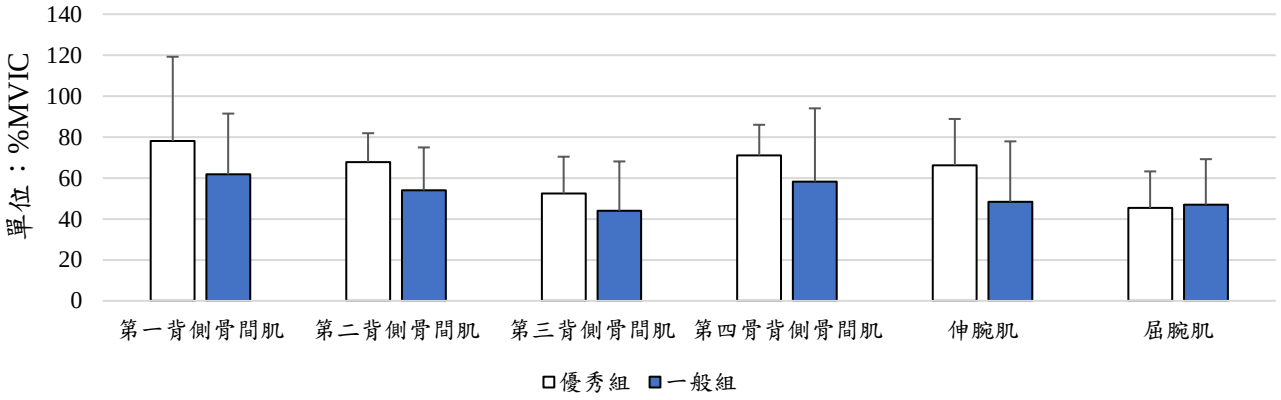

圖 4-3 優秀組與一般組轉速組間肌肉活化差異

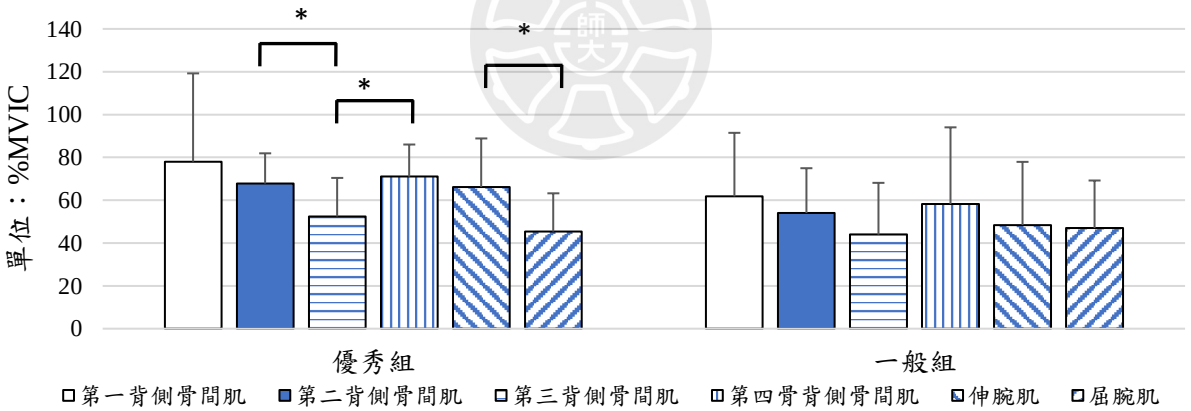

圖 4-4 優秀組與一般組轉速組內肌肉活化差異

三、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化與球速、轉速之相關性

經皮爾森積差相關檢驗後由表 4-3 可得知，不論是優秀組或一般組六條肌肉活化皆與球速無任何相關，表示兩組六條肌肉的活化無法幫助提升球速。轉速方面，優秀組可透過伸腕肌活化來提升球體轉速；然而一般組不論任何肌群皆無法幫助提升球體轉速。

表 4-3 優秀組與一般組各肌肉活化與球速、轉速摘要表

		Pearson	第一背側骨間肌	第二背側骨間肌	第三背側骨間肌	第四背側骨間肌	伸腕肌	屈腕肌
球速	優秀組	*r* 值	.071	.316	-.170	-.144	.139	.085
		p 值	.825	.318	.598	.654	.668	.793
	一般組	*r* 值	-.410	.047	-.084	-.101	.353	-.368
		p 值	.185	.884	.796	.754	.260	.239
轉速	優秀組	*r* 值	.151	-.377	.301	-.068	.649	.459
		p 值	.640	.227	.341	.834	.022*	.133
	一般組	*r* 值	.417	.097	-.124	-.100	.319	-.209
		p 值	.178	.765	.702	.757	.313	.515

註：$p < .05$

第伍章 討論

一、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化差異

本研究結果發現優秀組球速與轉速皆優於一般組。組間比較後，不論球速或轉速兩組的所有肌群活化皆無任何差異。表示兩組在投擲時手部肌群所產生的活化有相同的趨勢。此外球速組內比較後發現兩組皆為第一背側骨間肌顯著大於第三背側骨間肌。表示兩組在離手瞬間皆以第一背側骨間肌作用使拇指屈曲作為穩定持球的方式。此外透過第三背側骨間肌協助中指與無名指伸展，使持球更加穩定。轉速組內方面，優秀組第二骨間背側肌顯著大於第三骨間背側肌；第四骨間背側肌顯著大於第三股間背側肌；伸腕肌顯著大於屈腕肌。然而一般組皆無顯著差異。

由於重複練習所累積的經驗可幫助提升球體球速與轉速，因此經驗的累積是掌握投擲技能的關鍵，舉凡具有豐富投擲經驗者，相較於初學投擲技能者有較快的離手球速與轉速 （陳建汎，2004），此外國小學童經六週投擲訓練後逐漸掌握了上、下肢投擲技巧相較於訓練前有更快的離手球速 （邱文信等，2019）。其原因為經由長期的投擲練習，可幫助各肢段參與投擲序列移動的數目增加，並顯著提升投擲距離與離手球速 (Kobayashi et al., 2014)。再者，以末端肢段手指握力而言，職業投手之慣用手與非慣用手的手掌各部位握力、捏力與手指力量皆優於半職業選手 (Pexa, Ryan, Blackburn, Garrison, & Myers, 2020；Tajika et al., 2015)，因此上述原因皆可能為本研究優秀組球速顯著快於一般組的主因之一。

棒球投擲過程中，主要以食指與中指在投擲瞬間給予球體施加壓力 (Kinoshita et al., 2017；Matsuo et al., 2018)，因此影響棒球投擲時球體轉速與控制主要在上肢末端小關節的食指與中指。欲提升離手球速在整體投擲動作過程中，則需配合下肢跨步帶動軀幹旋轉與躬身，上肢肩關節向後旋至最大角度，於加速期時藉由軀幹旋轉帶動身體向前傾，此時手臂以最高速向前伸展，最後則由腕關節屈曲進行投擲，但欲提升轉速除上述動作外，更重要的則是透過手指壓力施予球體力量使球體旋轉，整體過程中以「大關節」帶動上肢肢段，最終則由「末端小關節」施與球體適當壓力，因此手指在提升球體轉速中扮演著重要的角色 (Smidebush et al., 2019；Lehman et al., 2013；Wang et al., 2016)。目前已證實手指施予球體的壓力並不會提升球速 (Ijiri et al., 2017)，主要作用除持球外，更重要為提升球體「轉速」、「改變球路」與「控制球體方向」 (Matsuo et al, 2018)，手指力量感知控制與握力為棒球投手不可或缺的基礎體能。

