

科技部補助產學合作研究計畫成果精簡報告

監控運動強度之智慧羽球鞋開發

計畫類別：技術及知識應用型
計畫編號：MOST 108-2622-H-003-001-CC3
執行期間：108年06月01日至109年06月30日
執行單位：國立臺灣師範大學運動競技學系

計畫主持人：相子元

計畫參與人員：碩士級-專任助理：邱煜程
碩士班研究生-兼任助理：王恩慈
碩士班研究生-兼任助理：李秉宏

處理方式：
公開方式：立即公開

中華民國 109 年 10 月 12 日

中文摘要：前言：羽球運動是世界上風行的運動之一，也是我國競技運動發展重點項目之一。運動時強度的界定已成為大眾關心的議題，準確的監控強度不只能提升運動表現，也可能降低運動傷害發生之機率。利用加速規計算強度指標的演算法有非常多種，如：Player Load、MAD (Mean Amplitude Deviation) 等，以上指標在特定運動對於強度指標間的關係已有研究證實。然而，目前適用於羽球的指標及位置尚未有統整性的討論。目的：比較不同強度羽球運動下，不同加速度運動強度指標間以及放置位置間的差異。方法：15位受試者配戴心率帶於胸前並將加速規放置於左手手腕、軀幹及右腳脛骨。收取三種強度速度下羽球操（米字步）的心率與加速度數據。加速度以10Hz低通濾波後，計算Player Load、MAD。分析加速度指標與心率間的相關性。結果：兩項指標皆為放置於手部的加速度與心率有較高的相關性，其次為腿部，最後為軀幹。結論：羽球運動的加速規最佳放置位置為手部，其次是腳，兩種指標皆適合使用。未來可考慮發展智慧羽球手環或智慧鞋，藉此提供羽球運動者運動強度之量測。

中文關鍵詞：訓練負荷、穿戴式裝備、加速規

英文摘要：Background: Badminton is one of the most popular sports in the world, and it is also one of the key sports of development in Taiwan. In recent years, the definition of intensity during exercise has become a high attention. Accurate monitoring of intensity not only improves sport performance but also reduces the probability of sport injuries. There are many methods for calculating the intensity index by the accelerator, such as Player Load and MAD (Mean Amplitude Deviation). The relation between these indexes in specific exercises and the exercise intensity has been confirmed by several reports. However, the appropriate indexes and placed placements for badminton have not been systematically discussed. Purpose: To compare the difference between acceleration intensity indexes and placed placements. Methods: Fifteen subjects worn a chest strap heart rate (HR) monitor on the chest and placed an accelerometer on the left wrist, trunk and right foot, respectively. The heart rate and acceleration data were collected during badminton exercises (six-point footwork) under three exercise intensities. After filtering the acceleration by 10 Hz low-pass filter, the Player Load and the MAD were calculated. The correlation coefficient between the heart rate and the acceleration intensity indexes were analyzed. Results: Both indexes showed that the accelerometer on hand has the highest correlation with the heart rate, foot was second, and the final was trunk. Conclusion: The best acceleration placement for badminton are on hands, foot was second. In the future, it can be considered to develop the smart badminton wristband or

shoes to provide players a measurement of the exercise intensity in badminton.

英文關鍵詞： training load, wearable device, accelerometer

科技部補助產學合作研究計畫成果精簡(進度)報告

計畫名稱：監控運動強度之智慧羽球鞋開發

計畫類別：先導型 開發型 技術及知識應用型 創新營運模式產學合作計畫

計畫編號：MOST 108— 2622 — H — 003 — 001 — CC3

執行期間：108年 6 月 1 日 至 109年 6 月 30 日

執行單位：國立臺灣師範大學

計畫主持人：相子元

共同主持人：

計畫參與人員：邱煜程、王恩慈、李秉宏

處理方式：

立即公開

(依規定，精簡報告係可供科技部立即公開之資料，並以 4 至 10 頁為原則，如有圖片或照片請以附加檔案上傳，如因涉及專利、技術移轉案或其他智慧財產權、影響公序良俗或政治社會安定等，而不宜對外公開者，請勿將其列入精簡報告)

