

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

團隊合作獎

082810

安西教練 - 教你投空心

學校名稱：澎湖縣馬公市中正國民小學

作者：	指導老師：
小六 茆葦瑄	項志偉
小六 許芳瑄	洪常明
小五 楊茲賢	
小五 古璟晏	

關鍵詞： OpenCV、MOG2、投籃軌跡座標

安西教練 - 教你投空心

摘要

本研究結合程式設計與運動科學，開發以 **Python** 為核心的投籃訓練輔助系統，用科學方法分析籃球投籃曲線數據，建立具回饋的訓練工具，幫助學生個人化訓練與提升表現。

研究採 **OpenCV** 電腦視覺技術追蹤籃球飛行軌跡，透過背景相減法，成功記錄了 102 顆空心球的投籃軌跡座標，得到出手角度（平均 49.35° ）、入框角度（平均 41.57° ）及拋物線最高點（平均 3.51 公尺）等關鍵數據，並借助 **ChatGPT** 釐清分析方向與角度計算公式。

本研究利用攝影裝置結合電腦視覺分析，精準記錄投籃軌跡，透過數據分析得出空心球投籃的具體角度與軌跡特徵，成功建構以 **Python** 為核心的投籃訓練輔助系統，為科學化訓練提供輔助機制，未來可擴展系統功能，納入更多參數或運動型態分析，提升系統的泛用性與準確度。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一、研究動機

還記得《灌籃高手》裡面三井壽在球場上投進一顆顆關鍵三分球的畫面嗎？那種完美的弧線、空心入網的聲音，總是讓人熱血沸騰。而流川楓即使面對防守，依然能穩穩投進，也常常是因為他對出手的角度、力量有很好的掌握。身為學生球員，我們也很想像他們一樣，每次出手都能畫出那條漂亮的進球曲線。但現實是，我們常常只能靠「感覺」練球，很難知道自己哪裡做得好，哪裡還可以更進步。所以我們想：有沒有可能用科學的方式，把「感覺」變成「數據」？

因此，我們決定使用程式工具，來打造一個個人化的進球曲線分析與訓練系統。我們想做的，不只是記錄球有沒有進，而是從進球的軌跡、拋物線高度、出手角度等細節，讓每位球員都能更了解自己的投籃風格和狀況。

二、目的

本研究旨在結合程式設計與運動科學，透過開發一套以 **Python** 為核心的「投籃訓練輔助系統」，協助學生進行個人化投籃訓練與表現回饋。透過這個系統，我們希望能達到幾個目標：

(一) 投籃練習數據化、視覺化

透過 **OpenCV** 這類視覺化工具，將投球的軌跡座標數據化，並利用數據的統計與分析動態呈現角度、高度、拋物線曲線趨勢，幫助學生球員直觀了解出手的變化與差異。

(二) 完成可回饋的訓練提示工具

初步建構一套簡易的投籃訓練提示系統，提供個人進球曲線建議、數據紀錄與成效追蹤功能，作為未來 **AI** 投籃教練系統的雛型。

我們相信，這不只是科技與運動的結合，更是一種動手解決問題的學習方式。就像櫻木花道從一個籃球門外漢，靠著不斷訓練成為籃板王，我們也希望透過這個專題，從零開始學習，打造出屬於我們自己的安西教練！

三、文獻探討

以前有一些哥哥姊姊參加科展時，也做過跟籃球有關的研究，雖然跟我們這次做的不完全一樣，但他們的想法和做法對我們很有幫助。

像是 2003 年中正國中的哥哥，他們研究的是探討籃球拋物線軌跡、入射角、初速度與距離之間的關係。他們用了物理的公式來算算看，讓我們知道其實數據模型也有很多力學的道理，這對我們了解空心球的條件與最佳投籃軌跡有幫助。

還有更早在 2014 年，竹北博愛國小做了一個「投籃機器人」，可以自動把球投出去。他們試了很多種角度和不同材質的球，來找出最容易進球的組合。雖然他們用的是機器，但他們的做法也可以幫助我們了解進球的條件。

再來是 2021 年花蓮明廉國小的同學，他們發現球隊在練投籃的時候，命中率有時候不好，所以就用量角器記錄不同角度和距離投籃會不會進。他們做了很多次測試，發現投籃的角度真的會影響命中率，這跟我們想要分析進球曲線也很像！

這些研究都讓我們知道，其實籃球不是只靠感覺，也可以用科學來幫忙。我們這次的研究就是想把這些資料變成電腦可以看的數據，再用程式畫出最佳的投籃曲線，帮助大家找到最適合自己的出手方式！

表 1- 文獻探討內容與本研究關聯性

年度	學校/ 單位	專題 名稱	研究內容簡述	與本研究之關聯性
2003	台北 縣中 正國 中	空心 球的 奧秘	本研究由學生主動發想，以數學與物理公式為基礎，探討籃球拋物線軌跡、入射角、初速度與距離之間的關係，並運用 MATLAB 建構模型與模擬軌跡，找出成功投出空心球的條件與最佳參數組合。	研究方法與數據模型和本研究方向高度相似，是本研究「個人化訓練回饋系統」中的理論與數據分析核心來源。MATLAB 可轉換為現代 Python 程式實作，進一步達成可視化與動態訓練回饋。
2014	竹北 市博 愛國 小	百發 百中 —機 械投 籃機	喜愛籃球，但實際投籃常常不進，想透過自製機械來找出最理想的進球方式。建造投籃機，探討哪些因素影響命中率，包括角度、距離、球體材質、彈力材料、手腕彎曲度等	以機械模擬出一致的出手方式，為靜態、實體觀察，可成為你「個人化訓練系統」模型驗證與模擬資料來源之一，進一步實現資料驅動回饋系統。

年度	學校/ 單位	專題 名稱	研究內容簡述	與本研究之關聯性
2021	花蓮市明廉國民小學	灌籃高手-投籃準度機率提升	看見學校籃球隊員投籃練習效率不一，希望找出提高投籃準度的方法。利用量角器與自製輔具記錄不同投籃角度與位置的命中率，並邀請球隊成員實地操作觀察紀錄。	聚焦於「投籃準度」、「角度與距離的關係」，屬於籃球投籃技術的應用研究。 同樣希望幫助球員提升投籃表現，並可作為訓練回饋參考，是「個人化系統」雛型的前期實驗。

參考了其他學校的研究從觀察學長姊怎麼投籃、自己做機器來幫忙練習，到用電腦算出最棒的投籃方法，這三種不同的方法都幫助我們想出一個可以「幫助每個人練得更準」的訓練小幫手。也讓我們發現，原來在學校裡，大家也可以用各種有趣的方式來研究怎麼投得更準。

貳、研究設備及器材

我們的研究前期主要分析籃球「空心球」的投籃軌跡，透過結合數位感測與影像處理技術，建構一套可量化的投籃分析系統，研究過程中所使用的設備與器材如下：

表 2- 研究設備器材及用途說明

類別	設備 / 器材名稱	用途說明
攝影與電腦視覺	ipad (支援 30fps、1080p)	拍攝投籃時球體飛行的側面畫面，供 OpenCV 分析軌跡使用
	三腳架 / 固定支架 木作固定架	穩定攝影畫面，避免軌跡受鏡頭晃動影響
	OpenCV 程式設計環境	擷取影格並自動追蹤球體位置，輸出軌跡座標
	Python 程式語言與套件 (如 NumPy、Matplotlib)	處理軌跡座標、進行拋物線擬合、統計分析與機器學習建模
運動數據感測	ADXL335 三軸加速度感測器 ×3 (手掌、手肘、手臂)	初期實驗用於分析投籃出手時的加速度變化 (後因變異性大改採電腦視覺)
	esp32 TTGO T-display 開發板	連接感測器並記錄加速度資料

類別	設備 / 器材名稱	用途說明
實驗輔助工具	Excel、Google Sheets	彙整與處理投籃時球體座標與計算角度、高度等資料。
	籃球（標準尺寸）	進行空心球投籃的主要器材
	標準籃球架與籃框（國小高度 260cm）	實驗場域中提供穩定投籃環境
	室內運動場地	避免外部氣候影響，提高數據穩定性

參、研究過程或方法

一、實驗環境的擇定

在一開始實驗裡，我們找了幾位同學一起參加，每個人都要從不同的距離和角度來投籃。為了記錄每一球的飛行，我們用手機架在三腳架上，固定好位置來拍攝整個投籃過程。這樣我們就能把影片拿去分析，看看球是怎麼飛的。每位同學在不同的位置都要投籃 10 次，我們一邊看是不是有進球，一邊把結果記下來，有沒有進？從哪裡投的？等等。我們也會觀察到進球有可能是空心或是擦板，這些都會影響分析結果。我們還準備了卷尺來量每個投籃點跟籃框的距離，也用粉筆在地上做記號，確保大家都站在一樣的地方投籃。這個階段我們把投籃變成一種「數據實驗」，我們很期待之後用程式分析這些資料，看能不能找出自己的「完美投籃拋物線」！不過，我們是在學校的室外球場進行實驗，過程中發現有一些外在的因素會影響我們的結果。例如有時候風變大，球會被吹偏；背景環境的樹葉因風力晃動影響影片的分析結果。



圖 1-使用手機、三腳架拍攝



圖 2-室外環境丈量設定



圖 3-室外環境丈量設定

室外常常會遇到風，尤其是側風或陣風，會讓球的飛行軌跡被吹偏，造成誤差。在室內，空氣流動較小，球的軌跡更容易維持原本的路徑，實驗數據會更準確、更容易做分析。室內

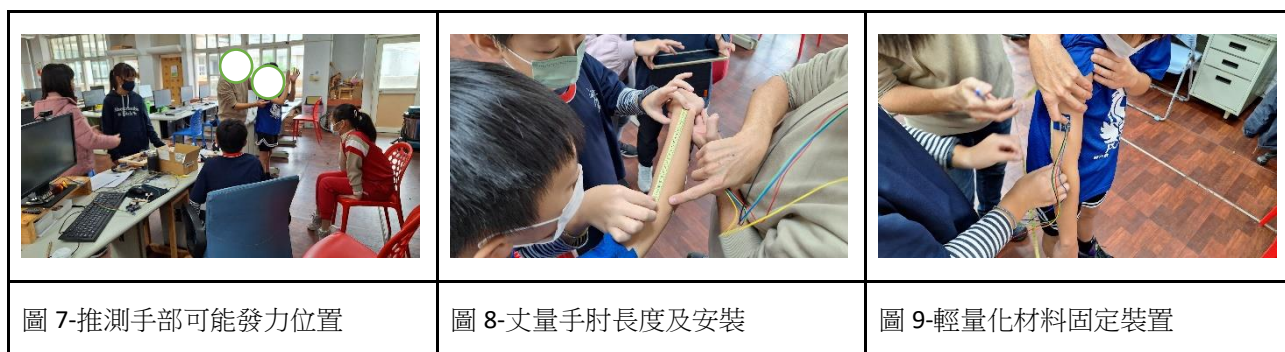
光源穩定，可以讓攝影機拍得更清楚，背景較少環境干擾，也方便使用影像追蹤工具 OpenCV 做電腦分析。室內環境穩定，設備可以安全架設在固定點，確保每次錄影角度一致，提升實驗可靠性。



二、手掌、手肘與手臂投籃時的加速度測量實驗

在進行實驗之前，我們透過觀察投籃動作並詢問學校籃球教練的意見，推測投籃時手掌、手肘與手臂的發力協調性可能會明顯影響進球的成功率。教練表示，良好的投籃動作通常伴隨手臂的穩定與手肘的適當彎曲和伸展，而出手瞬間手掌的力量控制則與球的穩定飛行密切相關。因此我們預測，在成功投進籃框的過程中，這三個部位的加速度變化是否會因應進球與否而有相對關係？

為了驗證我們的猜想，我們打算使用三顆 ADXL335 三軸感測器，分別安裝於投籃者的手掌、手肘與手臂處，以偵測動作時各部位的動態變化。實驗進行前，我們先透過 TTGO T-Display ESP32 開發板進行感測器的校正與訊號穩定性測試。利用 Arduino IDE 軟體即時檢視各軸的電壓輸出值，確認靜止狀態下輸出數據波動極小，表示訊號穩定。



另外，為了界定感測器軸向傾斜的準確範圍，我們將感測器逐軸傾斜至 $\pm 90^\circ$ 度，分別紀錄輸出電壓的最高與最低值，建立傾角電壓對應關係，以利實驗時快速判讀與轉換加速度數據。校正完成後，我們透過魔鬼氈等材料製作輕量化的感測器固定裝置，將感測器穩固地配置於受測者的手掌、手肘與手臂的中心位置。此外，進行正式數據紀錄前，我們向受測者說明實

驗流程，並進行數次投籃練習，使受測者熟悉實驗環境，以降低實驗過程中的動作差異性。以上步驟皆完成後，確認感測器訊號穩定、受測者熟悉操作，才開始進行正式的投籃加速度數據採集。

實驗安排在室內標準籃球場進行，受測者站在固定投籃位置，距離籃板約 4 公尺，實施罰球線定點投籃。每次實驗受測者連續投籃 10 顆球，投籃過程中感測器將持續紀錄手掌、手肘與手臂的三軸加速度數據，每次投籃間隔約為 2 分鐘，以避免疲勞累積影響投籃動作精確性。整個實驗共進行 10 回合，總計完成 100 次投籃紀錄，過程中我們透過攝影方式記錄，並同步紀錄進球或未進球狀態，以供後續加速度數據之比對分析。所有實驗條件與環境因子皆保持一致，以確保所蒐集之數據具備一致性與可靠性，進而找出影響進球的動作特徵。

		
圖 10-感測器連接魔鬼氈	圖 11-感測器的校正與測試	圖 12-感測器連接電腦紀錄
		
圖 13-感測器紀錄三軸數據	圖 14-罰球線定點投籃	圖 15-透過攝影方式記錄進球

實驗數據經過分類與視覺化後，我們預期投籃成功進球時手掌、手肘與手臂的加速度變化會呈現明顯而規律的趨勢。但是比對進球與未進球動作的加速度波形圖後，卻發現兩者並未表現出明確且直接的關聯性。許多成功進球與未進球投籃動作的波形相似性極高，且存在一定程度的數據重疊與混雜，無法有效地從視覺化圖表中判斷動作是否能成功進球。因此，本次實驗的結果顯示，單純以手掌、手肘與手臂的三軸加速度視覺化數據來評估進球的成功性，可能不足以作為可靠的指標，需再進一步探索其他潛在的影響因素或分析方法，以獲得更明確的結論。

三、OpenCV 擷取球員投籃時球的運動軌跡

前一項實驗失敗後，我們持續思考該量測球員投籃時哪一種數據作為提升進球的參考建議？出手時球的運動軌跡、出手時的角度、出手需要將球拋多高？投籃成功與否之間的關聯性？

考量到我們需要偵測動態移動的籃球，我們在實驗中嘗試使用電腦視覺庫 OpenCV，並應用背景相減演算法（MOG2）進行動態物體的軌跡追蹤與座標紀錄。影片拍攝完成後，透過 OpenCV 函式庫的 cv2.VideoCapture 函式讀取影片檔案。主要實驗工具是使用背景減除法 MOG2（cv2.createBackgroundSubtractorMOG2）建立背景模型，透過背景差異有效偵測並追蹤運動中的籃球物體。對於每一影格，系統先進行背景減除處理後，再進一步找尋輪廓。當輪廓的面積超過 400 像素時，即認定該區域為有效追蹤物件，並利用 cv2.boundingRect 函數幫追蹤物件畫出矩形。