手部的背側骨間肌為所有內在肌中最靠近手背的肌肉，且被認為是手部功能的關鍵，並負責所有手部的運動，舉凡抓、握與捏等 (Buniya et al., 2020；Liss, 2012)，其中第一背側骨間肌，主要作用為幫助拇指做伸展、屈曲、外展與內收動作。第二骨肩背側肌位於食指與中指間，主要作用為幫助食指與中指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲。第三背側骨間肌主要作用為幫助中指與無名指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲。第四背側骨間肌主要作用為幫助無名指與小拇指進行外展與內收，並協助伸展與屈曲 (Chikenji et al., 2010)，因此背側骨間肌可幫助手部進行握、捏與放的動作。以四縫線直球而言，其握法主要將食指與中指微開，並以第一指節扣住縫線，拇指放置球體下源，再藉由無名指輕微觸碰球體側邊並協助固定球體，且虎口並未接觸球體，以免影響球的轉速而減弱速度，此球路變化在接近本壘板時，會有急速上升的效果，藉以讓打者揮棒落空或是形成擦棒界外球。由上述可得知，第一與第三背側骨間肌活化主要作用為協助拇指與無名指伸展及內收，並在持球時用以固定球體。

在投擲加速期球體離手瞬間,腕關節需屈腕進而將球體投擲至指定方向（好球帶），此時屈腕肌必須有適當活化進而產生屈腕動作，而在屈肘所使用的伸腕肌，與持球時之屈腕肌皆有較低的肌肉活化，以提供穩定關節 (Calabrese, 2013; Wang, et al., 2016)。從本研究結果得知兩組伸腕肌與屈腕肌無明顯差異，可能原因為兩肌群的活化主要作用為球體離手瞬間用以穩定關節，並協助進行伸腕扣球動作。

在轉速部分，優秀組第二骨間背側肌顯著大於第三骨間背側肌；第四骨間背側肌顯著大於第三股間背側肌；伸腕肌顯著大於屈腕肌。然而一般組皆無顯著差異。其原因可能為由於持球時主要將食指與中指微開，並以第一指節扣住縫線因此做為驅動食指與中指外展的第二背側骨間肌會有較高的肌肉活化，而第三背側骨間肌活化主要為協助無名指伸展並輔助持球，因此皆肉活化相對低。此外，第四背側骨間肌為所有背側骨間肌中最小之肌群，當第三背側骨間肌帶動無名指進行外展時，第四背側骨間肌連帶受到第三背側骨間肌外展之影響，並在持球時有較高的肌肉活化。

在伸腕肌活化方面，投擲直球離手瞬間時手腕並未產生水平內收動作，而是朝水平方向透過伸腕肌瞬間進行伸展動作將球體以水平方向投出，由於後擺期至加速期手腕關節依就保持自然且中立的姿勢或些微屈曲，直到球離開手至減速期才有屈曲動作產生 (Barrentine, Matsuo, Escamilla, Fleisig, & Andrews 1998)，此時伸腕肌肌肉活化主要作用為增加腕關節於投擲瞬間，球體離手時之位能進而在屈腕時有足夠的動能將球體投出 (Nissen, Westwell, Ounpuu, Patel, Tate, Pierz, Burns & Bicos, 2007)。因此，伸腕肌主要控

制出手放球時機，當球速增加手指關節亦隨著速度增加，進而加快動作時間，主要影響投球準度與穩定度，因此懂得透過手腕肌群控制，不僅能控制投擲精準度使球體更加穩定，更能造成球體的旋轉改變球路 (Hore & Watts, 2005)。由此可知，優秀組之所以轉速快於一般組的其中原因可能為透過伸腕肌肌肉活化所造就。

二、優秀組與一般組投擲快速直球之手部肌肉活化與球速、轉速之相關性

本研究發現不論是優秀組或一般組在投擲快速直球時，所產生之第一背側骨間肌、第二背側骨間肌、第三背側骨間肌、第四背側骨間肌、伸腕肌與屈腕肌肌肉活化皆與球速無相關，表示兩組離手球速的提升並非倚賴間背側肌或伸腕肌與屈腕肌的活化提供動力來源。轉速方面優秀組伸腕肌活化與轉速有顯著正相關，而一般組則未有顯著差異，表示優秀組可以透過伸腕肌伸展，在離手瞬間透過扣腕動作來增進球體轉速。

手掌背側骨間肌是所有內在肌中最靠近手背的肌肉，其中第一背側骨間肌，在姆指做伸的動作時，可以在姆指與食指間摸到，總共有四塊，分別位於姆指與食指之間（第一）、食指與中指之間（第二）、中指與無名指之間（第三）、無名指與小指之間（第四）背側骨間肌 (dorsal interossei)。此四條肌肉為控制拇指、食指、中指、無名指與小拇指外展、內收，此外則協助手指進行屈曲與伸展之作用 (van Duinen et al., 2007)。然而中指本身沒有背側骨間肌附著，因此本身沒有內收的動作。在運動過程中，背側骨間肌主要透過淺層肌肉收縮進行外展，由深層肌肉伸展使魚際肌 (Thenar eminence) 收縮帶動拇指與食指彎曲 (Masquelet, Salama, Outrequin, Serrault, & Chevrel, 1986)。因此四條肌群可幫助手部動作進行各手指內收並持握物品 (Kozin, Porter, Clark, & Thoder, 1999)，舉凡持握飛鏢、球體與拍類握把等 (Bao, Yano, Kondo, & Khoa, 2015)。然而即便是專業選手在訓練過程中多半以大肌群為主，對於手部細微的小肌肉較少進行訓練，故教練應需著重投手的背側肌進行肌力訓練(Wang, Kuo, Shih, Lo, & Su, 2013)。

從棒球投擲手指動力學角度而言，手指在投擲過程中主要作用除了持球外，更重要為提升球體轉速、改變球路與控制球體方向 (Ijiri et al., 2017；Matsuo et al, 2018)。因此，手指壓力感知控制與握力為棒球選手不可或缺的基礎體能。在投擲四縫線直球過程中，所有手指的合力保持小於 20 N (Kinoshita et al., 2017)，表示準備期至跨步期時，手指僅以輕鬆的方式持球直至加速期離手瞬間，各手指才施予球體適當的壓力將球投出。從上述文獻可推測，指背側骨間肌在棒球投擲過程中，主要協助手指以輕鬆的方式持球，使手指在離手瞬間施予球體壓力。對於提升球速而言效益相當有限。

事實上，驅動手指動作的肌群從近端的伸腕長肌 (extensor carpi radialis longus muscle)、伸腕短肌 (extensor carpi radialis brevis muscle)、尺側伸腕肌 (extensor carpi ulnaris)直至遠端的伸指肌 (extensor digitorum muscle)、伸食指肌 (ectensor muscle of index finger)、外展拇長肌 (abductor pollicis longus muscle)、伸拇長肌(extensor pollicis longus muscle)與伸拇短肌 (extensor pollicis brevis muscle) 等，然而上述肌群對於投擲動作而言，多半屬於拮抗肌。而主要的作用肌應為掌心之外展拇短肌 (abductor pollicis brevis muscle)、拇對掌肌 (opponens pollicis muscle)、屈拇短肌 (flexor pollicis brevis muscle)、內收拇肌 (adductor pollicis muscle)、掌短肌 (palmaris brevis muscle)、外展小指肌(abducted little finger)、屈小指短肌 (flexor digiti minimi brevis muscle)、小指對掌肌 (opponens digiti minimi muscle)等，上述肌群主要作用除了持握球體外亦可幫助手指屈曲給予球體施加壓力。可想而知，優秀組與一般組的六條肌肉活化之所以與離手球速無相關，產生此現象的原因推測可能為背側骨間肌在投擲過程中，雖扮演者協助手指外展持球的角色，但對於手指持球投擲時的伸展而言皆扮演著結抗肌的角色。