中 華 民 國 109 年 9 月 30 日

摘要

前言：羽球運動是世界上風行的運動之一，也是我國競技運動發展重點項目之一。運動時強度的界定已成為大眾關心的議題，準確的監控強度不只能提升運動表現，也可能降低運動傷害發生之機率。利用加速規計算強度指標的演算法有非常多種，如：Player Load、MAD (Mean Amplitude Deviation) 等，以上指標在特定運動對於強度指標間的關係已有研究證實。然而，目前適用於羽球的指標及位置尚未有統整性的討論。**目的：**比較不同強度羽球運動下，不同加速度運動強度指標間以及放置位置間的差異。**方法：**15 位受試者配戴心率帶於胸前並將加速規放置於左手手腕、軀幹及右腳脛骨。收取三種強度速度下羽球操（米字步）的心率與加速度數據。加速度以 10Hz 低通濾波後，計算 Player Load、MAD。分析加速度指標與心率間的相關性。**結果：**兩項指標皆為放置於手部的加速度與心率有較高的相關性，其次為腿部，最後為軀幹。**結論：**羽球運動的加速規最佳放置位置為手部，其次是腳，兩種指標皆適合使用。未來可考慮發展智慧羽球手環或智慧鞋，藉此提供羽球運動者運動強度之量測。

關鍵字：訓練負荷、穿戴式裝備、加速規

Abstract

Background: Badminton is one of the most popular sports in the world, and it is also one of the key sports of development in Taiwan. In recent years, the definition of intensity during exercise has become a high attention. Accurate monitoring of intensity not only improves sport performance but also reduces the probability of sport injuries. There are many methods for calculating the intensity index by the accelerator, such as Player Load and MAD (Mean Amplitude Deviation). The relation between these indexes in specific exercises and the exercise intensity has been confirmed by several reports. However, the appropriate indexes and placed placements for badminton have not been systematically discussed. **Purpose:** To compare the difference between acceleration intensity indexes and placed placements. **Methods:** Fifteen subjects worn a chest strap heart rate (HR) monitor on the chest and placed an accelerometer on the left wrist, trunk and right foot, respectively. The heart rate and acceleration data were collected during badminton exercises (six-point footwork) under three exercise intensities. After filtering the acceleration by 10Hz low-pass filter, the Player Load and the MAD were calculated. The correlation coefficient between the heart rate and the acceleration intensity indexes were analyzed. **Results:** Both indexes showed that the accelerometer on hand has the highest correlation with the heart rate, foot was second, and the final was trunk. **Conclusion:** The best acceleration placement for badminton are on hands, foot was second. In the future, it can be considered to develop the smart badminton wristband or shoes to provide players a measurement of the exercise intensity in badminton.

Key words: training load, wearable device, accelerometer

一、前言

羽球為我國體育發展重點項目

羽球運動是世界上風行的運動之一，尤其以亞洲地區最為興盛，幾個亞洲國家如馬來西亞、印尼等，更將羽球運動視為國球來發展。羽球是我國運動人口非常多的球類項目之一，根據教育部 106 年運動現況調查顯示，國內羽球約有 100 萬運動人口，顯見羽球運動在台灣的盛行程度。台灣羽球運動的發展分運動休閒及專業競技等兩個方向，在運動休閒方面，我國每年舉辦的清晨盃業餘羽球比賽，參賽人數可達 5 千人的參與，參賽人員遍及六大洲，可謂國際級羽球業餘比賽的盛事；另外運動競技方面，台灣羽球競技成績也相當優異，培育出女單世界第一的戴姿穎選手，中華台北羽球代表隊也在 2018 年雅加達亞運會中勇奪女單金牌(戴資穎)、男單銀牌(周天成)、男雙銅牌(李洋、李哲輝)、男子團體銅牌等佳績，顯示台灣在羽球運動發展上具有相當的優勢與前景。