當偵測的物體位於設定範圍內-y 座標小於 400 像素且 x 座標大於 480 像素時，將物體的座標紀錄下來。為配合分析座標系統，實驗中將影像 y 座標進行轉換，紀錄實際物體位置的 x、y 座標。座標資料將依序寫入外部檔案.json 格式，以提供後續數據分析所需。整個實驗過程以視覺化方式同步顯示於螢幕上，追蹤的物體將以紅色矩形標示，而座標資料將以黃色文字呈現於即時影像中，使實驗所記錄過程視覺化。



圖 16-使用背景相減演算法偵測取得投籃軌跡座標資料

四、第一次 OpenCV 的投球軌跡分析

我們邀請了 8 位同學參與實驗，每位同學進行 50 次投籃，總計 400 次投籃軌跡記錄。實驗過程中，為了避免同一球員同次投球過多造成疲勞，每次僅投 10 球，輪到下一次有 7 人次

的休息時間。同時我們使用攝影機從球員的側面視角進行拍攝，確保每次投籃的完整軌跡皆能被清晰地捕捉。接著，我們透過 OpenCV 程式處理每次投籃影片，提取每顆球在空間中的水平（X 軸）與垂直（Y 軸）座標數據，並繪製成可視化軌跡圖。我們的目標是空心球的運動軌跡，在將 400 球數據中所有 95 顆空心球筆座標數據繪製於座標分布平面後，我們發現原本應為一致的拋物線軌跡，卻明顯呈現出三組具有水平偏移不同曲線趨勢。經過進一步檢視與分析，我們推測導致這三組水平偏移的主因為攝影過程中腳架角度不同，造成攝影視角的偏差。以致於這些數據只能報廢，無法進一步用於分析。

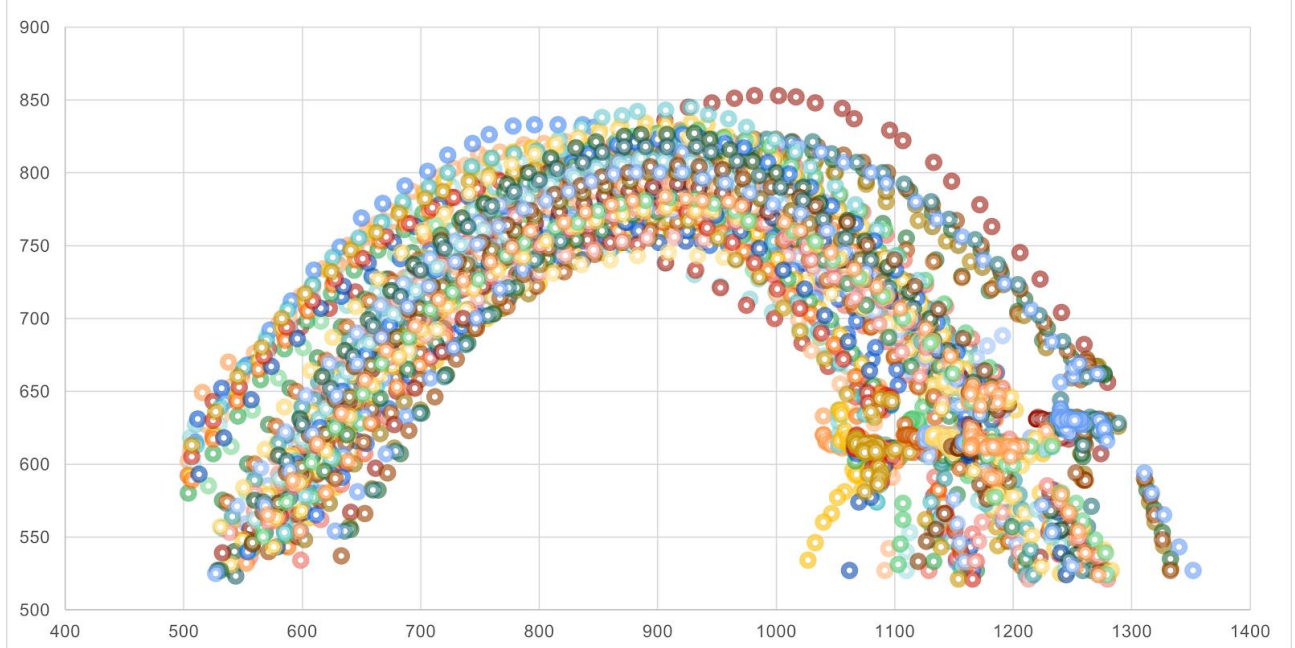


圖 20-第一次 OpenCV 辨識空心球投球軌跡座標分布圖

這項意外的實驗變因提醒我們在未來實驗中，必須特別注意並確保攝影設備的穩定性，以避免因器材移動而產生誤差，進而影響數據的可靠性與準確性。同時，我們發現應將目標全放在「空心球」的運動軌跡，本次實驗整體空心球命中率為 23.75%(95/400)，從球員最後的表現而論，籃球隊身分的球員擁有較高空心球命中率，一般身分的球員空心命中較低。為此，我們需要修正攝影器材的穩定性以及挑選球隊球員來繼續實驗。

五、第二次 OpenCV 的投球軌跡分析

在前次的座標分布圖中，我們發現軌跡資料分成了三組明顯的水平偏移現象。為了提高實驗的可靠性與數據的精確性，我們選擇使用木作結構來固定攝影設備，以有效地消除腳架位移問題。首先，我們測量攝影設備的尺寸並設計了一個木製框架，此框架牢牢固定於地面並明確標記出攝影機應置入的位置，以確保每次拍攝過程中，攝影機位置與角度皆完全一致。



經過測試模擬拍攝，確保攝影設備在整個實驗過程中皆能保持完全靜止。之後，我們再邀請 6 名籃球隊球員進行了新一輪的投籃實驗，每位同學進行 50 次投籃，總計 300 次投籃軌跡記錄。並再次使用 OpenCV 追蹤每次投籃的軌跡座標。經過這次嚴謹的實驗控制後，所獲得的軌跡資料顯示，原先出現的三組明顯偏移情況已顯著降低，證實固定攝影設備能有效地提升了數據的一致性與實驗的可靠性。下圖是由球員投出 300 球中，選取其中 102 顆空心球製成座標值分布圖。

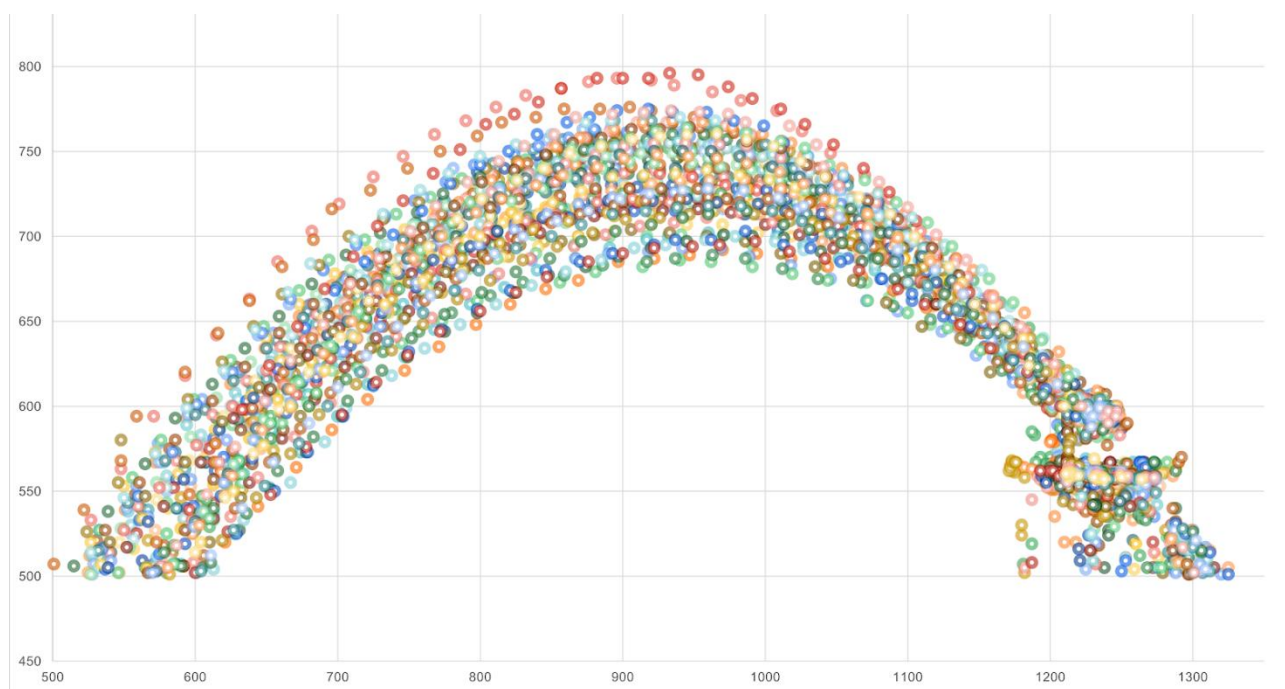


圖 24-第二次 OpenCV 辨識空心球投球軌跡座標分布圖

我們總共蒐集了 102 顆空心球的側面觀測軌跡資料，總計高達 3023 筆座標點。每 1 球的飛行軌跡都由大約 30 組連續的 x, y 座標所組成，使用試算軟體畫出球體在空間中飛行的完整曲線。然而，面對如此龐大且複雜的資料量，初期我們一時無從著手，不確定應該先進行哪些統計計算或圖形分析，才能有效掌握數據背後的趨勢與意義。在此背景下，我們決定嘗試借助人工智慧分析輔助工具 ChatGPT。我們將資料的大致結構與分析目的輸入 ChatGPT，請求其協助找出分析方向。經過初步對話後，ChatGPT 協助我們整理出四個關鍵分析面向：

提示詞
如果從「空心球」的側面觀測數據， 應該要提取哪些資料才能判斷會不會空心進球？
chatGPT
<p>若要從「空心球」的側面觀測數據判斷投籃是否會空心進球，可以從以下幾個關鍵資料或特徵著手提取：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 出手角度（Initial Angle）：球從手中離開瞬間的飛行角度。 ● 入框角度（Entry Angle）：球即將進入籃框瞬間的飛行軌跡角度。 ● 軌跡最高點（Apex）：記錄球飛行軌跡的最高點位置，包括：高度（最大 Y 值）與籃框的水平距離（X 值）合適的拋物線頂點位置有利於空心進球。 ● 拋物線曲率與係數（Curvature）：軌跡的曲率或拋物線方程的係數（a、b、c 值），適中的曲率有利於空心球。

依據 AI 工具-chatGPT 的建議，與我們現有的分析結果，我們應進行三種數據的分析：出手角度、入框角度、軌跡最高點。而這三種數據我們使用試算表工具內建的函數功能就可以幫我們完成分析數據。為了深入探討並精準計算「出手角度」與「入框角度」，我們決定尋求 AI 工具 ChatGPT 的協助。

首先，我們與 ChatGPT 一同釐清了兩個關鍵角度的物理意義，這兩者都是描述球在運動過程中，與水平方向的「夾角」，但一個在起始階段，另一個在結束階段。：

出手角度指的是每 1 次投球座標數據的第 2 筆數據減去第 1 筆數據得到兩邊長，分別是 X 座標相減所得到的鄰邊、Y 座標相減得到的對邊之間所形成的夾角。

入框角度則是球進入籃框前的瞬間，投球座標數據的倒數第 1 筆數據減去倒數第 2 筆數據得到兩邊長所形成的夾角，但方向是朝下的。

AI 建議使用基本的三角函數公式：角度 $\theta = \text{ATAN}((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1))$

這是一種可以計算兩點之間連線與水平線夾角的公式，我們將其轉換成 Excel 函數格式：

=DEGREES(ATAN(後一點 Y 座標 - 前一點 Y 座標, 後一點 X 座標 - 前一點 X 座標))

這段公式會先計算出相鄰兩點形成向量的斜率角度，接著將弧度轉換成角度。透過這次與 AI 的合作，我們不但學會了角度計算的實用方法，也對座標資料的物理意義有了更深刻的理解。ChatGPT 在解釋公式與提供範例方面，扮演了清楚明確的導師角色，幫助我們從龐雜數據中抽絲剝繭，找到關鍵資訊。

肆、研究結果

一、三軸加速度感測器於籃球投籃動作之應用研究結果

本實驗中我們採用了三顆 ADXL335 三軸加速度感測器，分別安裝於受測者的手掌、手肘與上臂位置。透過這樣的配置，我們能夠同步擷取投籃時這三個部位的加速度變化，以分析其運動模式與投籃表現之間的可能關聯

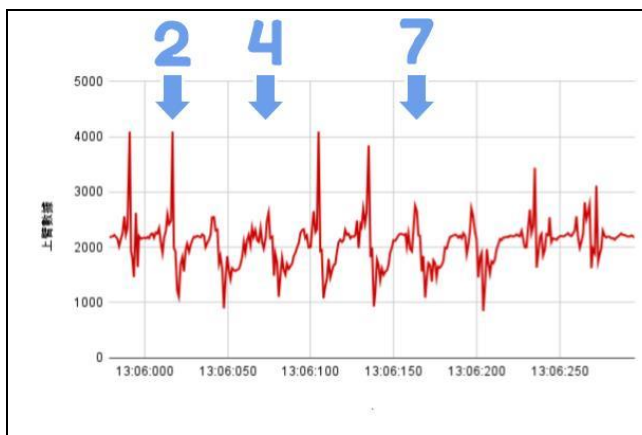


圖 25-上臂數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示

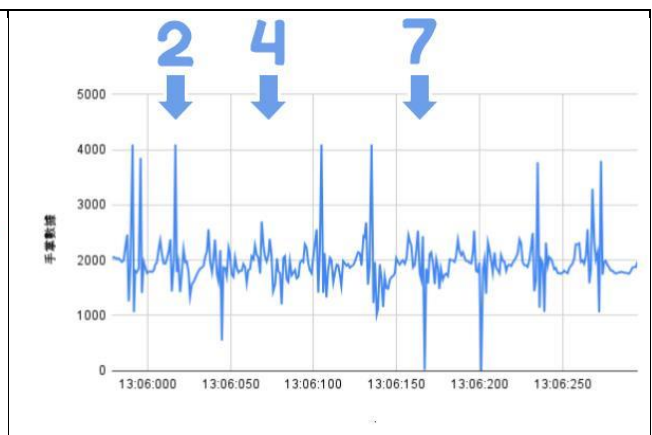


圖 26-手掌數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示

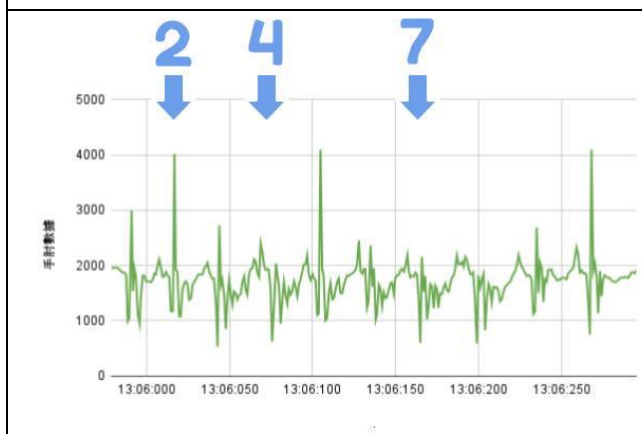


圖 27-手肘數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示

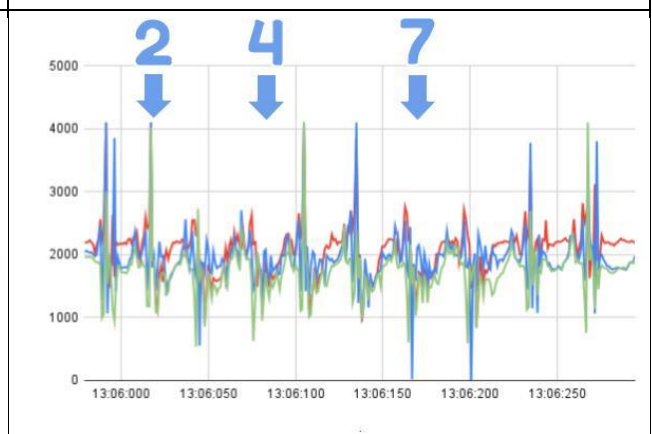


圖 28-全數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示

。每一次投籃動作皆同步記錄三組三軸感測器，並搭配時間軸進行標記。我們共進行 10 次投籃實驗，每次投 10 球，總共累積 100 筆投籃紀錄。投籃後，依據是否進球，將每筆資料分為「成功投籃」與「未成功投籃」兩組，進行比較分析。資料收集後進行時間軸對齊與峰