增加球速的基本要件是身體在投球整體過程中，以動力鏈方式帶動各肢段連結動作進行投擲，依序由軸心腳藉由地面作用力，帶動跨步腳膝關節屈曲再伸展並向前跨出，持球慣用手向後延伸直至肩關節呈現最大外旋，並帶動肘與腕關節伸展，此時跨步腳大步跨出，軀幹由臀部至脊椎從側向轉動至正向，上肢依序從慣用肩關節旋轉，肘關節向前伸展橫越身體軀幹向前推進（前傾），腕關節順勢下扣等，做出連續且順暢的完整上肢動作（邱文信等，2019；Park et al., 2019）。上述過程中腕、肘、肩、髖與膝關節肢段最大角度、角速度和整體投擲動作技巧、離手球速與投擲距離均有高度正相關 (Kobayashi, Ae, Miyazaki, Fujii, & Iiboshi, 2014)。由此可證實離手球速是由下肢利用地面反作用力，將力量傳遞到上肢關節，最終則藉由「末端肢段」的腕和指關節 (interphalangeal joint) 提供球體向前的速度，但上述「關節動力鏈加速」方式無法控制球體旋轉，球體旋轉仍需依賴腕與手指關節等細微的動作控制 (Matsuo et al., 2018)。

從提升投擲轉速的角度的觀點而言，不論優秀組或一般組在投擲快速直球時，所產生之第一背側骨間肌、第二背側骨間肌、第三背側骨間肌、第四背側骨間與屈腕肌肌活化皆呈現未達顯著差異的現象，僅優秀組伸腕肌肌肉活化與轉速達顯著正相關，表示當球體離手瞬間，透過伸腕肌瞬間的收縮可提升轉速。事實上，轉速的提升需透過手指壓力施予球體力量使球體旋轉，整體過程中以「大關節」帶動上肢肢段，最終則由「末端小關節」的施與球體適當壓力，因此手指在提升球體轉速中扮演著重要的角色

(Smidebush, Stewart, Shapiro, Chander, & Knight, 2019；Lehman et al., 2013；Wang et al., 2016)。棒球術語中俗稱的轉速，主要由手部以不同方式持握球體，並在離手瞬間透過指節屈曲、伸展、外展或內收，使球體高速轉動產生球路變化，含義為任何球路在飛行後期有些往上飄、下沉與左、右的位移（張憲國等，2020），而腕關節對於改變球路 (提升轉速) 而言僅為輔助角色 (Kinoshita et al., 2017；Tajika et al., 2015)。儘管如此，目前僅證實手指在整體投擲過程中，主要作用為針對不同球路以適當握法持球，並在離手瞬間藉由指關節屈曲、外展或內收，並改變肌肉勁度與施予球體的力量（手指壓力）來增加球體轉速，使球體產生不同飛行軌跡 (Matsuo et al., 2018；Wagner, Buchecker, Duvillard, & Müller, 2010)。

以四縫線直球食指、中指的近與遠端指節而言，在投擲直球時指尖近關節最大角度：140±6°；指尖近關節最大角速度：4180±1570°/s；指尖遠關節最大角度：134±8°；指尖遠關節最大角速度：1540±1090°/s，顯示近端指節最大角度顯著高於遠端指節，其結果主要為持球過程中需配合球體形狀，使近端指皆趨近於伸展動作，而遠端指節則為屈曲動作所造就，由上述結果可得知，近端指節最大角速度顯著快於遠端指節，且不論是半職業或大專選手投擲直球球速皆顯著快於曲球與滑球 (Matsuo et al., 2018；Whiteside et al., 2016) 。綜合上述，投擲過程中有如鞭打效應般，由上肢大關節動作以位能轉動能依序將動量傳遞至小關節，此時腕關節有相對快的角速度，連帶產生相對快的近端指節角速度。此外，離手瞬間指尖遠關節屈曲，藉由增加手指勁度來改變球路或提升球體轉速，因此優秀組與一般組背側骨間肌活化之所以與轉速無顯著正相關，推測原因為轉速的提升主要來自手指遠端與近端指節的外展與內收，然而指骨背側肌活化主要作用為協助持球。因此對於提升球體轉速效果相當有限。

第陸章 結論

優秀組球速快於一般組的原因無法從手部的四條背側骨間與伸腕肌、屈腕肌之肌肉的肌電訊號得知,可能與其他的肌群有關。背側骨間肌的活化主要作用可能為協助控球,因此也與球速的沒有顯著相關。此外，優秀組投擲轉速之所以高於一般組，主因可能為優秀組透過伸腕肌的活化在離手瞬間進行制動，並將動量傳至手指給予球體動力；反觀一般組則未產生此現象。

建議未來研究人員可利用棒球感測設備針對不同層級選手手指各指節屈曲、伸展與外展內收等細微動作與壓力進行探討，另外亦可針對持球時各指節壓力作用時間多寡、時序、肌肉活化與衝量進行探討，用以區分不同層間差異，藉此幫助基層教練於訓練次級選手時，給予投擲技巧細微動作指導進步依據。

參考文獻

王又德、羅瑭勻、張家豪 (2016)。高爾夫揮桿與推桿時握桿手指壓力之文獻分析。*運動表現期刊*，*3*(1)，9-14。doi: 10.3966/240996512016060301002

邱文信 (2010)。不同投擲距離肌群作用時序之比較。*體育學報*，*43*(2)，43-54。doi:10.6222/pej.4302.201006.1104

邱文信、陳五洲 (2003)。影響 9-12 歲兒童過肩投擲距離表現因素之研究。*大專體育學刊*，*5*(1)，139-148。doi：10.5297 / ser.200306_5（1）.0012

邱文信、陳羿揚、李建勳 (2016)。核心肌群訓練之新思維。*139*，40-46。doi: 10.6162/SRR.2016.139.05

邱文信、陳羿揚、蔡少偉 (2019)。六週過肩投擲練習對國小六年級學童投擲動作表現的影響，*體育學報*，*52*(3),329-339。doi： 10.6222/pej.201909_52(3).0005

林俊龍、黃長福 (2011)。棒球投手投球時軀幹旋轉與球速之相關。*華人運動生物力學期刊*，(4)，10-17。

張簡旭芳、李尹鑫、戴一涵、相子元 (2016)。身體加速度及步頻分別與心跳之相關性-前導性實驗。*運動表現期刊*，*3*(1)，23-27。doi：10.3966 / 240996512016060301004

黃致豪 (2018)。科技棒球訓練-從經典賽的以色列總教練傑瑞·温斯坦談起。*運動管理*，*40*，2-10。

黃國揚 (2016)。手榴彈投擲動作之運動學分析。*國防大學通識教育學報*，*6*，171-187。

楊明達、詹貴惠(2006)。藥球訓練對上半身肌力的影響。*大專體育學刊*，*8*(2)，187-194。doi：10.5297/ser.200606_8(2).0016

葉益銘、侯建文(2010)。抗力球訓練對高中棒球選手專項運動表現的影響。*大專體育學刊*，*12*(2), 51-58。doi: 10.5297/ser.1202.006