羽球為高強度間歇性運動

羽球是一種結合高強度運動與短暫休息時間的間歇性長時間運動項目 (Alcock & Cable, 2009)。Alcock 與 Cable (2009) 研究發現，進行單打羽球比賽時的平均及最大心跳率分別可達 88.8%、96.8% 最大心跳率 (heart rate maximum, HRmax)，而雙打則可達 78.5%、89.0% HRmax，顯示出羽球比賽的高強度運動特性。運動強度不論是對從事休閒羽球或競技羽球的人而言都是值得注意的，因為運動強度的高低往往與運動傷害的發生以及表現增進的幅度有關，而這通常是長時間累積所產生的。因此，監控與量化每次從事羽球運動時的強度(訓練負荷)是具有重要意義的，因為這可能影響長期運動的成效與傷害發生的風險機率，過低的運動強度或負荷可能無法有好的訓練增益效果，但長時間過高強度的運動則容易導致運動傷害的發生 (Smith, 2003)。掌握適量的運動強度將能提升運動的品質，提升運動的效益也避免傷害的發生，這不論是對運動休閒或選手專業競技都是如此。

內外運動強度與監控

運動強度可分為內在訓練強度 (internal training load) 或外在訓練強度 (external training load)，量測心跳率是評估內在訓練強度最常用的方式，內在訓練強度是指運動員在訓練的刺激下，身體所出現的壓力指標，大多是使用自我感受與生理參數 (例如心跳率、血液量測) (Scanlan, Wen, Tucker, & Dalbo, 2014)。與內在訓練強度類似的訓練負荷概念則是外在訓練強度，其描述著由外部感測器量測到的運動員在訓練過程中的運動學或動力學資料 (Halson, 2014)，由加速規訊號演算法所得到的資訊就是最典型的外在訓練強度。除了日常身體活動的演算法，加速規演算法已經發展成可以應用於監控運動訓練，且已有許多文獻利用心率作為效標，驗證加速規演算法量化運動訓練的正確性，例如：文獻證明在橄欖球、足球等運動中加速規已經能結合運動訓練課程，並且與心跳率及自覺強度 (ratings of perceived exertion, RPE) 等內在訓練強度有良好的相關性 (Boyd, Ball, & Aughey, 2013; Scott, Lockie, Knight, Clark, & Jonge, 2013)，以達到監控訓練強度的目的，且研究證實能呈現足球、橄欖球、籃球的訓練及比賽的情況，並能客觀且即時提供完整的身體動作資訊給教練及選手參考，同時能有效提升訓練效率及量化運動強度。

羽球需要量測外在運動強度

過去量化羽球運動強度的方式，普遍使用心率量測的方式來進行內在訓練強度的監控，在運動的過程中需在胸口繫上心率帶進行量測，透過心率錶或電腦進行資料的蒐集。然而心跳率的量測屬於內在生理訊號，反映心血管系統的刺激程度，通常需要一段時間的運動刺激才能反映在心跳率上，而不能即時的反應當下的運動強度且會有所延遲，此點將不能反映非

持續性的高強度動作，即會低估瞬間的高強度運動。特別是，羽球運動是間歇性的運動，當球落地即須重新發球而有短暫的休息，但當開始發球後又開始高強度的運動過程。此外，羽球運動需要大量的加速、急停、變換方向與跳躍等動作，這對於肌肉而言都是具有強烈負荷的，然這些特性並不能從心跳率所得知。而如果能從動作上進行外在運動強度的量測，藉由身體動作的物理變化來判斷運動強度，則可彌補心跳率的不足，例如透過加速規來量測身體的外在訓練強度，藉以推測運動強度。

外在運動強度之演算法

目前利用加速規訊號分析外在運動強度的演算方式也非常多樣 (Vähä-Ypyä et al., 2015)，像是 Player Load、MAD (Mean Amplitude Deviation)、積分值等來作為判斷運動中活動量以及運動強度的指標 (Chambers, Gabbett, Cole, & Beard, 2015; Scott, Lockie, Knight, Clark, & de Jonge, 2013)。MAD 為利用加速度訊號計算運動強度的常用方法之一，在跑步運動中，透過 MAD 演算法計算而得不同強度的活動下加速度指標與耗氧量之間的關係已得到證實，兩者呈現高度相關 (Aittasalo et al., 2015)。另一方面，在較多不同方向變換的球類運動 (如：籃球、排球、足球) 及持拍性運動 (如：桌球、羽球) 上，也有許多文獻利用 Player Load 來計算運動強度，並針對不同型態或位置的球員透過運動強度來進行運動表現之監控，2019 年 Jacob 等人發表之文獻中利用 Player Load 的算法，計算出菁英籃球員在五對五的比賽中，不同位置下球員的負荷、加速度和跳躍數值。進一步利用這些數據，給予球員科學化的運動表現優化建議，在某些比賽條件下需要“超負荷”的身體壓力和疲勞，此方法亦可有效地監控球員的即時狀況 (Jacob, Zakaria, & Tomari, 2016; Scott et al., 2013; Svilar, Castellano, & Jukic, 2019)。以上文獻證實加速規的計算上不管是使用 Player Load 或 MAD 值作為分析方式，在特定的運動下對運動強度的監控都是可行的。然而，目前關於羽球運動項目中最適用的分析方法尚未釐清，仍有待研究證實。