值分析，並將資料依照是否進球分類，試圖從中尋找一致性特徵，詳細數據均記載於實驗日誌。分析後發現，資料中未呈現明顯的節奏一致性或可辨識的力道傳導特徵，具體結果如下：

- 加速度曲線變異大：同一位受測者於不同次投籃中，其加速度波形差異顯著，無法呈現穩定的節奏或明確的力道傳遞方向。
- 成功與失敗投籃曲線相似性高：雖有進球與未進球之分類，但其加速度數據在波形走勢與峰值位置上並未顯示明確差異，如圖 28 所標示。
- 感測器穩定性受限：ADXL335 雖為穩定性良好的類比感測器，但魔鬼氈等材料對於感測器固定穩定性仍有待改進，我們推測實驗中可能感測器出現微幅滑動或轉向的情況，進一步影響資料準確性。

本次實驗所採用的三顆 ADXL335 感測器在投籃動作分析應用中，尚無法有效辨識出進球與否的關鍵動作特徵。我們推測造成此結果的可能因素包括感測器安裝穩定性不足、動作過程複雜性高、以及單純加速度資訊無法涵蓋完整運動動態等。本實驗結果雖未如預期達成有效分類，但對於感測器應用於動態動作分析的限制與困境提供了實證，為後續相關研究提供了重要參考依據。

二、使用 OpenCV 擷取投球軌跡座標進行分析研究結果

為深入探討籃球「空心球」投籃軌跡的運動特徵，我們運用 OpenCV 影像處理技術，並應用背景相減演算法（MOG2）進行動態物體的軌跡追蹤與座標紀錄。

從側面拍攝的影片中追蹤籃球飛行過程，擷取每次投籃的球體位置座標，影片解析度設定為 16:9 比例，並於後製階段將原始影像尺寸調整至 1600×900 像素，以便於後續進行拋物線軌跡分析。所有 300 球樣本經過登記分析後，使用其中 102 筆「空心進球」軌跡資料，每筆資料包含球體飛行過程中的水平位置 X 與垂直高度 Y 座標點。

每次投籃由單一球員投籃 10 顆，時間約 45 秒，每次取得 500~600 筆座標數據，一次實驗就會有近 20,000 筆座標數據，每 1 顆投籃擷取數據參考所有出手數據 X 座標介於 501-629，Y 座標介於 501-533，每 1 顆投籃飛行的影格數介於 26-34 個影格。根據前面這些特徵，我們從數據中把所有每 1 顆投籃的籃球飛行座標擷取在試算表當中。

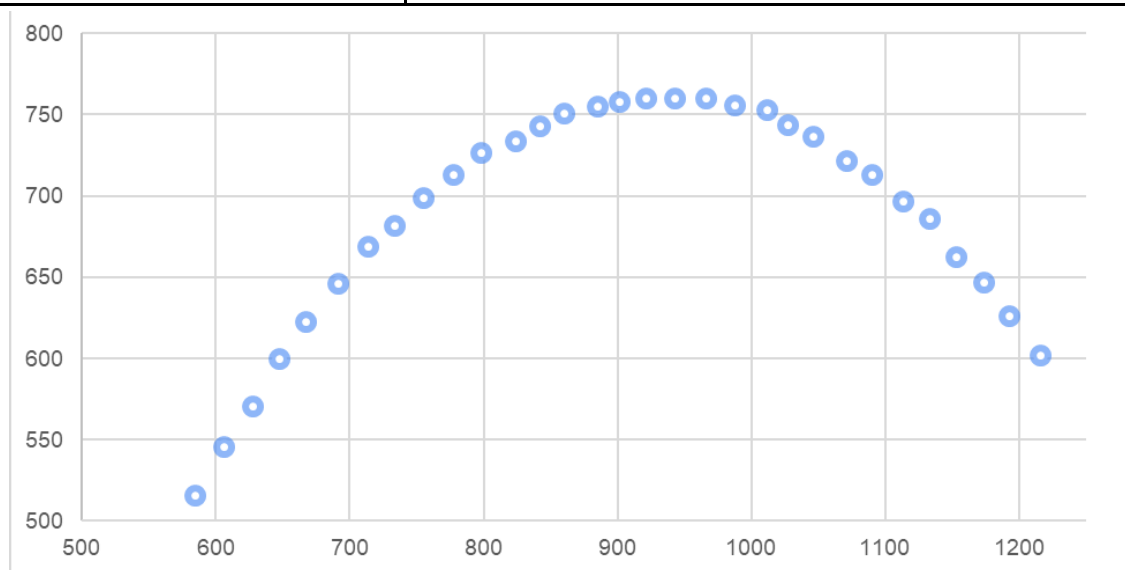
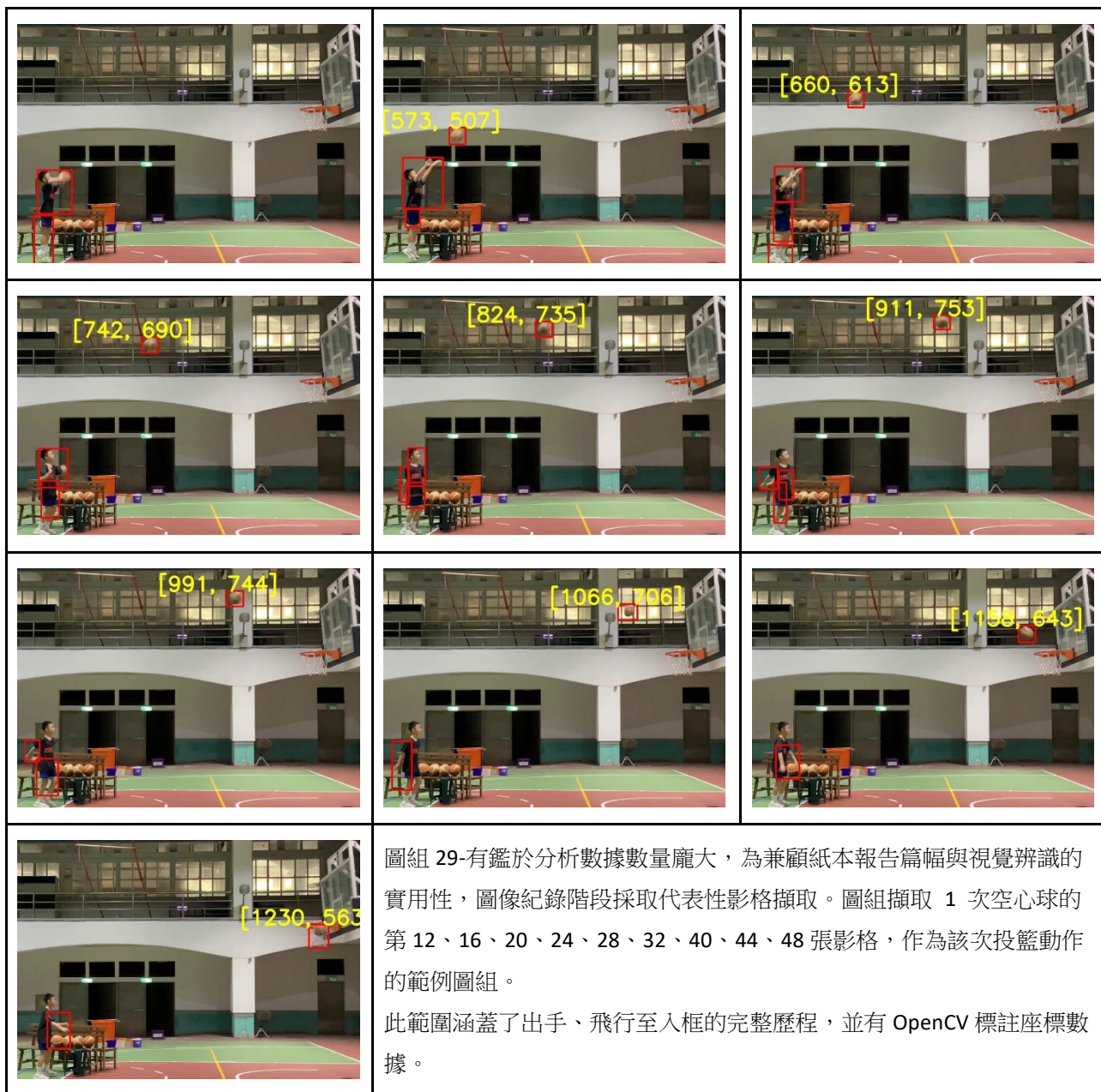


圖 30-單一空心球軌跡 XY 座標分布圖

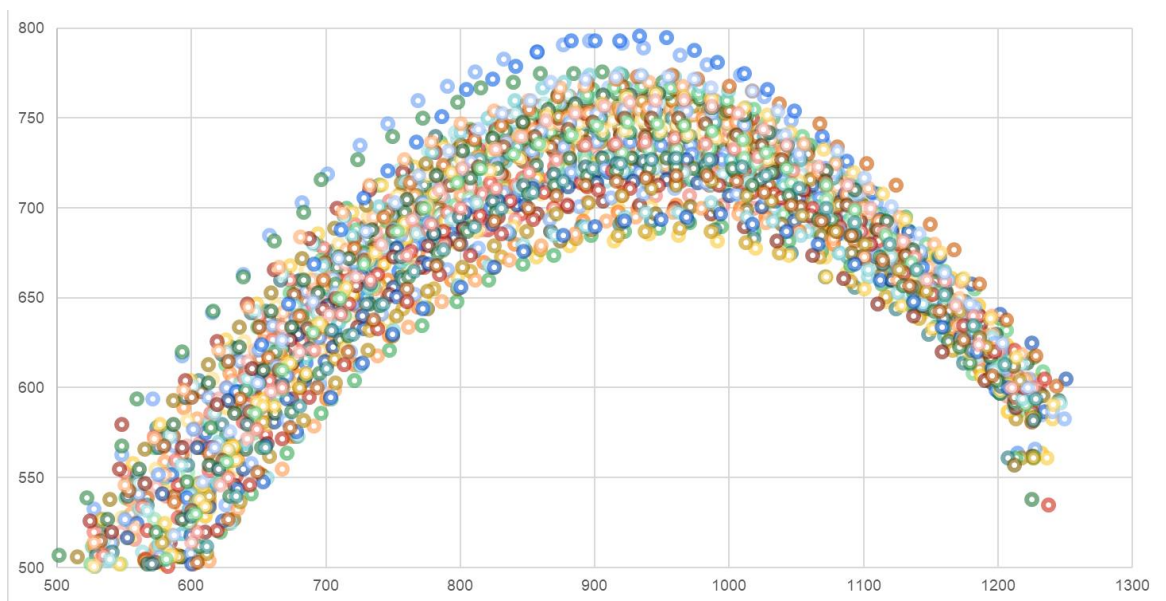


圖 31-102 顆空心球軌跡 XY 座標分布圖

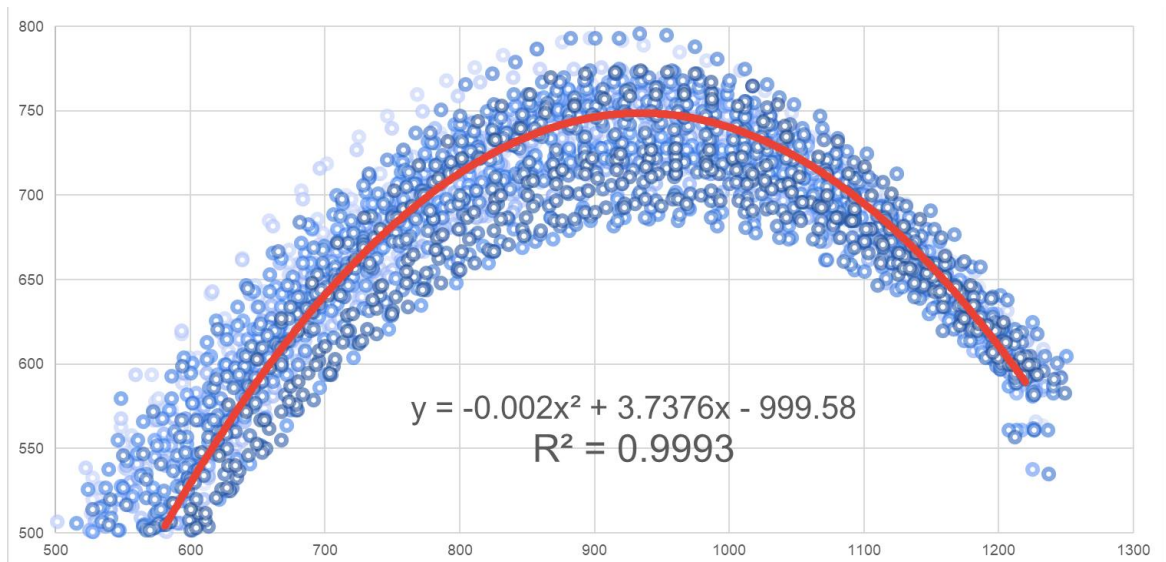


圖 32-102 顆空心球軌跡 XY 座標最佳擬合曲線

為深入了解「空心球」進球背後的物理關鍵，我們選擇從 OpenCV 追蹤影像所取得的 102 顆空心球、共 3023 筆投籃座標數據中，根據 chatGPT 建議我們選擇出手角度、入框角度、軌跡最高點三個方向進行分析，經統計彙整後，取得以下重要指標：

表 3-空心球軌跡的出手角度、入框角度、軌跡最高點統計數據表

分析項目	中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
出手角度	49.32°	49.35°	5.26°	60.64°	34.08°
入框角度	41.19°	41.57°	6.58°	62.02°	27.35°
拋物線最高點 Y 軸	739	738.24	23.39	796	686