陳羿揚、邱文信、劉亮吟(2014)。棒球與快速壘球投球動作之差異。*中華體育季刊*，*28*(4)，331-338。doi: 10.6223/qcpe.2804.201412.1009

陳羿揚、邱文信、錢明福(2018)。探討不同訓練器材對提升核心肌力的效益與應用。*成大體育學刊*，*50* (1)，24-36。doi: 10.6406/JNCKUPER.201804_50(1).0002

陳羿揚、莎麗娃、邱文信(2020)。三軸加速規用於評估身體活動量的方法與應用。*華人*

運動生物力學期刊，*17*(1)，45-52。doi: 10.3966/207332672020031701006

葉益銘、黃士魁、林正仰(2009)。六週抗力球訓練對棒球選手核心肌群與專項運動能力之影響。*運動教練科學*，*16*，15-28。doi：10.6194/SCS.2009.16.02

湯文慈、龔榮堂、陳建銘、江宜玲 (2009)。臺灣優秀成棒投手球速與上肢等速肌力之關係。*大專體育學刊*，*11*(1)，83-92。doi：10.5297/ser.200903_11(1).0006

張鈺雪、蔡虔祿、黃貴樹、雷小娟(2015)。羽球正拍網前撲球動作手指力量分析。*淡江體育學刊*，*18*，36-48

蔡明章、沈彥宇、周佑恩、高自平、黃世疇(2010)。標準握筆姿勢手指之受力分析。*工程科技與教育學刊*，*7*(5)，869-877。 doi: 10.6451/JETE.201012.0869

蔡明章、李政錡、林政峰、黃世疇(2011)。不同握筆姿勢手指之受力分析。*工程科技與教育學刊*，*8*(1)，72-80。doi: 10.6451/JETE.201103.0072

劉于詮、陳協鴻、陳星宇 (2005)。手榴彈投擲之肌電圖分析。*國立體育學院論叢*，*16*(3)，205-218。doi: 10.6591/JPES.2005.12.16

Adair, R. K. (2002). Spin and the magnus coefficient. In: The physics of the baseball, 3rd edn. Harper Collins Publishers Inc, New York, Chapter 2

Anami, K., Urabe, Y., Sasadai, J., & Maeda, N. (2019). A survey on self-care implementation status and sports injuries prevention in collegiate male baseball players. *International Journal of Sports Physical Therapy*. *14*(6), S13-S13.

Arnold, A. J., Thigpen, C. A., Beattie, P. F., Kissenberth, M. J., Tokish, J. M., & Shanley, E. (2019). Sport specialization and lncreased injury frequency in youth baseball players: A prospective study. *Journal of Athletic Training*, *54*(10), 1115-1122. doi :10.4085/1062-6050-349-18

Aguirre-López, M. A., Morales-Castillo, J., Díaz-Hernández, O., Escalera Santos, G. J., & Almaguera, F. J. (2018). Trajectories reconstruction of spinning baseball pitches by three-point-based algorithm. *Applied Mathematics and Computation*. *319*, 2-12.

Astorino, T., Baker, J., Brock, S., Dalleck, L., & Goulet, E. (2011). Relationships between isokinetic core strength and field based athletic performance tests in male collegiate baseball players. *Journal of Exercise Physiology Online. 14*(5), 20-30.

Aguinaldo, A. L., & Escamilla, R. F. (2020). Induced power analysis of sequential body motion and elbow valgus load during baseball pitching. *Journal Sports Biomechanics*, doi:10.1080/14763141.2019.1696881

Bao, T. N., Yano, S., Kondo, T., & Khoa, T. Q. D. (2015). Analyzing effects of variance in kinematic parameters on performance and EMG in dart throwing. International Conference on Communications and Electronics, ICCE. doi:10.1109 / CCE.2016.7562660

Bai, Y. W., & Hsies, I. H. (2019). Using a Wearable dvice to asist the taining of the trowing mtion of bseball payers. *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 5-8 doi: 10.1109/CCECE.2019.8861566

Balas, J., Pecha, O., Martin, A., & Cochrane, D. (2102). Hand-arm strength and endurance predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, *12*, 16-25. doi: 10.1080/17461391.2010.546431

Bahill, A. T., Baldwin, D. G. (2007). Describing baseball pitch movement with right-hand rules. *Computers in Biology and Medicine*, *37*, 1001-1008. doi: 10.1016/j.compbiomed.2006.06.007

Bagchi, A., & Raizada, S. (2015). An electromyographical analysis of biceps brachii and triceps brachii during three different types of throw in cricket. *International Journal of Applied Research*, *1*(11), 323-326. doi: 10.1016/j.jcm.2018.04.001

Buniya, A., Al-Timemy, A. H., Aldoori, A., & Khushaba, R. N. (2020). Analysis of different hand and finger grip patterns using surface electromyography and hand dynamometry. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, *16*(2), 14-23. doi:10.22153/kej.2020.05.001

Chin, A., Elliott, B., Alderson, J., Lloyd, D., & Foster, D. (2009). The off-break and "doosra": Kinematic variations of elite and sub-elite bowlers in creating ball spin in cricket. *Sports Biomechanics*, *8*, 187-198. doi: 10.1080/14763140903229476

Cross, R. (2011). Physics of Baseball & Softball. New York, NY: Springe.

Cross, R. (2019). Measuring the topspin and sidespin components of a rolling ball. *Physics Education*, *55*(1), 1-4.

Cross, R, & Lindsey, C. (2017). Measurements of drag and lift on smooth balls in flight. *European Journal of Physics*, *38*(4), 1-12. doi: 10.1088/1361-6404/aa6e44

Calabrese, G. J. (2013). Pitching mechanics, revisited. *International Journal of Sports Physical therapy*, *8*(5), 652-660. doi: 10.26603/ijspt20180493

Dodds, F. T., Knotts, S. S., Penrod, M. I., Scoggins, W., & Conners, R. (2020). Shoulder strength and range of motion between collegiate pitchers and position players in baseball. *International Journal of Exercise Science*, *13*(6), 123-130.

Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Groeschner, D., & Akizuki, K. (2017). Biomechanical comparisons among fastball, slider, curveball, and changeup pitch types and between balls and strikes in professional baseball pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, *45*(14), 3358-3367. doi: 10.1177/0363546517730052

Escamilla, R. F., Glenn, Y. K., Mikla, T., Dunning, R., Paulos, L., & Andrews, J. (2010). Effects of a 4-week youth baseball conditioning program on throwing velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(12), 3247-3254. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181db9f59

Escamilla, R. F., Ionno, M., deMahy, M. S., Fleisig, G. S., Wilk, K. E., Yamashiro, K., …Andrews, J. R. (2012). Comparison of three baseball-specific 6-week training

programs on throwing velocity in high school baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(7), 1767-1781. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182578301.