慣性量測感測器 (inertial measurement units, IMU) 是目前廣為使用的感測器，其中包含加速規 (Accelerometer) 及陀螺儀 (Gyroscope)，是利用壓電晶片來感測運動學中之加速度與角加速度參數，以輸出之電壓值表示測得之數據 (Khoshnoud & De Silva, 2012)。目前許多研究或穿戴產品是透過將 IMU 放置於手腕、腰上或腳子上來進行動作偵測。羽球運動有許多上肢、軀幹和足部移動，根據不同擊球動作各肢段與軀幹會有相應不同的動作，也會間接影響所配戴 IMU 位置的加速度訊號強度。然目前尚未有研究證實 IMU 配戴在哪個位置是最能反映羽球運動時的強度。

二、研究目的

本研究將探討不同外在運動強度計算方法 (Player Load、MAD) 與配戴位置 (手、軀幹及腳)，哪個組合最能反映羽球運動強度。做為未來羽球運動強度監控裝置開發之依據，例如開發羽球智慧鞋、智慧腕帶或智慧腰掛等，用以量化羽球運動強度，讓使用者可在訓練時或比賽時使用，紀錄每次羽球運動的強度與負荷量，藉此監控運動負荷，提供科學化的量化訓練數據及調整訓練方式之參考依據，進一步有助訓練成效與避免傷害發生。

三、研究方法

研究對象

本研究招募 15 名受試者，基本資料 (年齡: 24 ± 1.85 歲、身高: 177 ± 4.66 公分、體重: 75 ± 6.73 公斤)，平時具有運動習慣，近六個月內無下肢神經、肌肉骨骼與心血管方面等疾病。每位受試者參與本實驗之前，予以告知及說明研究內容、步驟及注意事項，之後詳閱受試者須

知，瞭解實驗內容後簽署受試者同意書，同意參與本實驗。

測量儀器與設備

Naxsen 九軸加速規，加速規配戴於非慣用手手腕、軀幹、右腳脛骨，量測運動時加速度數據，擷取頻率定為 200Hz。Polar 心率帶 (H10)，心率帶配戴至受試者胸前，紀錄實驗時心率的變化，擷取頻率 1 Hz，本研究使用 Polar FlowSync 3 作為心跳參數分析軟體。節拍器，以手機節拍器軟體播放節拍聲音，使受試者在規定的時間以及節奏下完成三種強度的羽球操。

實驗流程

(一) 安靜心率

收取受試者靜坐 3 分鐘的安靜心率。

(二) 羽球試驗

羽球強度的設定，為前導實驗測試而訂定出來，由 3 位受試者反覆執行羽球操各種設定的限定時間，確保之後 15 位受試者皆可完成三種強度（不同節奏速度）的時間限制。

三個試驗採隨機次序執行，確認心率與 IMU 同步後開始試驗。每個試驗結束後，請受試者休息至心率低於 100 bpm，才開始下個試驗，確保受試者充分休息。

羽球動作：試驗動作如下圖，依序完成右前、左前、右側、左側、右後、左後，共有 6 種羽球動作分項。依照完成分項動作的時間分為三個強度，強度一為各分項動作要在 5 秒完成，其中右側跟左側為 5 秒完成兩邊，收取 3 分鐘加速度及心率數據；強度二為各分項動作要在 4.5 秒完成，其中右側跟左側為 4.5 秒完成兩邊，收取 3 分鐘加速度及心率數據；強度三為各分項動作要在 4 秒完成，其中右側跟左側為 4 秒完成兩邊，收取 3 分鐘加速度及心率數據。每次完成一種速度後詢問受試者 RPE 及紀錄心跳。動作完成之定義：左前、右前以球拍觸擊球網，左側、右側以球拍觸擊邊線，左後、右後為以球拍觸擊底線。