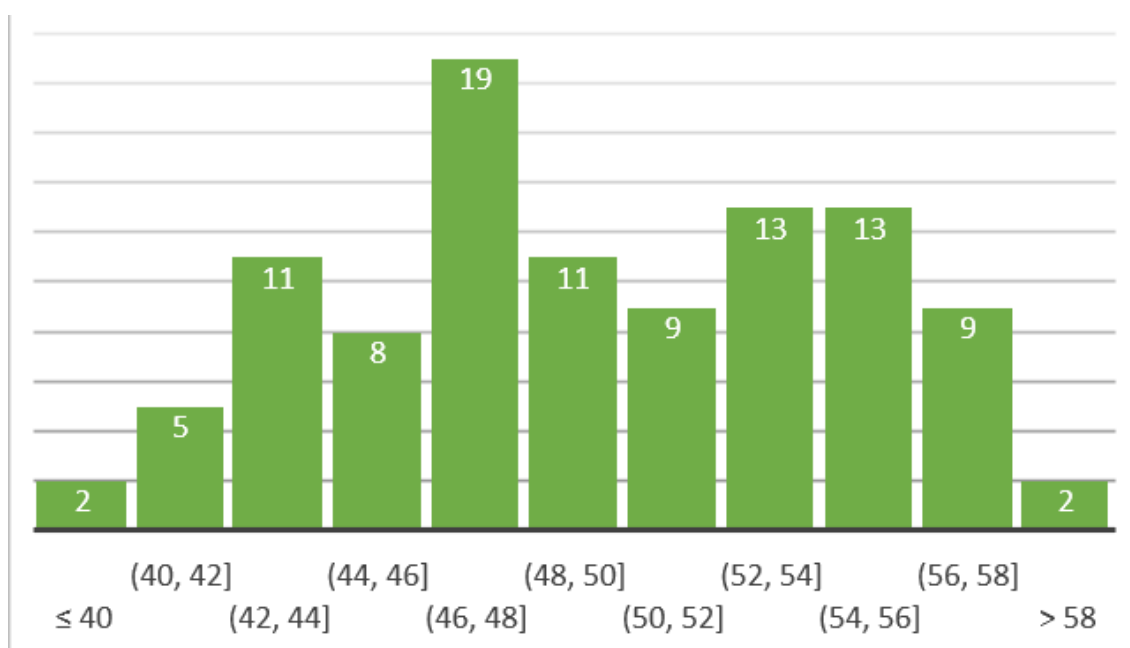


圖 33-空心球投球軌跡分析-出手角度分布長條圖

統計結果與解釋：

- 平均出手角度為 49.35 度，中位數為 49.32 度，出手角度集中於約 49 度上下，並無明顯數值偏高或偏低。
- 標準差為 5.26 度，顯示出手角度表現穩定，但仍有一定程度的個體差異。
- 最大出手角度為 60.64 度，最小為 34.08 度，兩者之間的落差達 26.56 度，顯示不同投籃風格、身高可能導致出手角度的顯著變異。

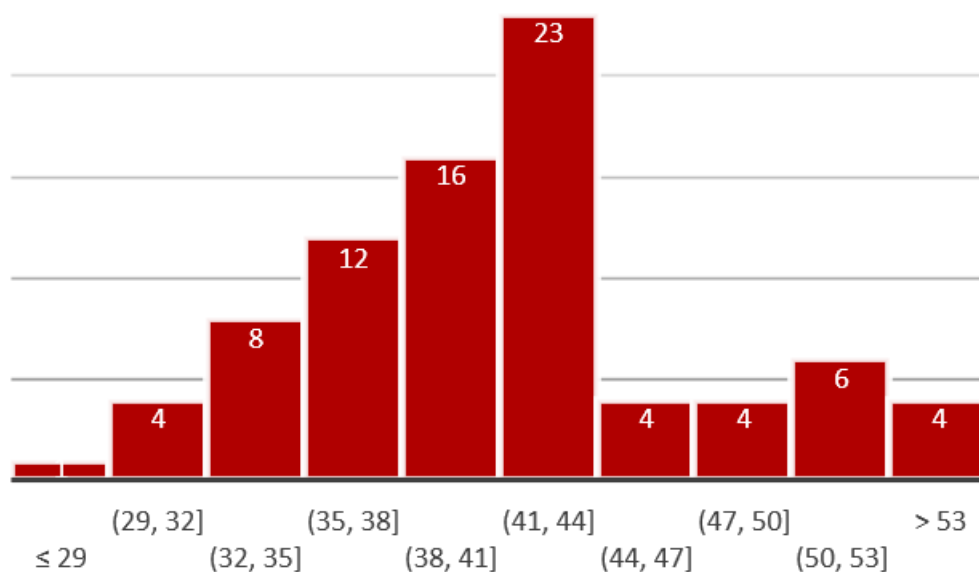


圖 34-空心球投球軌跡分析-入框角度分布長條圖

統計結果與解釋：

- 平均入框角度為 41.57° ，中位數為 41.19° ，顯示空心球的入框角度普遍落在 40° 左右的區間。
- 標準差為 6.58° ，說明雖整體趨勢集中，仍存在一定程度的個體差異，顯示不同投籃方式可能帶來不同的入框策略。
- 最大與最小值之差達 34.67° （從 62.02° 到 27.35° ），代表即使入框角度較低或較高，也有可能產生空心球。

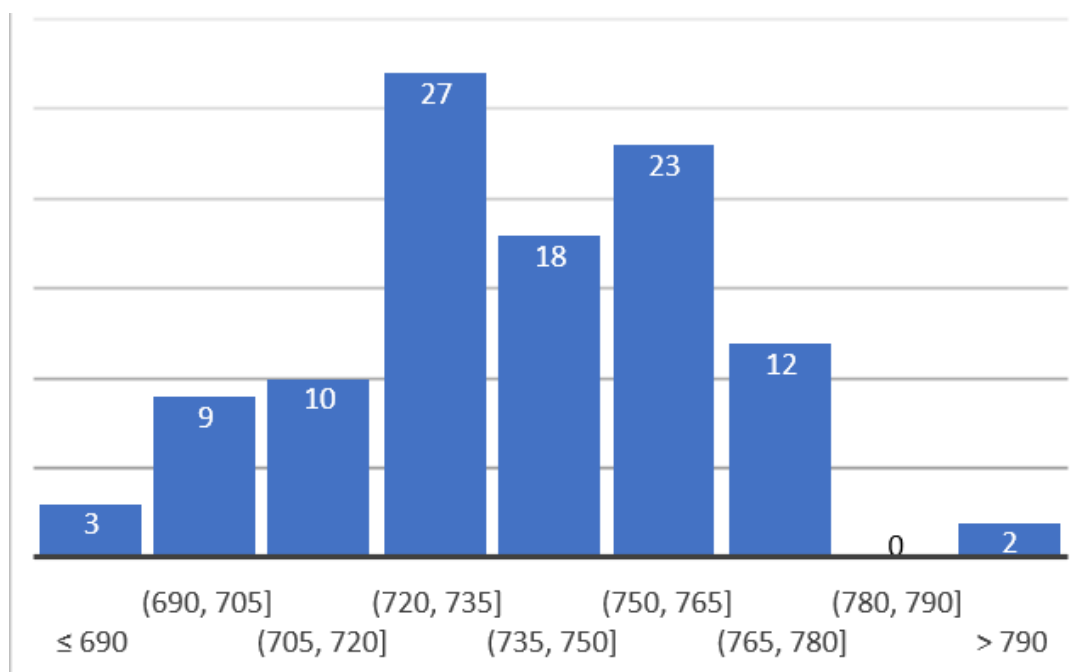


圖 35-空心球投球軌跡分析-軌跡最高點分布長條圖

統計結果與解釋：

- 由於影像畫面解析度為 1600×900 ，本分析中「739」代表的是 Y 軸像素位置。
- 平均值與中位數非常接近（738.24 與 739），顯示整體分布趨近對稱並無明顯數值偏高或偏低。
- 標準差為 23.39 像素，代表不同球員或投籃場次間仍有一定程度的拋物線高度變化。
- 最大與最小值分別為 796 與 686 像素，最高點落差達 110 像素，顯示某些投籃角度可能較平或弧度較高，但仍都成功命中。

三、像素到現實的橋樑：空心球投球軌跡拋物線最高點的實體高度轉換分析

經前一小節統計彙整後，拋物線最高點 Y 軸分析數據：最高點的 Y 軸像素平均值為 738.24 像素，中位數為 739 像素，並集中分布於 686 至 796 像素之間。然而，這些數據畫

面解析度（1600×900 像素），僅為影像中的相對位置，若要推導真實世界中球的實際飛行高度，應將像素轉換為公尺（m）。

表 4-空心球軌跡的軌跡最高點統計數據表

分析項目	中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
拋物線最高點 Y 軸	739	738.24	23.39	796	686

為達成轉換目的，我們根據攝影當時的現場設置，相關的參考數字如下：

- 球員身高：144.4 公分
- 畫面中球員佔有像素：248px
- 因此可以得出像素與高度對應比例： $= \frac{1.444 \text{ m}}{248 \text{ px}} \approx 0.0058225 \text{ m/px}$

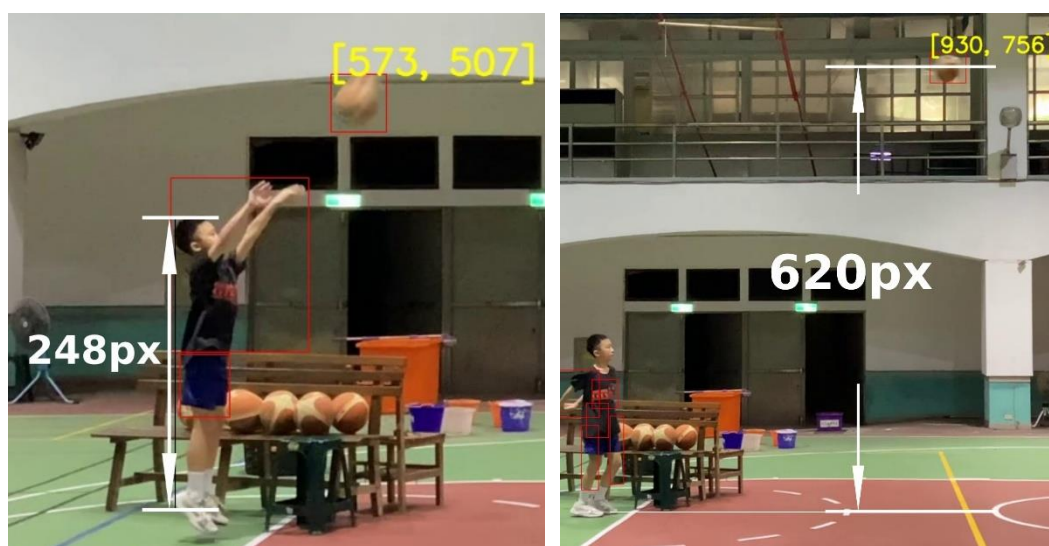


圖 36-空心球投球軌跡分析實體高度轉換例圖

但是，我們發現拍攝時的影格地平線應該以球員兩腳中心為對齊地平線，而非原本拍攝影格的底部，考量相關的參考數字如下：

- 從畫面底部到籃球中心的高度是 756px
- 球員地平線到籃球中心的高度是 620px
- 應扣除底部高度為： $= 756\text{px} - 620\text{px} = 136\text{px}$

表 5-空心球軌跡的軌跡最高點統計數據表

分析項目	中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
拋物線最高點 Y	739px	738.24px	23.39px	796px	686px
扣除 136px 底部	603px	602.24px	23.39px	660px	550px
轉換實際高度	3.51m	3.51m	0.14m	3.84m	3.20m

四、「安西教練 - 教你投空心」投籃訓練輔助系統

本研究旨在透過電腦視覺技術，分析並預測籃球空心球投籃軌跡特徵。利用 Python 結合 OpenCV 函式庫，建構了一套自動化系統，能夠偵測並追蹤籃球的運動軌跡，進而自動化計算出手角度、拋物線最高點以及入框角度等關鍵投籃參數，並給予球員及時的提示和回饋。

(一) 投籃訓練輔助系統的程式設計

前面的研究過程，我們透過 MOG2 背景移除方法，取得籃球運動時的軌跡座標，以便準確捕捉籃球的運動狀態，並依據實驗取得的數據計取得最佳擬合曲線以及出手角度、拋物線最高點以及入框角度等關鍵投籃參數的統計數據。研究過程時的系統已能辨識軌跡座標，在此基礎下我們進一步導入前面研究所取得數據，為原本的辨識程式添加功能：

1. 精細化投籃狀態判斷：

設定籃框區域，透過該區域的設定能判斷進球與否，採用連續 20 幀無球偵測作為單次投籃結束的判定條件；而進球後則暫停 30 幀偵測，以避免籃網晃動造成進球誤判。

2. 統計分析與即時判斷：

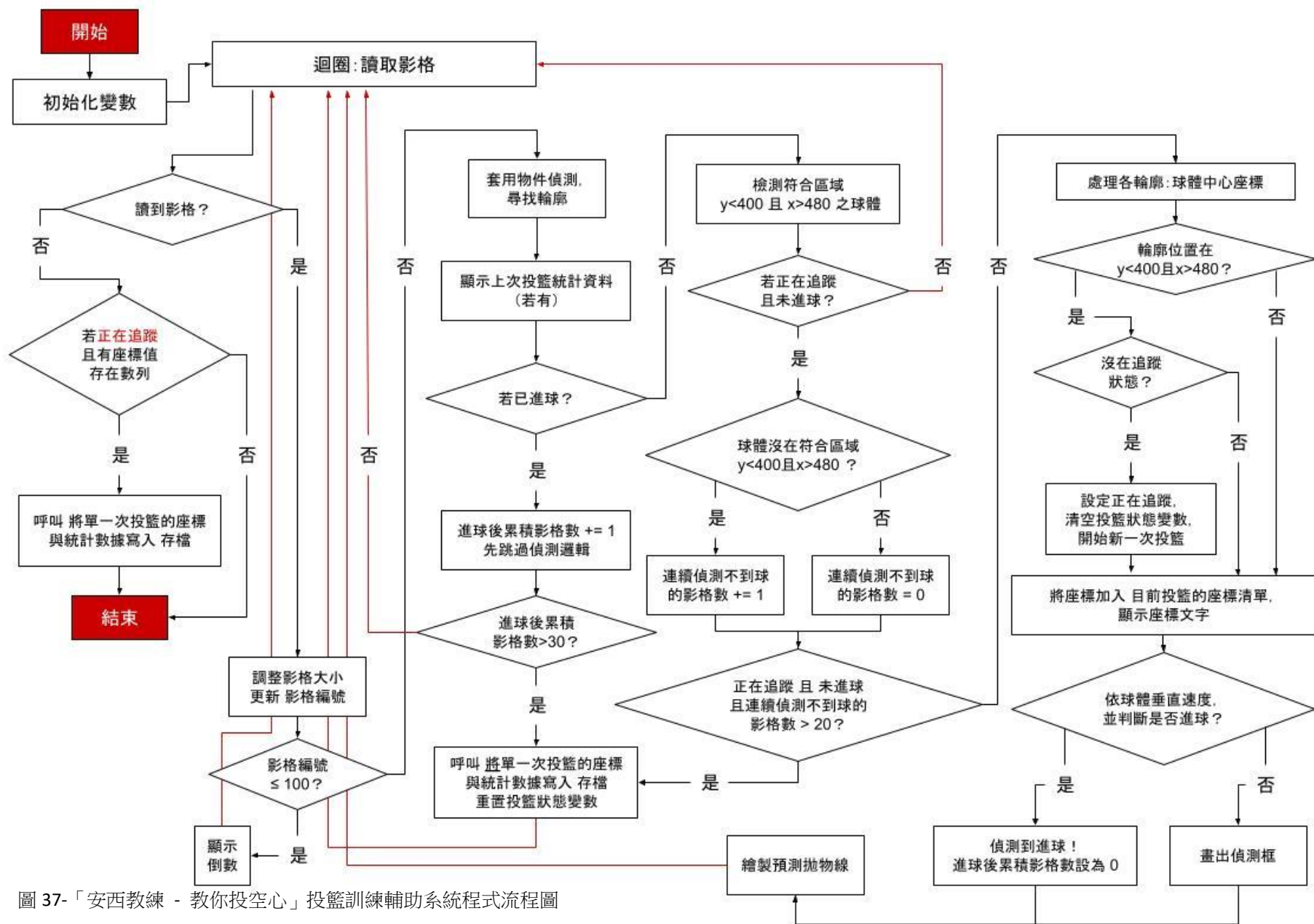
系統內建根據先前收集到的實驗數據進行的統計分析，包含出手角度的平均值與標準差(分別為 49.35° 及 5.26°)以及拋物線最高點 Y 軸位置的平均值與標準差(分別為 738.24 px 及 23.39 px)。透過這些統計值，系統能夠即時於畫面顯示當次投籃的出手角度和拋物線最高點是否處於理想範圍，標示「TOO LOW」、「TOO HIGH」或「Good for shot」。