Fleisig, G. S., Bolt, B., Fortenbaugh, D., Wilk, K. E., & Andrews, J. R. (2011). Biomechanical comparison of baseball pitching and long-toss: Implications for training and rehabilitation. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *41*(5), 296-303. doi: 10.2519/jospt.2011.3568

Fleisig, G. S., Leddon, C. E., Laughlin., W. A., Ciccotti, M. G., Mandelbaum, B. R., Aune, K. T., Escamilla, R. F., MacLeod, T. D., & Andrews, J. R. (2015). Biomechanical performance of baseball pitchers with a history of ulnar collateral ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. *43*(5), 1045-1050. doi:10.1177/0363546515570464

Freeston, J., & Rooney, K. (2008). Progressive velocity throwing training increases velocity without detriment to accuracy in sub-elite cricket players: A randomized controlled trial. *European Journal of Sport Science*, *8*(6), 373-378. doi: 10.1080/17461390802284415

Fasbender, P., Korff, T. J., Baltzopoulos, V. B. & Linthorne, N. P. (2020). Optimal mass of the arm segments in throwing: A two-dimensional computer simulation study. *European Journal of Sport Science*, 1-9. doi: 10.1080/17461391.2020.1730446

Glanzer, J. A., Diffendaffer, A. Z., Solwik, J. S., Drogosz, M., Lo, N. J. & Fleisig. (2019). The relationship between variability in baseball pitching kinematics and consistency in pitch location. *Sports Biomechanics*, 1-8. doi:10.1080/14763141.2019.1642378

Grantham, W. J., Iyengar, J. J., Byram, I. R., & Ahmad, C. S. (2015). The curveball as a risk factor for injury: a systematic review. *Sports Health*, *7*(1), 19-26.

Hore, J., & Watts, S. (2005). Timing finger opening in overarm throwing based on a spatial representation of hand path. *Journal of Neurophysiology*, *93*(6), 3189-3199. doi: 10.1152/jn.01268.2004

Hore, J., & Watts, S. (2011). Skilled throwers use physics to time ball release to the nearest millisecond. *Jounral of Neurophysiology*, *106*, 2024+-2033. doi: 10.1152/jn.00059.2011

Hore, J., Watts, S., & Martin, J. (1996). Finger flexion does not contribute to ball speed in overarm throws. *Journal of sports sciences*, 335-342. doi: 10.1080/02640419608727719

Hung, C. F., Chen, C. C., Lin, S. H., & Chung, T. K. (2017). Finger and palm dynamic pressure monitoring for basketball shooting. *Journal of Sensors*, 1-5. doi: 10.1155/2017/9352410

Higuchi, H., & Kiura, T. (2012). Aerodynamics of knuckle ball: Flow-structure interaction problem on a pitched baseball without spin. *Journal of fluids and structures*, *32*, 65-77. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2012.01.004

Hussain, M., Choa, Y. H., & Niihara, K. (2001). Conductive rubber materials for pressure sensors. *Journal of Materials Science letters*, *20*, 525-527.

Hiroyuki., N, Naoya, O, Kazuhiro, T., Shigeho, N., & Ryutaro, H. (2019). Measurement of rotational property for a baseball in flight with acceleration sensors. *Transactions of the*

JSME (in Japanese), 85, doi:10.1299/transjsme.18-00440

Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J., & Chamari, K. (2015). Comparison of In-season-specific resistance vs. A regular throwing training program on throwing velocity, anthropometry, and power performance in elite handball players. Journal of Strength and Conditioning Research, *25*(9), 2424-2433. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182030edb

Hettiarachchi, C., Kodithuwakku, J., Manamperi, B., Ifham, A., & Silva, P. (2019). A wearable system to analyze the human arm for predicting injuries due to throwing. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, doi: 10.1109/EMBC.2019.8857313

Ijiri, T., Nakamura, A., Hirabayashi, A., Sakai, W., Miyazaki, T., & Himeno, R. (2017). Automatic spin measurements for pitched baseballs via consumer-grade high-speed cameras. *Signal, Image and Video Processing*, *11*, 1197–1204. doi: 10.1007/s11760-017-1075-x

Jack, R. A., Lintner, D. M., Harris, J. D., & McCulloch, P. C. (2018). Omegawave: an emerging technology and application in professional baseball pitchers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(7), 1144-1149. doi: 10.23736/s0022-4707.18.08844-8

John, C., Trent, L., Nigel, H., Andrew, K., & Daniel, M. T. (2017). A brief review of handgrip strength and sport performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31*(11), 3187-3217.

Jinji, T & Sakurai, S. (2006). Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. *Sports Biomechanics*, *5*, 197-214.

Jalilian, P., Kreun, P. K., Makhmalbaf, M. H. M. & William, W. L. (2014). Computational aerodynamics of baseball, soccer ball and volleyball. *American Journal of Sports Science*, *2*(5), 115-121. doi: 10.11648/j.ajss.20140205.12

Kagan, D., & Nathan, A. M. (2017). Statcast and the baseball trajectory calculator. *The Physics Teacher*, *55*, 134. doi: 10.1119/1.4976652

Kuhtz-Buschbeck, J. P., & Keller, P. (2019). Muscle activity in throwing with the dominant and non-dominant arm. *Cogent Medicine*, *6*(1), 1-14. doi: 10.1080/2331205X.2019.1678221

Kelly, B. T., Backus, S. I., Warren, R. F., & Wil1iams, R. J. (2002). Electromyographic analysis and phase definition of the overhead football throw. *American Journal of Sports Medicine*, *30*(6), 837-844. doi: 10.1177/03635465020300061401

Kohmura, Y., & Yoshigi, H. (2004). Training effects of visual function on college baseball players. *Human Measurement Performance, 1*, 15-23.

Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H., & Maeda, A. (2014). Kinematic and kinetic profiles of trunk and lower limbs during baseball pitching in collegiate p3itchers. *Journal of Sports Science & Medicine*, *13*(4), 742-750.

Kobayashi, Y., Ae, M., Miyazaki, A., Fujii, N., & Iiboshi, A. (2014). A biomechanical study

on improvement in the overarm throwing technique of elementary school children. *32 International Conference of Biomechanics in Sports,* 614-617.

Kinoshita, H., Obata, S., Nasu, D., Kadota, K., & Matsuo, T. (2014, July 12-16). Finger forces during baseball pitching. Proceeding of the 32nd Conference of the International Society of Biomechanics in Sports [USB-memory]. Johnson City, TN. Retrieved February 26, 2016, from International Society of Biomechanics

Kinoshita, H., Obata, S., Nasu, D., Kadota, K., Matsuo, T., & Fleisig, G. S. (2017). Finger forces in fastball baseball pitching. *Human Movement Science*, *54*, 172-181. doi: 10.1016/j.humov.2017.04.007

Lee, H. K., Jung, D. E., & Lee, J. C. (2016). The effects of core strengthening training on baseball throwing. *Journal of the International Academy of Physical Therapy Research*, *7*(1), 965-971.

Lorson, K. M., Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., & Goodway, J. D. (2013). Age and gender differences in adolescent and adult overarm throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *84*, 293-244. doi: 10.1080/02701367.2013.784841

Lewis, A. L., Ward, N., Bishop, C., Maloney, S., & Turner, A. N. (2016). Determinants of club head speed in PGA professional golfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(8), 2266-2270. doi: org/10.1519/JSC.0000000000001362

Lupo, C. (2015). Anthropometric, strength, session-RPE, and shoot performance evaluations in sub-elite male italian basketball players. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, *120*(1), 204.

Luera, M. J., Dowling, B., Muddle, T. W. D., & Jenkins, N. D. M. (2020). Differences in rotational kinetics and kinematics for professional baseball pitchers with higher versus lower pitch velocities. *Journal of Applied Biomechanics*, *36*(2), 68-75. doi:10.1123/jab.2019-0235

Lehman, G., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2013). Correlation of throwing velocity to the results of lower-body field tests in male college baseball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(4), 902-908. doi：10.1519 / JSC.0b013e3182606c79

Lizzio, V. A., Gulledge, C. M., Smith, D. G., Meldau, J. E., Borowsky, P. A., Moutzouros, V., …Makhni, E. C. (2020). Predictors of elbow torque among professional baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *29*(2), 316-320. doi: 10.1016/j.jse.2019.07.037

Matsuto, T., Takada, Y., Matsumoto, T., & Saito, K. (2000). Biomechanical characteristics of sidearm and underhand baseball pitching: Comparison with those of overhand and three-quarter-hand pitching. *Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise*, *4*, 243-252.

Matsuo, T., Jinji, T., Hirayama, D., Nasu, D., Ozaki, H. & Daisuke, K. (2018). Middle finger and ball movements around ball release during baseball fastball pitching. *Journal Sports Biomechanics*, *17*(2), 180-191. doi: 10.1080/14763141.2016.1261932

Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, *17*,1-13. doi: 10.1123/jab.17.1.1

Martinez, J. G., Vila, M. H., Ferragut, C., Noguera, M. M., Abraldes, J. A., Rodriguez, N., …Alcaraz, P. E. (2015). Position-specific anthropometry and throwing velocity of elite female water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(2), 472-477. doi: 10.1519 / JSC.0000000000000646

Mitchell, A. C., Bowhay, A., & Pitts, J. (2011). Relationship between anthropometric characteristics of indoor rock climbers and top roped climbing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, S94-95. doi: 10.1097/01.JSC.0000395728.22365.7d

McGinnis, R.S., Perkins, N. C., & King, K. (2012). Pitcher training aided by instrumented baseball. *Procedia Engineering*, *34*, 580-585. doi: 10.1016/j.proeng.2012.04.099

Matsuura, T., Iwame, T., Suzue, N., & Arisawa, K. (2016). Epidemiology of shoulder and elbow pain in youth baseball players. *The Physician and Sportsmedicine*, *45*(2), 140-144. doi:10.1080/00913847.2017.1300505

Mannsfeld, S. C. B., Tee, B. C. K., Stoltenberg, R. M., Chen, C. V. H. H., Barman, S., Muir, B. V. O., …Bao, Z. (2010). Highly sensitive flexible pressure sensors with microstructured rubber dielectric layers. *Nature materials*, 9, 859-864.

Naito, K., Takagi, T., Kubota, H., & Maruyama, T. (2017). Multi-body dynamic coupling mechanism for generating throwing arm velocity during baseball pitching. *Human Movement Science*, *54*, 363-376. doi: 10.1016/j.humov.2017.05.013

Nathan, A. M., & Kagan, D. (2014). Simplified models for the drag coefficient of a pitched baseball. *Teacher*, *52*, 278. doi: org/10.1119/1.4872406

Nagami, T., Morohoshi, J., Higuchi, T., Nakata, H., Naito, S., & Kanosue, K. (2011). Spin on fastballs thrown by elite baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *42*(12), 2321-2327. doi: 10.1249/MSS.0b013e318220e728

Oyama, S., Yu, B., Blackburn, J. T., Padua, D. A., Li, L., & Myers, J. B. (2014). Improper trunk Rotation sequence is associated with increased maximal shoulder external rotation angle and shoulder joint force in high school baseball pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, *42*(9), 2089-2094. doi: 10.1177/0363546514536871

Oliver, G. D., Plummer, H. A., Washington, J. K., Saper, M. G., Dugas, J. R., & Andrews, J. R. (2018). Pitching mechanics in female youth fastpitch softball. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *13*(3), 493-500.

Ostrander, R., Escamilla, R. F., Hess, R., Witte, K., Wilcox, L., & Andrews, J. R. (2019). Glenohumeral rotation deficits in high school, college, and professional baseball pitchers with and without a medial ulnar collateral ligament injury. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 28(3), 423-429. doi: 10.1016/j.jse.2018.11.038

Park, C. B., Choi, A. Y., & Jeong, H. J. (2019). Correlation between upper extremity muscle strength and bat swing speed in elementary school baseball players. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, *20*(6), 239-244.

Pexa, B., Ryan, E. D. Blackburn, J. T., Garrison, J. C., & Myers, J. B. (2020). Influence of baseball Training Load on clinical reach tests and grip strength in collegiate baseball players. *Journal of Athletic Training*, 55(9), 984-993. doi:10.4085/1062-6050-0456.19

Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2012). *Human motor development: A lifespan approach* (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

Pallis, J. M. & Mehta, R. D. (2002). Aerodynamics and hydrodynamics in sports. *The Engineering of Sport*, *4*, 31-39.

Reinold, M. M., Macrina, L. C., Fleisig, G. S., Aune, K., & Andrews, J. R. (2018). Effect of a 6-week weighted baseball throwing program on pitch velocity, pitching arm biomechanics, passive range of motion, and injury rates. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, *10*(4), 327-333. doI:10.1177/1941738118779909

Scher, S., Anderson, K., Weber, K., Bajorek, J., Rand, K., & Bey, M. J. (2010). Associations among hip and shoulder range of motion and shoulder injury in professional baseball players. Journal of Athletic Training, 45(2), 191-197.

Selley, R, S., Portney, D. A., Lawton, C. D., Shockley, M. D., Christian, R. A., Saltzman, M. D., & Hsu, W. K. (2019). Advanced baseball metrics indicate significant decline in MLB pitcher value after tommy john surgery. Orthopedics, *42*(6), 349-354. doi:10.3928/01477447-20190906-07

Sakata, J., Nakamura, E., Suzuki, T., Suzukawa, M., Akaike, A., Shimizu, K., & Hirose, N. (2017). Efficacy of a prevention program for medial elbow injuries in youth baseball players. *The American Journal of Sports Medicine*, *46*(2), 460-469. doi: 10.1177/0363546517738003

Sakurai, S., Reid, M., & Elliott, B. (2012). Ball spin in the tennis serve: spin rate and axis of rotation. *Sports biomechanics*, *1*, 23-29, doi: 10.1080/14763141.2012.671355

Sawicki, G. S., Hubbard, M., & Stronge, W. J. (2003). How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. *American Journal of Physics*, *71*(11), 1152-1162.

Shimura, M., Miyazawa, T., & Yanai, T. (2018). Optimal bat angles and under-cut distance for maximizing the battedball velocity in opposite field hitting: A simulation study of baseball batting. *International Journal of Sport and Health Science*, *16*, 180-190. doi: org/10.5432/ijshs.201822

Shibata, S., Hirose, K., Naruo, T., & Shimizu, Y. (2019). Estimation of baseball bat trajectory during a practice swing using a kalman filter for velocity compensation. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 10.1177/1754337119871436

Szymanski, D. J., Szymanski, J. M., Molloy, J. M., & Pascoe, D. D. (2004). Effect of 12 weeks of wrist and forearm training on high school baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 18*(3), 432-440.

Smidebush, M., Stewart, E., Shapiro, R., Chander, H., & Knight, A. (2019). Mean muscle activation comparison between fastballs and curveballs with respect to the upper and lower extremity. *Journal of Biomechanics*, *94*, 187-192.