3. 資訊持續顯示與儲存：

系統能夠在每次投籃結束後，在螢幕左側以視覺化方式持續顯示上一次投籃的統計結果，提供使用者即時回饋。同時，也自動儲存本次投籃所有軌跡座標與相關參數到檔案中，以利後續研究之分析。

本系統已能有效追蹤和分析籃球投射軌跡，更能提供明確的投籃角度與高度判斷，進一步協助選手調整投籃技術，以提高空心球的命中率，相關程式架構如下頁圖 37-「安西教練 - 教你投空心」投籃訓練輔助系統程式流程圖。

(二) 投籃訓練輔助系統的程式設計流程圖



伍、討論

一、三軸感測器研究討論

本研究使用三軸感測器來檢視手掌、手肘與手臂加速度變化，卻無法有效地從視覺化圖表中判斷動作是否能成功進球，造成現象的可能原因討論如下。

- 投籃動作的複雜性：投籃是一個複合式動作，除了手掌、手肘與手臂外，還包括身體其他部位的細微協調，加速度數據僅反映局部的動作狀態，無法完整描述整體投籃動作。
- 感測器解析度與敏感度限制：ADXL335 加速度感測器的靈敏度與解析度可能不足以捕捉到細微且關鍵的動作差異，導致成功與失敗投籃之間的細節被數據上的雜訊或訊號重疊掩蓋。
- 動作個人化差異：不同的投籃者動作模式不盡相同，即便成功進球，動作的加速度特徵也可能存在高度的個別差異性，導致難以建立一致的判斷標準。
- 加速度的絕對值與進球無直接因果關係：三軸加速度感測器僅測量動作過程中的加速度變化，但無法提供出手位置、球的軌跡角度、球的旋轉速度等關鍵資訊，因此可能缺乏直接判斷投籃成功的有效參數。
- 數據訊號的雜訊干擾：感測器固定方式、身體震動、衣服摩擦或其他環境因素產生的雜訊，可能掩蓋或干擾真實有效的訊號，影響數據的品質與視覺化分析效果。

二、OpenCV 擷取投球軌跡座標研究討論

本研究針對 102 顆空心球使用 OpenCV 擷取投球軌跡座標進行分析，分別就出手角度、拋物線最高點、以及入框角度三個物理參數進行統計，對比 2003 年「空心球的奧秘」以數學與物理公式為基礎所模擬的模型相比，有哪些具體的差異？

(一) 本研究以學生空心球投球軌跡座標統計

- 出手角度平均值為 49.35° ，中位數為 49.32° ，資料分布集中，標準差為 5.26° 。出手角度集中於約 49 度左右，顯示多數空心球的出手角呈現一致性，是空心球成功率最高的「穩定帶」。
- 平均入框角度為 41.57° ，中位數為 41.19° ，分析顯示約 41 度的入框角度最常出現

在成功的空心球中，此角度在物理上提供了穩定的入框路徑，降低碰撞籃框或籃板的風險。過低的入框角度（低於 30° ），提供較大容錯率，但需搭配更高的出手弧度與更精準的力量控制，否則容易產生短投。過高的入框角度（高於 55° ）球的運動軌跡較為平直，可能導致碰框失誤風險增加。

- 空心球的最高點平均約為 3.51 公尺高，比籃框高度（2.60 公尺）高出約 0.9 公尺。投籃最高點大多落在 3.2 至 3.8 公尺之間，顯示成功空心球需具備適度弧度，以提供足夠的下墜角度。

(二) 2003 年臺灣國際科學展覽的《空心球的奧秘》研究

- 投籃軌跡為一條拋物線，其路徑與投射角、出手速度、出手高度和水平距離有關。
- 籃球進入籃框的最小入射角為 32.64° ，必須達到此條件方可能達成空心球。
- 該研究以 MATLAB 模擬驗證：投射角 60° 、出手高度 1.8 公尺以上時，空心球命中機率提高。
- 投射角 75° 則需更大的初速度，但能產生更大的入射角。

(三) 前述兩個研究重點歸納比較

表 6- (一) 本研究以學生空心球投球軌跡座標統計與《空心球的奧秘》研究的比較

分析面向	空心球投球軌跡座標統計	空心球模型模擬《空心球的奧秘》
出手角度	平均 49.35° ， 標準差為 5.26°	模擬使用角度 60° 與 75° 無明確提及標準差，但強調穩定出手
最小入框角	平均 41.57° ， 標準差為 6.58°	入框角需大於等於 32.64° 無明確提及標準差，但強調穩定出手
拋物線最高點	平均 3.51m， 標準差為 0.14m 籃框高度為 2.60m(國小籃框)	未記載高度數據， 但拋物線最高點均高於 5 公尺 籃框高度為 3.05 公尺
成功條件建議	訓練落在集中區間角度以提升命中率	增加出手高度、配合角度與速度的調整

- 我們的研究出手角度分布貼近實際學生投籃習慣，未達到理論極限值 $60^\circ \sim 75^\circ$ ，顯示理論與實務之間仍有落差。出手角度「穩定帶」落在約 49° ，可能自然動作下較容易重複的角度。
- 我們的研究入框角度數據顯示，成功入框的角度平均高於理論最低要求，代表學生

投籃多能達到安全入射區間。《空心球的奧秘》著重於「能不能進」的理論下限；本研究則從實測中找出「最常成功」的角度範圍。

- 比較的兩個研究切入點不同，但兩個研究都強調適當的軌跡高度為空心球成功關鍵。我們的研究提供實測高度區間（3.2~3.8 公尺），可作為日後訓練重要參考基準。
- 我們的研究以 OpenCV 實測軌跡統計，強調「最常見」與「穩定範圍」，《空心球的奧秘》以 MATLAB 模擬物理公式，強調「可能成功」與「臨界條件」。

陸、結論

我們的研究以打造「投籃訓練輔助系統」為目標，結合 Python 程式設計與 OpenCV 影像處理技術，開發出一套可視化與數據化並重的投籃軌跡座標分析工具，期望幫助學生從感覺出手轉向科學訓練。

初期我們使用 ADXL335 三軸加速度感測器觀測手掌、手肘與上臂的動作數據，雖具創新性，惟因數據波動性大，加上裝置穩定性受限，未能有效區分進球與未進球的運動特徵。此階段的失敗，也提醒我們感測器雖能補充資料，但仍需更高層次的整合與演算法支援。

後續改以 OpenCV 擷取籃球投籃軌跡，歷經一次慘痛的 400 球失敗教訓。第二次我們成功記錄了 300 顆投籃，採用 102 顆空心球共 3023 筆座標資料，進行出手角度、入框角度與拋物線最高點的分析。統計結果顯示，成功空心球的出手角度平均約 49.35° ，入框角度平均約為 41.57° ，拋物線頂點平均高度為 3.51 公尺，並將投籃軌跡拋物線模型 $y = -0.002x^2 + 3.7376x - 999.58$ 應用在最終的「安西教練 - 教你投空心」投籃訓練輔助系統

與 2003 年中正國中《空心球的奧秘》相比，本研究以實際軌跡取代模擬理論，更貼近真實應用，展現數據科學於體育教學的實踐價值。研究歷程中使用 AI 工具 ChatGPT 進行多次互動協作，在面對龐大數據時提供公式轉換、角度計算與資料處理的具體建議，展現 AI 於科學教育中的輔助潛力。

最後，本研究成功建構一套結合攝影、影像分析與程式設計的籃球投籃回饋系統，更提供了一種以數據佐證、可視化檢視的科學訓練新途徑。未來研究可擴展系統功能，納入更多的參數或運動型態分析，進一步提升系統的泛用性與準確度。

柒、參考文獻資料

明廉國小 (2021)。灌籃高手－投籃準度機率提升。花蓮縣第 62 屆國民中小學科學展覽會作品說明書。取自

<https://student.hlc.edu.tw/action/iscontinue/370/20220930082630062.pdf>

蘇郁翔、李仕遠、蔡育廷、王昕蕾、黃睿安、李念嘉 (2014)。百發百中－機械投籃機。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/080819.pdf>

陳新、曹力文 (2003)。空心球的奧秘。台北縣中正國中數理資優科學展覽成果報告。取自

<https://www.ntsec.edu.tw/article/FileAtt.ashx?id=2301>

圖片來源表

圖片序號及說明	來源
圖 1-使用手機、三腳架拍攝	本圖片由作者親自拍攝
圖 2-室外環境丈量設定	本圖片由指導老師拍攝
圖 3-室外環境丈量設定	本圖片由指導老師拍攝
圖 4-室內環境丈量設定	本圖片由指導老師拍攝
圖 5-空氣流動較小降低誤差	本圖片由指導老師拍攝
圖 6-室內光源穩定有利分析	本圖片由作者親自拍攝
圖 7-推測手部可能發力位置	本圖片由作者親自拍攝
圖 8-丈量手肘長度及安裝	本圖片由作者親自拍攝
圖 9-輕量化材料固定裝置	本圖片由作者親自拍攝
圖 10-感測器連接魔鬼氈	本圖片由指導老師拍攝
圖 11-感測器的校正與測試	本圖片由指導老師拍攝
圖 12-感測器連接電腦紀錄	本圖片由作者親自拍攝
圖 13-感測器紀錄三軸數據	本圖片由作者親自拍攝
圖 14-罰球線定點投籃	本圖片由作者親自拍攝
圖 15-透過攝影方式記錄進球	本圖片由作者親自拍攝
圖 16-使用背景相減演算法偵測取得投籃軌跡座標資料	本圖片由作者親自拍攝影片擷取
圖 17-每次僅投 10 球共 40 次	本圖片由作者親自拍攝
圖 18-400 次投籃軌跡記錄	本圖片由作者親自拍攝
圖 19-腳架側面進行拍攝	本圖片由指導老師拍攝
圖 20-第一次 OpenCV 辨識空心球投球軌跡座標分布圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 21-使用角材製作堅固木框	本圖片由作者親自拍攝
圖 22-校正位置確認拍攝細節	本圖片由指導老師拍攝
圖 23-挑選籃球隊員協助	本圖片由指導老師拍攝
圖 24-第二次 OpenCV 辨識空心球投球軌跡座標分布圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 25-上臂數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 26-手掌數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 27-手肘數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 28-全數據 1 次投籃實驗折線圖及進球數標示	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖組 29- 1 次空心球的第 12、16、20、24、28、32、40、44、48 張影格	本圖片組由指導老師使用 python 擷取
圖 30-單一空心球軌跡 XY 座標分布圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 31-102 顆空心球軌跡 XY 座標分布圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 32-102 顆空心球軌跡 XY 座標最佳擬合曲線	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 33-空心球投球軌跡分析-出手角度分布長條圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 34-空心球投球軌跡分析-入框角度分布長條圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 35-空心球投球軌跡分析-最高點分布長條圖	本圖片由作者使用 Excel 製作
圖 36-空心球投球軌跡分析實體高度轉換例圖	本圖片組由指導老師使用 python 擷取

圖 37-「安西教練 - 教你投空心」投籃訓練輔助系統程式流程圖

本圖片由指導老師製作

【評語】 082810

此作品嘗試使用穿戴在球員手上的感測器，偵測蒐集投籃動作相關訊號，以及透過影像擷取投籃出手時的參數。接著分析這些數據，與投籃軌跡和入框角度等數據建立連結模型，進而以模型分析的結果，提供給球員作為投籃訓練輔助參考。鼓勵作者們持續以力學原理為基礎，探索運動科學及相關應用科技。

作品海報

安西教練 - 教你投空心

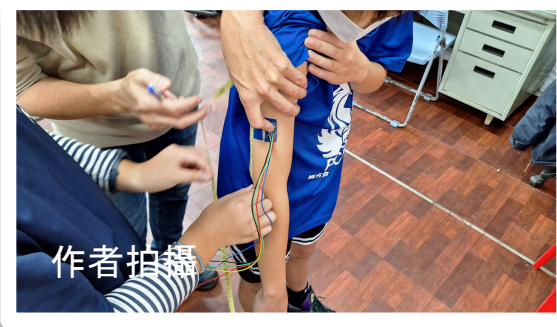
Mastering the Perfect Basketball Shot



研究數據

01

三軸加速度感測器於籃球投籃動作之應用研究結果



1

加速度曲線變異大

同一位受測者同一次投籃，每一球加速度波形差異顯著，無法呈現穩定節奏或明確力道傳遞方向。

2

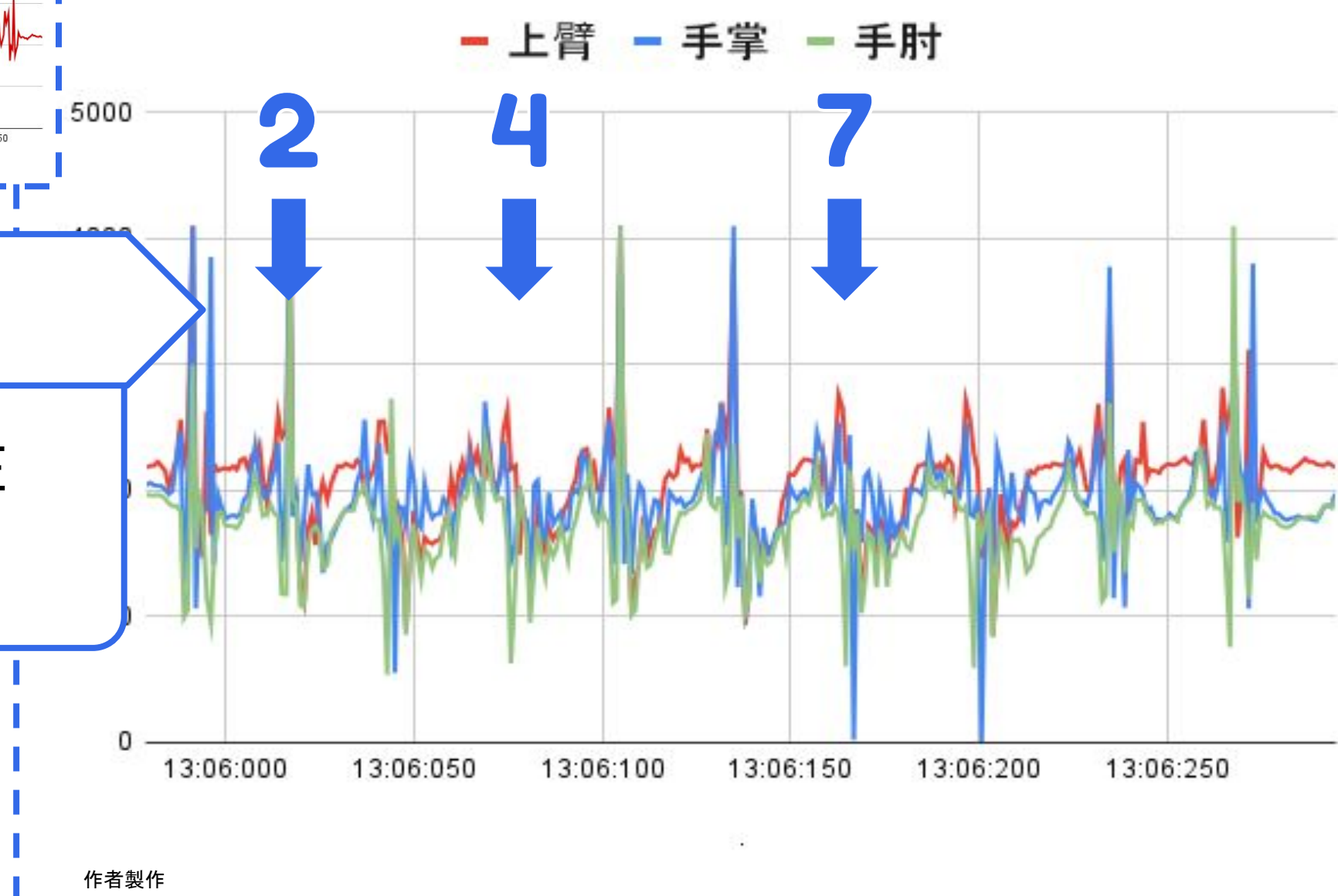
成功與失敗投籃曲線相似性高

雖有進球與未進球之分類，但其加速度數據在波形走勢與峰值位置上並未顯示明確差異。

3

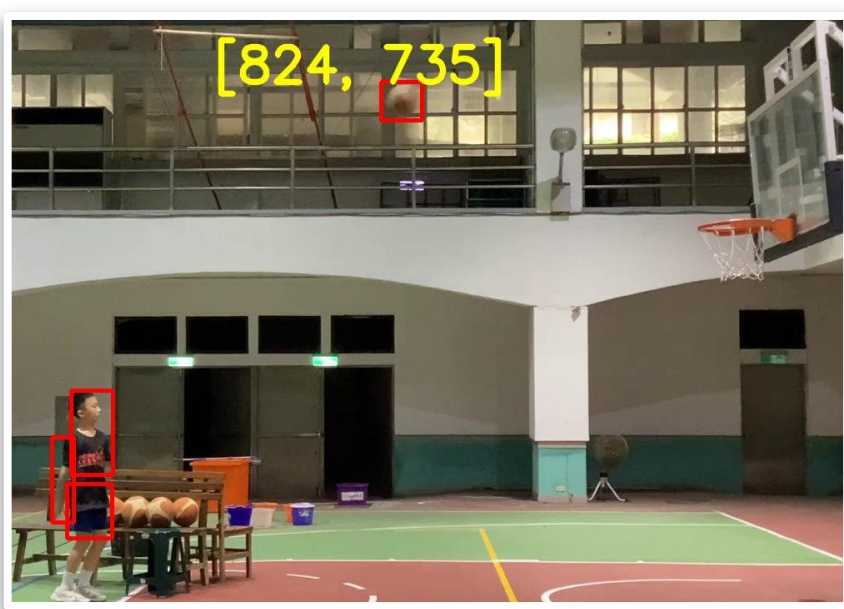
感測器穩定性受限

ADXL335雖為穩定性良好的類比感測器，但魔鬼氈等材料對於感測器穩定性有待改進，影響資料準確性。



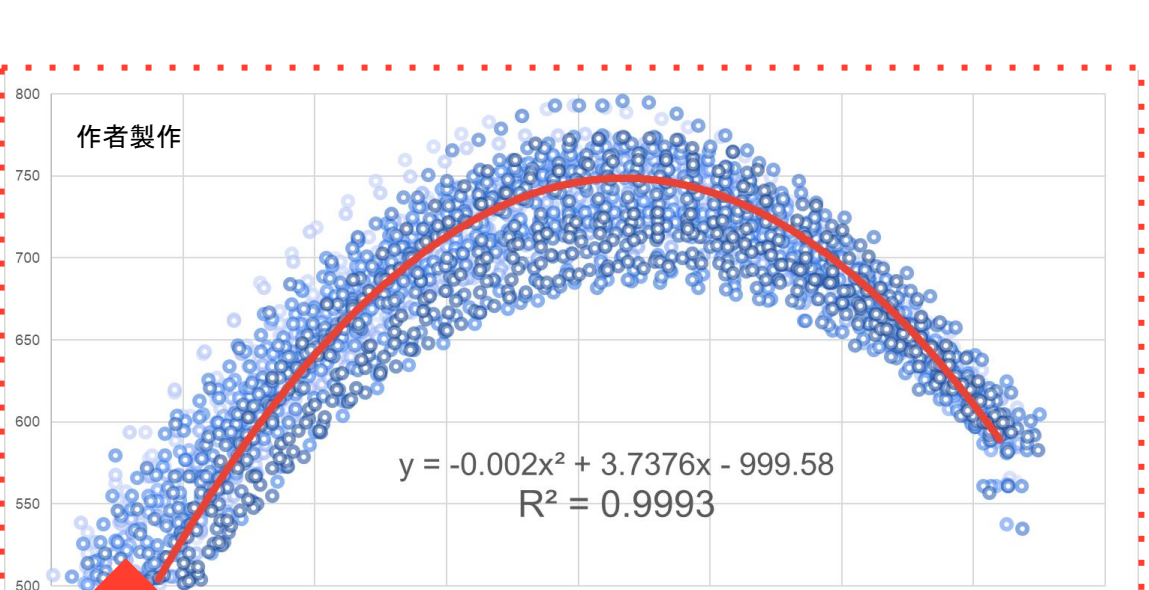
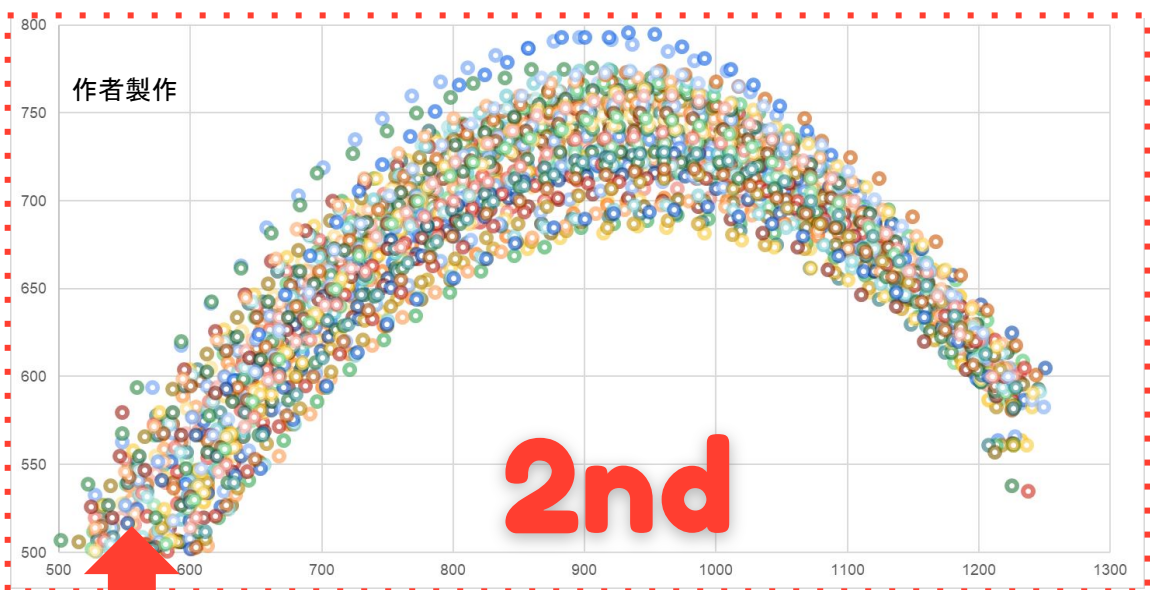
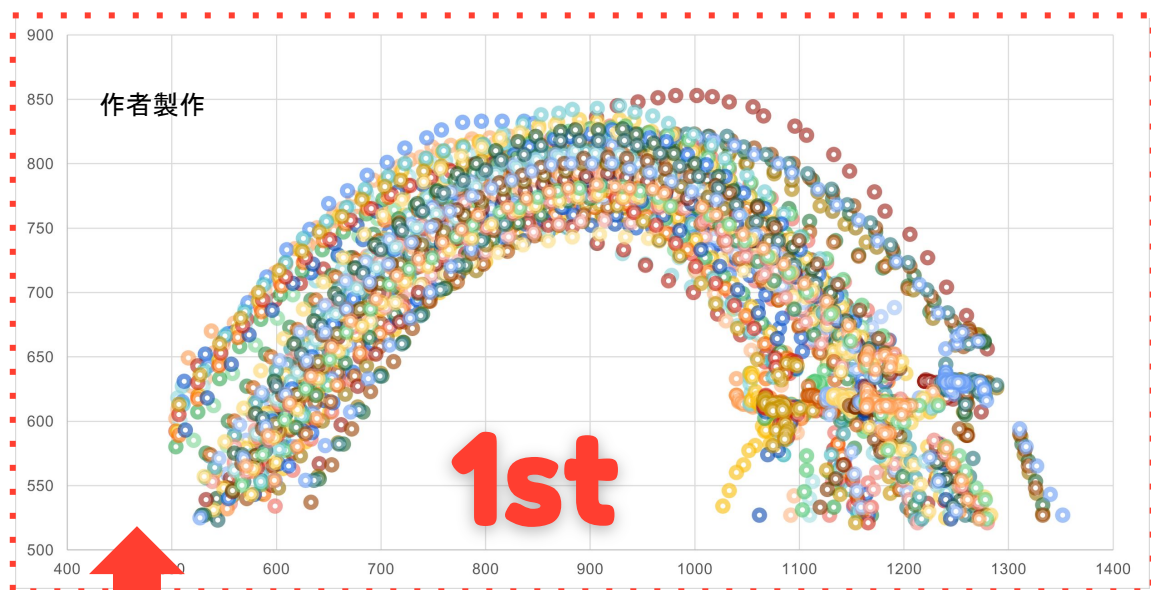
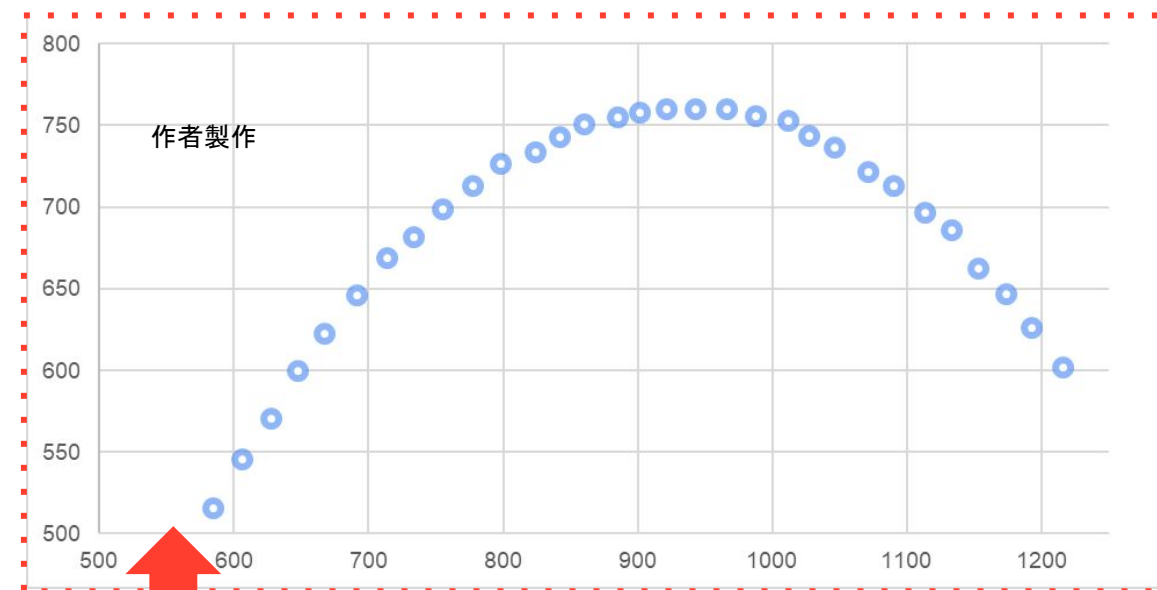
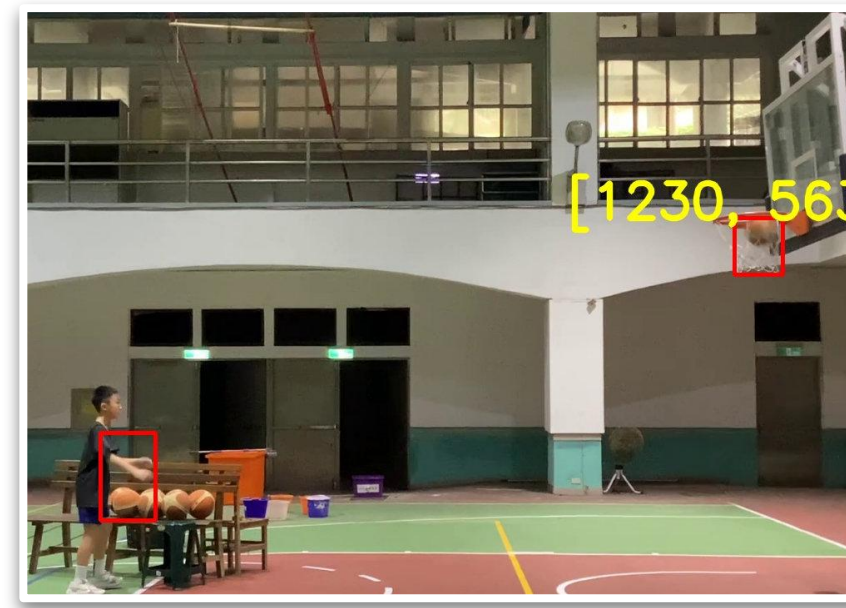
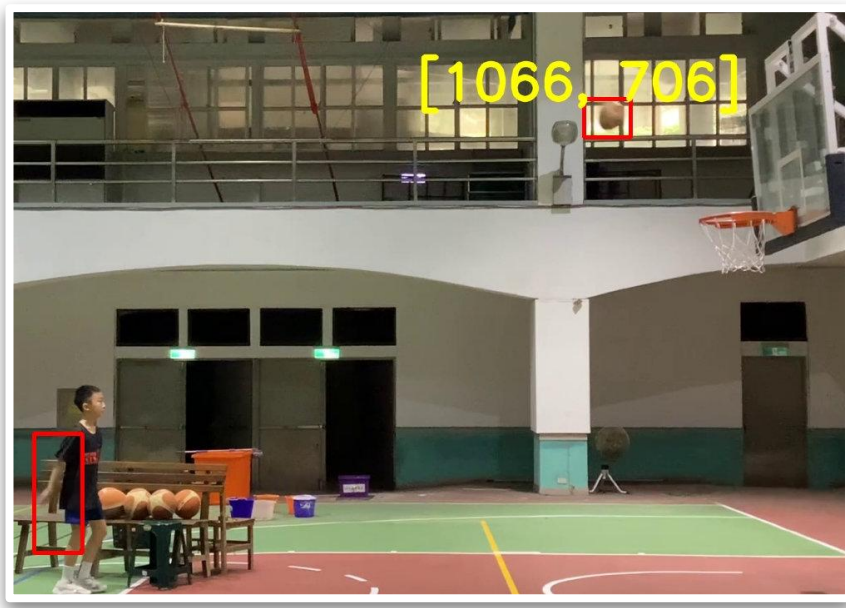
02