Tajika, T., Kobayashi, T., Yamamoto, A., Shitara, H., Ichinose, T., Shimoyama, D., …Takagishi, K. (2015). Relationship between grip, pinch strengths and anthropometric variables, types of pitch throwing among japanese high school baseball pitchers. Asian Journal of Sports Medicine, 6(1), e25330. doi: 10.5812 / asjsm.25330

Tillaar, R., & Ettema, G. (2011). A comparison of kinematics between overarm throwing with 20% underweight, regular, and 20% overweight balls. *Journal of Applied Biomechanics*, *27*(3), 252-257. doi: 10.1123/jab.27.3.252

Vila, H., & Ferragut, C. (2109). Throwing speed in team handball: a systematic review. *Journal of Performance Analysis in Sport*, *19*(5), 724-736, doi: 10.1080/24748668.2019.1649344

Van den, R. T. & Marques, M. C. (2013). Effect of different training workload on overhead throwing performance with different weighted balls. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(5), 1196-1201. doi: 10.1519/JSC.0b013e318267a494

van Duinen, H., Renken, R., Maurits, N. M., & Zijdewind, I. (2007). Relation between muscle and brain activity during isometric contractions of the first dorsal interosseus muscle. Human Brain Mapping, *29*(3), 281-299. doi:10.1002/hbm.20388

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. *Human Movement Science*, *32*, 719-729. doi:10.1016/j. humov.2013.01.003

Wang, L. H., Lo, K. C., Jou, I. M., Kuo, L. C., Tai, T. W., & Su, F. C. (2016). The effects of forearm fatigue on baseball fastball pitching, with implications about elbow injury. *Journal of Sports Sciences*, *34*(12), 1182-1189. doi:10.1080/02640414.2015.1101481

Werner, S. L., Suri, M., Guido Jr, J. A., Meister, K., & Jones, D. G. (2008). Relationships between ball velocity and throwing mechanics in collegiate baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *17*(6), 905-908

Wagner, H., Buchecker, M., Duvillard, S. P. & Müller, E. (2010). Kinematic comparison of team handball throwing with two different arm positions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(4), 496-483. doi: 10.1123/ijspp.5.4.469

Wagner, H., Pfusterschmied, J., Duvillard, S. P., & Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sports Science & Medicine*, *10*(1), 73-80.

Whiteside, D., McGinnis, R. S., Deneweth, J. M., Zernicke, R. F., & Goulet, G. C. (2016). Ball flight kinematics, release variability and in-season performance in elite baseball pitching.

The Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, *26*, 256-265. doi: org/10.1111/sms.12443

Yang, W. W., Liu, Y. C., Lu, L. C., Chang, H. Y. Chou, P. P. & Liu, C. (2013). Performance enhancement among adolescent players after 10 weeks of pitching training with appropriate baseball weights. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(12), 3245-3251. doi: 10.1519/JSC.0b013e31828ddfeb

Young, R. W. (2003). Evolution of the human hand: the role of throwing and clubbing. *Journal of Anatomy*, *202*, 165-174. doi: 10.1046/j.1469-7580.2003.00144.x

Yamagishi, K., Nakanishi, T., Mihara, S., Azuma, M., Takeoka, S., Kanosue, K., …Fujie, T. (2019). Elastic kirigami patch for electromyographic analysis of the palm muscle during baseball pitching. *NPG Asia Materials*, 80(11), doi: 10.1038/s41427-019-0183-1

Zou, J., Zhang, M., Huang, J., Bian, J., Jie, Y., Willander, M., …Wang, Z. L. (2018). Coupled supercapacitor and triboelectric nanogenerator boost biomimetic pressure sensor. *Advanced Energy Materials*, *8*(10), 1-8. doi:10.1002/aenm.201702671

附　錄

研究參與者知情同意書

您好，非常歡迎並感謝您參與此研究!以下表格將提供您本研究之相關資訊，希望能在研究進行前，讓您對此研究有充分的瞭解。研究計畫主持人或經妥善訓練之研究團隊人員，將親自向您詳細說明內容，若您對此研究有任何疑問，歡迎您提問，我們將為您做詳細的說明。請您慎重考慮後，才決定是否於同意書上簽名。您須簽署同意書後才能參與本研究。

計畫中文名稱：不同層級棒球投手投擲快速直球手部肌肉活化之分析

計畫英文名稱：The analysis of hand muscle activation of different level baseball pitchers in fastball throwing

機構名稱：清華大學竹師教育學院運動科學系　委託單位：

經費來源：無

主要主持人：邱文信　　**單位/職稱：運動科學系/教授**

共同主持人：　　**單位/職稱：**

協同主持人：　　**單位/職稱：**

研究參與人員 1：陳宴龍　　**單位/職稱：**碩士

研究參與人員 2：廖韋誠　　**單位/職稱：**碩士

※聯絡人：邱文信

※聯絡電話：

※聯絡 E-mail：

一、研究目的：(請以研究參與者能理解之程度，說明本研究之內容)

本研究期望從運動控制的觀點釐清一、不同層級選手投擲快速直球，球速、轉速、上肢尺側伸腕肌、饒側屈腕肌、手背第一骨間背側肌、第二骨間背側肌、第三骨間背側肌與第四骨間背側肌肌肉活化差異。二、不同層級選手投擲快速直球時，手背第一骨間背側肌、第二骨間背側肌、第三骨間背側肌與第四骨間背側肌肌肉活化和球體球速、轉速的相關性。

二、研究參與者之人數與參與研究相關限制：(請說明大約的研究參與者人數、研究參與者之納入與排除條件)

符合下列條件者，適合參加本研究：參與此研究之參與者為 24 名 20 歲以上大專公開組選手，皆具有正規棒球投擲訓練至少 2 年以上，且半年內無重大上、下肢肌肉骨骼相關傷害，投擲之慣用手皆為右手。在實驗期間保持良好狀態，在實驗前量測其人體計測資料，包括身高、體重、年齡等。

三、研究方法及流程：(請說明研究方法及參與研究者將經歷之研究流程、步驟與所需時間)

本研究為避免外在環境干擾而增加實驗工作困難度與降低實驗參數之誤差率，故所有實驗皆於清華大學室內體育館進行。實驗開始前，由同一研究員統一說明實驗流程，並以 5 分鐘時間填寫人體基測資料表，接著每位受試者統一進行 5 分鐘的

上、下肢動態熱身，而後由研究員將受試者進行編號，並請受試者於休息區等候。場地布置方面，以紅色膠帶於體育館地板黏貼一矩形 (長 2 公尺，寬 1 公尺) 作為投擲區，於投擲區矢狀面架設一台高速攝影機 (距離：2 公尺、高：1.6 公尺)，並在投擲區起始處模擬投手丘至捕手距離以皮尺於正前方量測 18.4 公尺，並架設一打擊練習網 (長 1.53 公尺，寬 1.70 公尺) 避免球體因撞擊後損壞，並在網面中心處以白貼黏一矩形 (長 1 公尺，寬 1 公尺) 作為兩組受試者投擲目標區(Wang et al, 2013) (場地布置，如圖 1)。而後依編號請受試者分別清除慣用側手背第一骨間背側肌、第二骨間背側肌、第三骨間背側肌與第四骨間背側肌之皮膚表面毛髮與角質，並由同一研究員將肌電訊號接收器黏貼至各肌肉肌腹位置，以白貼統一綑綁三圈，再站立於投擲區(黏貼方式如圖 2)。

正式實驗由受試者依序進行快速直球的投擲，過程中統一持棒球練習投擲 3 球。並由兩研究員分別確認無線表面肌電儀與高速攝影機，皆能確實收取到數據。實驗開始時，由操控無線表面肌電儀內建傳感器的研究員統一發號施令，當受試者聞「開始」後，統一揮動手臂 3 次，相隔一秒後，以最大努力進行快速直球投擲，同時以測速槍捕捉離手球速，並收取成功投擲入目標區之 3 次，試過程中皆由同一位研究員於受試者右側使狀面與正後方，確定受試者在投擲過程中，肌電訊號接受器皆未脫落，且雙腳皆未超過投擲區起始線，並以測速槍 (Bushnell Velocity Speed Gun B0002X7V1Q, USA) 記錄正中投擲目標區之 3 次球速，作為有效數據之判定依據，完成實驗，預計每位受試者需花費 15 分鐘。

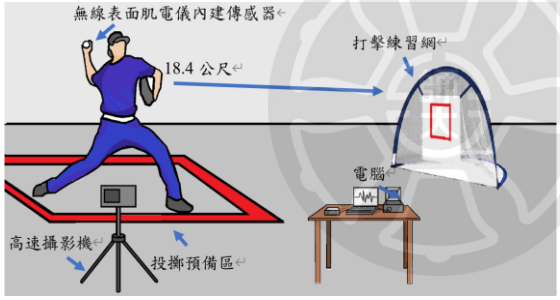

圖 1 場地布置圖

圖 2 表面肌電儀黏貼方式

四、研究益處：

欲提升球體轉速主要需著重在末端小關節的協調與人體細微動作控制，本研究可提供研究參與者客觀之數據幫助參與者釐清小關節的協調與人體細微動作控制如何幫助投擲時增加球速、轉速與控球穩定度。此研究結果亦可提供社會大眾與基層棒球教練於認識棒球投擲或安排訓練計劃時之參考，並給予具體意見，提供訓練計畫之擬定策略。本研究純屬學校單位研究案，因此並不會衍生商議利益。

五、研究潛在風險：(若研究對研究參與者有潛在之生理、心理、或個資保密上風險，請於此說明之)

在研究中舉凡貼肌電貼片或實驗整體過程，需事先以酒精擦拭黏貼部位，並等酒精揮發後再黏貼肌電貼片。黏貼肌電貼片過程中貼片為黏性較為強烈，可能造成皮膚紅腫與悶熱。若使您感到不適，可隨時停止參與實驗或退出實驗，所有的本計畫依法把任何可辨識您的身分之紀錄與您的個人隱私資料視為機密來處理，不會公開，也不會向與本研究不相關的人員透露。本計畫的研究人員、研究倫理委員會的成員以及委託單位，皆有法定的權利檢閱您的研究紀錄並確定研究者所進行的研究是否恰當，和是否已充分保障您作為研究參與者的權利，但在正常的情況下只有本計畫的研究人員

可檢閱可識別您身分的資料，如非必要，研究人員將不會將這些資料向其他單位呈報，而且上述所有人員皆承諾絕不違反您的身分之機密性。如果發表或出版研究結果，您的身分仍將保密。您的回應將加以編號，而連結您的姓名與此編號文件之編碼將分別儲存並保密。所有研究紀錄將妥善儲存並保密。在研究過程中，若有新資訊將可能影響您是否繼續參與本計畫，計畫主持人將特別通知。

六、 研究參與者之保護與損害賠償：（針對上述之風險，請於此欄位中說明：降低風險與保護研究參與者之方法、研究參與者之法定權益受損時之損害賠償）

(一) 本案對於降低風險與保護研究參與者之方法說明如下：

研究參與者為 20 歲以上成年棒球選手，提供系統之肌肉活化的數據化資料，所有的資料辨別皆使用去名編碼，所有資料儲存於必須以密碼開啟的實驗電腦中，本研究使用無線肌電儀器，收集上肢慣用手背第一骨間背側肌、第二骨間背側肌、第三骨間背側肌與第四骨間背側肌之肌肉活化。過程中僅會進行投球動作，並不會要求選手進行其他動作測試，如果參與者在過程中有任何不適，可以隨時終止實驗進行，如果在實驗中發生事故，將以最近新竹國泰醫院做為緊急醫療場所，所有的賠償都由本研究計畫主持人支付。

(二) 有關研究參與者之法定權益受損時之損害賠償

1. 計畫主持人 邱文信 （請填寫計畫主持人姓名）及國立清華大學竹師教育學院運動科學系(請填寫計畫主持人所屬機構)願意依法律之規定就本研究計畫之參與者，因本研究發生之不良事件所受損害，負損害賠償責任。
2. 您簽署本知情同意書後，在法律上的任何權利不會因此受影響。

七、 研究參與者個人資料保護機制：（應包含對於研究參與者個資之(一)運用規劃、(二)保存方式以及(三)保存期限等說明）

(一) 運用規劃：計畫主持人將依法把所有可供辨識您身分之紀錄與您的個人隱私資料視為機密來處理，不會公開。因此所蒐集之資料，將規劃運用於 研討會、科技部產學計畫發表與期刊學術成果發表 。將來發表研究成果時，您的身分仍將保密。您也瞭解，為確保研究過程與數據符合相關法規要求，若簽署知情同意書即同意您的原始紀錄可直接受法定監測者、稽核者、研究倫理委員會及主管機關之檢閱；計畫主持人及所有研究人員也承諾，將不會洩露任何與您身分有關之資料，絕不違反您的身分之機密性。

(二) 保存方式：將嚴格控制原始研究資料接觸者，僅有計畫主持人、本計畫研究人員得接觸原始資料。進一步處理與發表時皆會去名化/去辨識。原始資料保存於 計畫主持人之辦公室檔案櫃與加密之硬碟儲存空間，二者皆上鎖保存 。研究完成後，原始資料均會封存，由計畫主持人 邱文信 （請填寫計畫主持人姓名）保管，不會有其他人接觸。

(三) 保存期限：將於研究成果發表後 2021 年 至 2024 年共 3 年 12 月 31 （請填寫保存期限）銷毀。

八、 研究參與者權利：

(一) 本研究已經過國立清華大學研究倫理審查委員會審查，審查內容包含利益及風險評估、研究參與者照護及隱私保護等，並已獲得核准。如果您研究過程中有任何疑問，可以直接詢問研究人員，亦可與國立清華大學研究倫理辦公室聯絡請求諮詢，其電話號碼為：(03)5715131 # 35133

(二) 計畫主持人或研究人員已經向您說明研究相關之最新資訊，並已告知可能影響

您繼續參與研究之意願之所有資訊。

(三) 研究參與者之報酬（餐點一份）。

(四) 計畫主持人已將您簽署之一式 2 份同意書其中 1 份交給您，並已充分說明本研究之內容。

九、研究之退出與中止：

您可自由決定是否參加本研究，研究過程中不需要任何理由，可隨時撤回同意或退出研究。如果您拒絕參加或退出，將不會引起任何不愉快，或影響日後研究計畫主持人對您的評價，更不會損及您的任何權利。若您決定撤回同意或退出研究，可透過口語表達或是其他方式 進行，計畫主持人將會 立即終止實驗 ，並給予礦泉水作為感謝。研究計畫主持人或研究計畫贊助或監督單位，也可能於必要時中止該研究之進行。

十、簽名

(一) 計畫主要主持人共/協同主持人或研究人員已詳細解釋本研究計畫的內容，以及參與本研究可能帶來的益處與風險。

說明人員簽名：_____ **日期**：_____年_____月_____日

主要或共/協同主持人簽名：_____ **日期**：_____年_____月_____日

(二) 本人已詳細瞭解上述研究方法及其可能的益處與風險，有關本研究計畫的疑問，已獲得詳細說明與解釋。本人同意成為此研究計畫的自願研究參與者。

研究參與者簽名：_____ **日期**：_____年_____月_____日

* 研究參與者為無行為能力者(未滿 7 歲之未成年人者或受監護宣告人)，其知情同意由法定代理人為之；受監護宣告人，由監護人擔任其法定代理人。

* 研究參與者為為限制行為能力者(7 歲以上~未滿 20 歲之未成年人)，完整之知情同意程序應取得
本人及法定代理人之同意，但研究者得申請研究倫理委員會依個案決定，無須取得法定代理人同意。