OpenCV用於籃球投籃軌跡偵測研究結果



OpenCV 影像處理技術

背景相減演算法-MOG2 進行動態物體的軌跡追蹤與座標紀錄。



1

單一空心球XY座標分布

2

因鏡頭位移導致實驗失敗

3

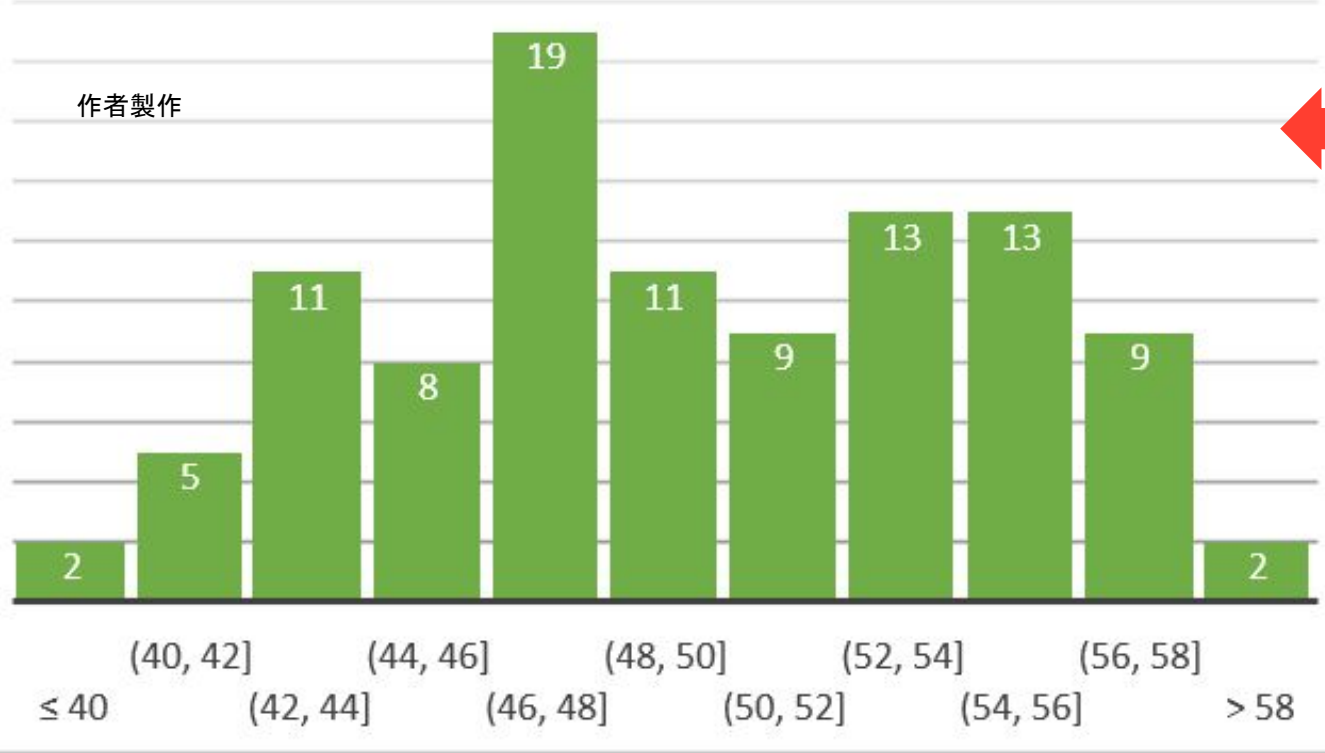
修正設備問題得到實驗數據

4

透過試算表得出參考軌跡

每次投籃10顆擷取約600~700筆座標數據，共進行30次投籃，共取得了近20,000筆座標數據。

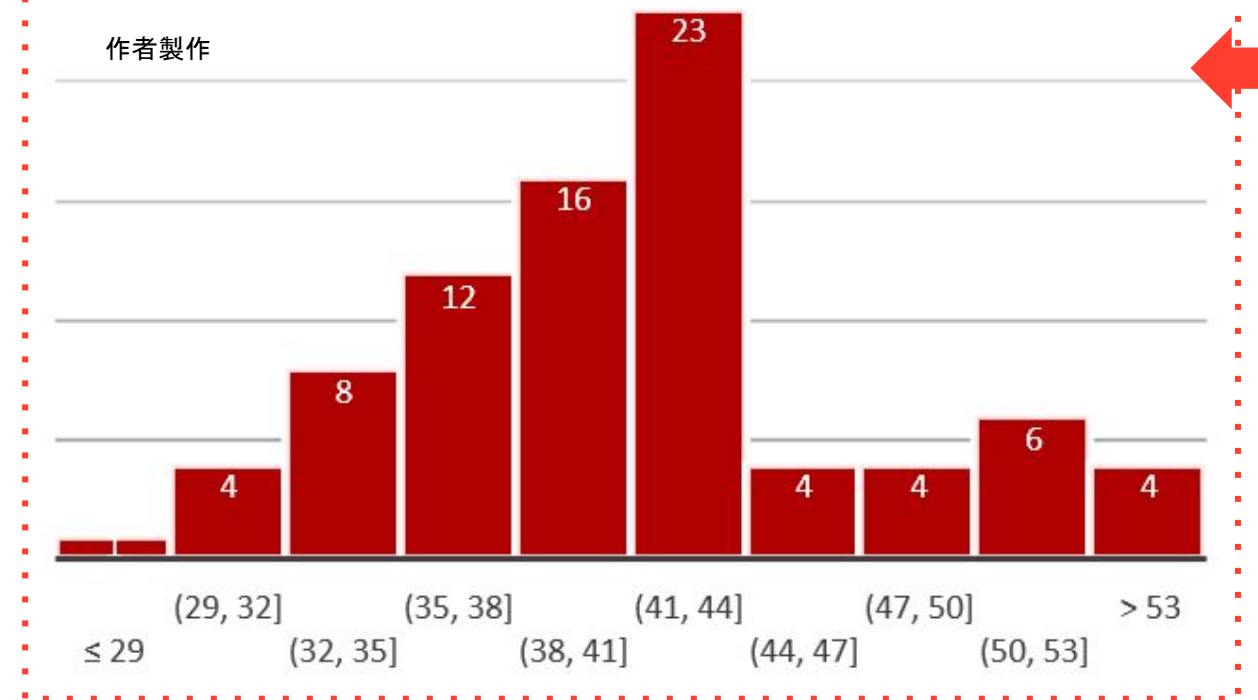
從這些數據中，我們取出空心球的數據，分析了出手角度、入框角度、軌跡最高點等物理參數，並得出以下統計圖表：



5

透過試算表得出出手角度數據統計圖表

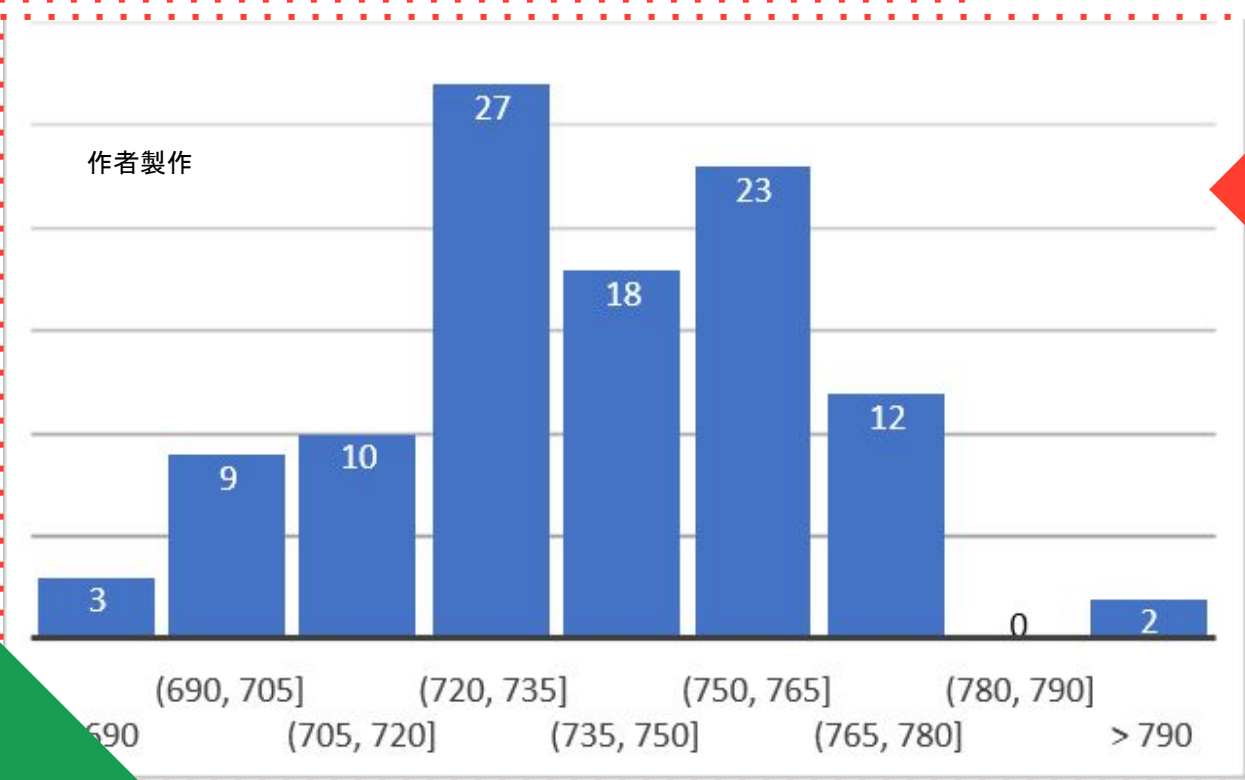
中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
49.32°	49.35°	5.26°	60.64°	34.08°



6

透過試算表得出入框角度數據統計圖表

中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
41.19°	41.57°	6.58°	62.02°	27.35°



7

透過試算表得出軌跡最高點數據統計圖表

中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
739px	738.24px	23.39px	796px	686px

03

空心球投球軌跡拋物線最高點的實體高度轉換分析

1

轉換像素與高度比值

球員身高：144.4 cm
畫面中球員佔有像素：248 px
得出像素與高度對應比值：
 $= 1.444 \text{ m} \div 248 \text{ px} = 0.0058225 \text{ m/px}$

2

地平線參考扣除值

從畫面底部到籃球中心的高度是756px
球員地平線到籃球中心的高度是620px
應扣除底部高度為 $= 756 \text{ px} - 620 \text{ px} = 136 \text{ px}$

3

拋物線最高點統計數據

中位數	平均值	標準差	範圍最大值	範圍最小值
3.51m	3.51m	0.14m	3.84m	3.20m

研究過程

01

實驗環境擇定

在一開始我們選擇在學校操場上進行實驗，但沒想到在操場上空曠的地方，例如有時候風變大，球會被吹偏；背景環境的樹葉因風力晃動影響影片的分析結果。最後我們選擇在地下室進行實驗。

1 觀察

投籃動作可以進球需要適當的角度與力量控制。

2 參考資料

教練表示投籃動作時**手臂與手肘**的適當彎曲控制力量，而出手瞬間**手掌**的力量控球的穩定飛行。

02

三軸加速度實驗

3 猜測

因此我們預測**手臂、手肘、手掌**的加速度變化是否與進球有相對關係？

4 研究方法

使用三顆ADXL335三軸感測器，分別安裝於投籃者的**手掌、手肘與手臂**處，以偵測動作時各部位的動態變化。



1. 先透過TTGO T-Display ESP32開發板進行感測器的校正與訊號穩定性測試。
2. 利用Arduino IDE軟體即時檢視各軸的電壓輸出值，並記錄成為實驗數據。
3. 透過3D列印及魔鬼氈等輕量化材料固定感測器，穩固地配置於受測者的手掌、手肘與手臂
4. 在室內標準籃球場進行，受測者站在固定投籃位置，距離籃板約4公尺，實施罰球線定點投籃。
5. 每次實驗受測者連續投籃10顆球，共進行10回合，總計完成100次投籃紀錄。

5 分析實驗

1. 進球與未進球動作的加速度波形圖，發現兩者並未表現出明確且直接的關聯性。
2. 許多成功進球與失敗投籃動作的**波形相似性**極高，且存在數據重疊與混雜。
3. 無法有效地從視覺化圖表中判斷是否成功進球。

6 結論

本次實驗的結果顯示，單純以手掌、手肘與手臂的**三軸加速度**視覺化數據不足以作為可靠的指標，需再進一步探索其他潛在的影響因素或分析方法，以獲得更明確的結論。

03

OpenCV分析籃球運動軌跡



1 觀察

空心投籃時，球經過的軌跡有**固定的拋物線**？

2 提出問題

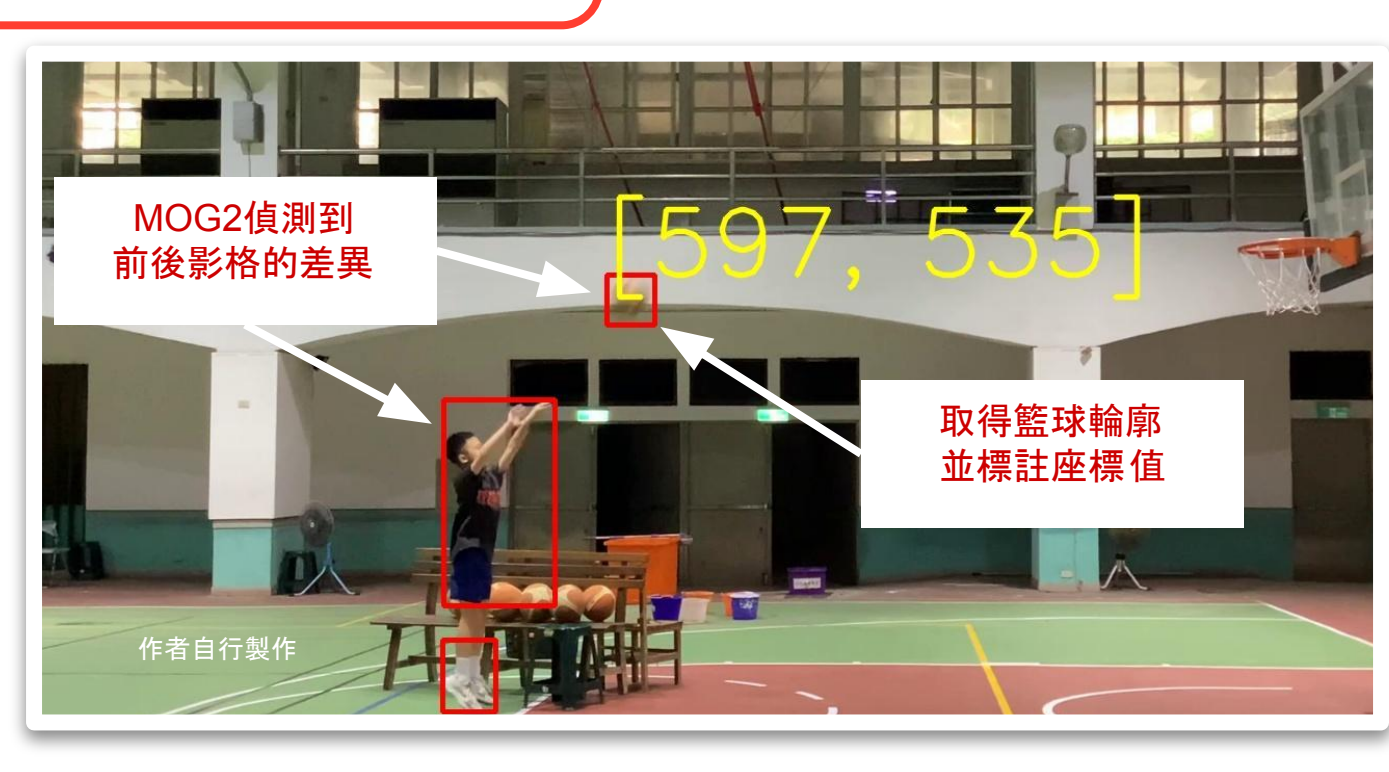
空心投籃時，球的**運動軌跡**類似嗎？出手時的角度？需要將球拋多高？投籃成功與否和拋物線的關聯性？

3 猜測

1. **高點**適中且穩定的軌跡，更容易投進空心球。
2. 某個**出手角度**範圍內有最高的命中率。
3. **入框角度**接近特定值更易成功進框。

4 研究方法

於標準的籃球場地側面固定拍攝影片，然後採用電腦視覺庫OpenCV分析影片中籃球的**運動軌跡**。

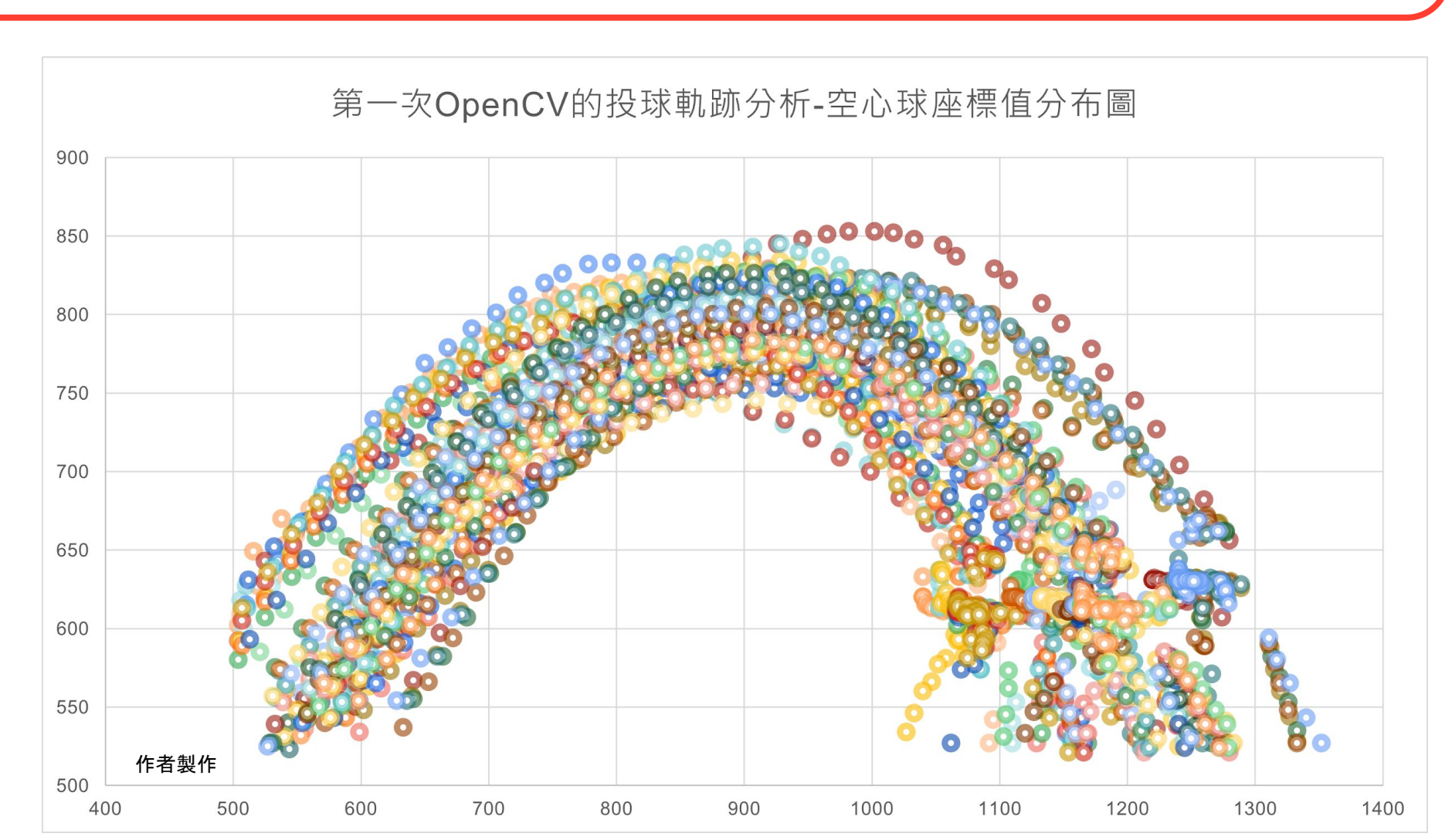


1. 使用背景減除法MOG2建立背景模型，透過背景差異偵測並追蹤運動中的籃球球體。
2. 逐球紀錄球體運動軌跡x、y座標資料，並記錄在試算表軟體再畫出圖表。
3. 在室內標準籃球場進行，受測者站在固定投籃位置，距離籃板約4公尺，實施罰球線定點投籃。
4. 第1次實驗共8位同學參與實驗，每位同學進行50次投籃，總計400次投籃軌跡記錄。
5. 第2次實驗共6位籃球隊員參與實驗，每位同學進行50次投籃，總計300次投籃軌跡記錄。
6. 第2次實驗修正第1次實驗缺點，加強固定攝影鏡頭避免鏡頭搖晃導致數據位移

5 分析實驗

1st

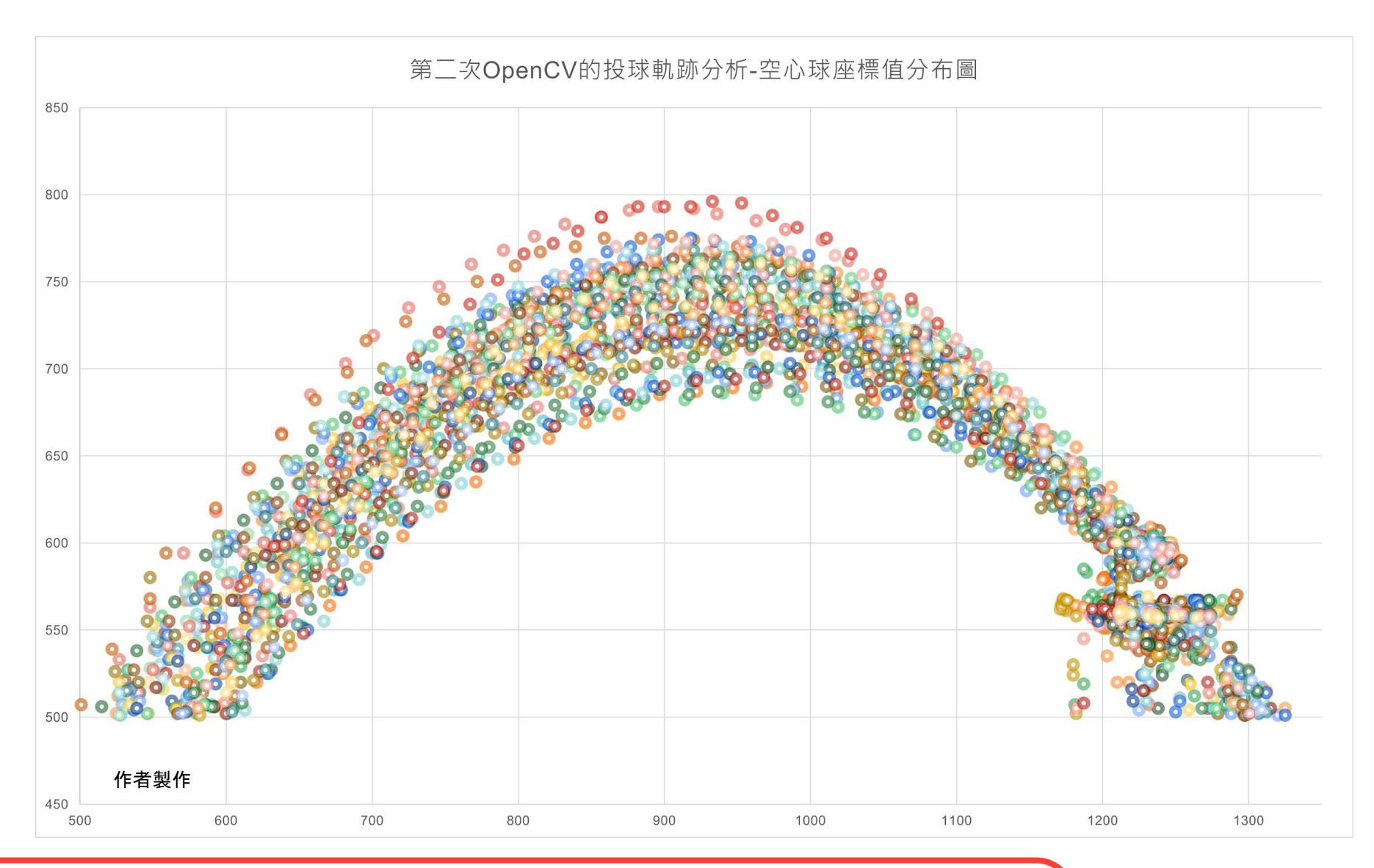
1. 原本應為一致的拋物線軌跡，卻明顯呈現出三組具有**水平偏移不同曲線趨勢**。
2. 我們推測導致這三組水平偏移的主因為**攝影過程**中腳架位置移動，造成攝影視角的偏差。
3. 本次實驗整體空心球命中率为23.75%，從球員最後的表現而論，**籃球隊身分的球員**擁有較**高空心球命中率**



5 分析實驗

2nd

1. 原先出現的三組明顯偏移情況已顯著降低，可以從圖表看出雖然出手位置各異，但是進框位置的座標相當集中，證實固定攝影設備能有效地提升了**數據的一致性**與實驗的可靠性
2. 不同球員在出手角度、軌跡高度、入框角度都有明顯的**個體差異**，這可能與投籃姿勢、力量、身高和技巧的差異相關。
3. 軌跡在逐格分析時，呈現了更加平滑且連續的特性，能明顯降低數據誤差，進而**提高模型預測的準確性**。

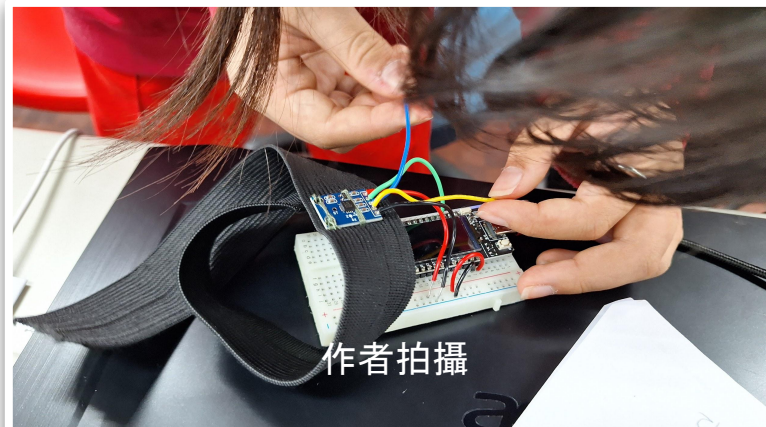


6 結論

本實驗透過固定攝影設備有效降低了投籃軌跡數據的誤差，提升了數據一致性與可靠性。此外，觀察到出手角度、頂點高度、入框角度的穩定性與成功投籃密切相關，且不同球員之間存在明顯個體差異。整體結果顯示，透過精確且穩定的軌跡分析，可進一步將數據整合到個人化投籃訓練，提升投籃的穩定性與命中率。

研究動機

身為學生球員，我們想每次投籃時都能畫出漂亮的曲線。但是，我們很難知道自己哪裡做得好，哪裡還可以更進步，所以我們想用Python把「感覺」變成「數據」，來打造一個個人化的進球曲線分析與訓練系統。



研究目的

本研究宗旨在於結合程式設計與運動科學，開發一套軟體，協助學生提升投籃表現。

01

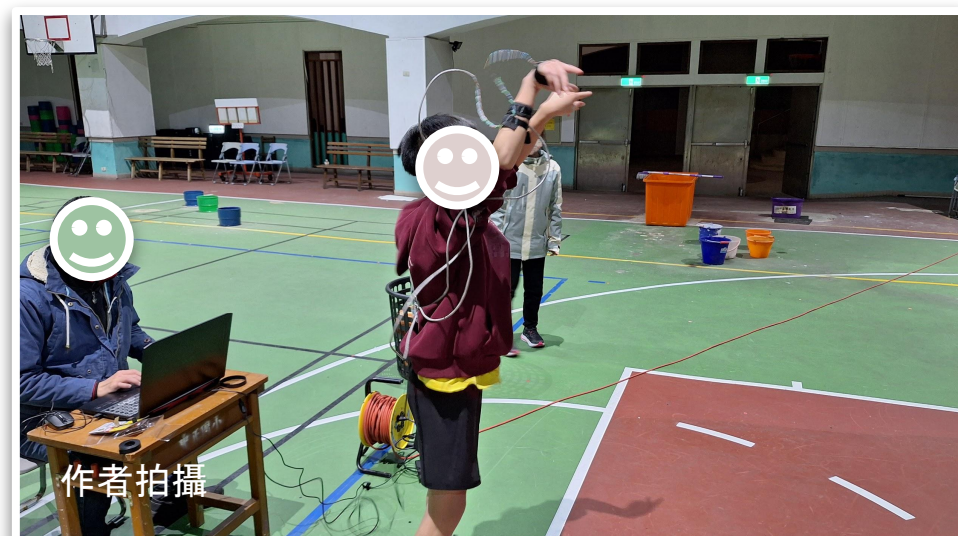
把投籃的軌跡視覺化，畫出屬於自己的進球曲線並利用OpenCV影片擷取技術，蒐集球員投籃時的進球軌跡資料(x, y座標)作為分析依據。

02

分析自己的數據，找出最適合自己的出手角度與姿勢：透過圖表將進球的軌跡曲線動態呈現，幫助球員了解出手的變化與差異。

03

做出有回饋的系統，建構簡易的投籃訓練程式模擬，提供個人進球曲線紀錄作為未來投籃教練系統的雛型。



研究結論

1

三軸加速度感測器觀測手掌、手肘與上臂的動作數據，因數據波動性大、動作變異性高，加上裝置穩定性受限，未能有效區分進球與未進球的運動特徵。

2

後續改以OpenCV擷取籃球投籃軌跡，歷經一次慘痛的400球失敗教訓。第二次我們成功記錄了300顆投籃，用102顆空心球共3023筆座標資料，進行出手角度、入框角度與拋物線最高點的分析。

3

與 2003 年中正國中《空心球的奧秘》相比，本研究以實際軌跡取代模擬理論，更貼近真實應用，展現數據科學於體育教學的實踐價值。

4

最後，本研究成功建構一套結合攝影、影像分析與程式設計的籃球投籃回饋系統，更提供了一種以數據佐證、可視化檢視的科學訓練新途徑。未來研究可擴展系統功能，納入更多的參數或運動型態分析，進一步提升系統的泛用性與準確度。

分析面向	空心球投球軌跡座標統計 (本研究)	空心球模型模擬《空心球的奧秘》
出手角度	平均 49.35°，標準差為 5.26 °	模擬使用角度 60°與 75°無明確提及標準差，但強調穩定出手
最小入框角	平均 41.57°，標準差為 6.58 °	入框角需大於等於 32.64 度無明確提及標準差，但強調穩定出手
拋物線最高點	平均3.51m，標準差為0.14m 籃框高度為2.60m(國小籃框)	未記載高度數據，但圖面拋物線最高點均高於5m 籃框高度為3.05m
成功條件建議	訓練落在集中區間角度以提升命中率	增加出手高度、配合角度與速度的調整