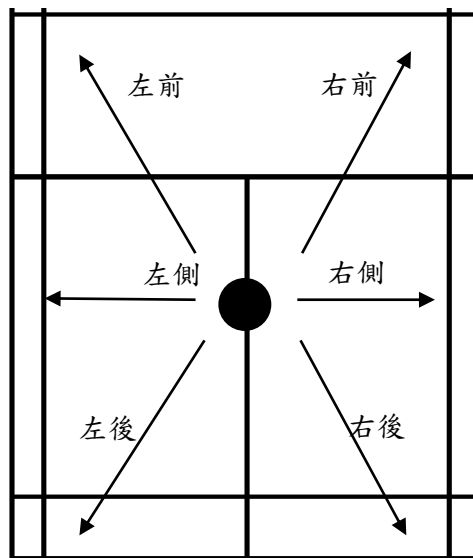


圖 1、羽球動作順序示意圖

資料收集與分析

將 IMU 所收取的資料經由 Acqknowledge4.1 進行 10 Hz 低通濾波，計算 MAD、Player Load、積分值，計算方法如下：

$$\text{Player Load} = \sum_i^n \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}$$

$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |r_i - \bar{r}|$$

MAD 算式中 r_i 為第 i 個時間下的合加速度， \bar{r} 為時間內平均加速度。

Player load 算式中 X_i 、 Y_i 、 Z_i 為三軸向在第 i 個時間的的加速度。

統計方法

同一運動試驗下，同一加速規指標，以單因子變異數分析比較不同強度間的差異。若差異達顯著再以皮爾森積差相關比較強度與加速度間的相關性。顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。

四、結果

確認強度設定在心率上的差異

15 位受試者在三種強度下心率隨強度增加而遞增，確定各運動最初強度心率間有類似數值。3 種試驗的強度區分上皆達顯著差異 ($p < .05$)，確認本次實驗於三種強度的操作是有效的。

表 1、三種運動強度下心率數值

	L1	L2	L3
HR (bpm)	151.42 ± 23.4*#	159.56 ± 22.4	166.10 ± 19.7

L1：低強度，L2：中強度，L3：高強度，* =與 L2 有顯著差異，# =與 L3 有顯著差異

加速度不同算法之結果

圖 2 為單一放置於手部的加速規三軸合加速度結果，從圖中原始合加速度可以看出三種強度下，強度三數值相較強度一都有較大的振幅趨勢。顯示加速度訊號會隨著強度提升而變大。表 2 為將加速規放置在不同部位下的 Player Load 與 MAD 數值。結果不管放在哪個位置，三種強度下的 Player Load 與 MAD 都有依照強度而遞增，其中放置在腿部的 Player Load 與放置手部的 MAD 有較高的數值。

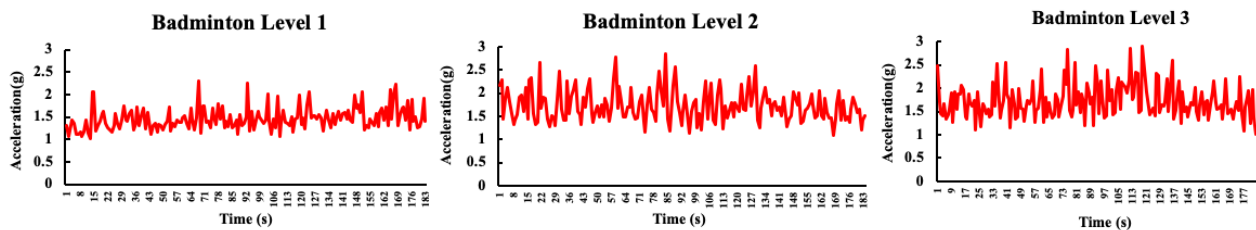


圖 2、加速規放置於手部的三軸合加速度原始資料

表 2、羽球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 數值

	Hand		Foot		Trunk	
	PL(AU)	MAD(g)	PL(AU)	MAD(g)	PL(AU)	MAD(g)
L1	4.70 ± 1.3	37.21 ± 8.2	7.97 ± 1.3	31.27 ± 5.3	4.80 ± 1.1	30.63 ± 4.5
L2	5.46 ± 1.6	41.80 ± 9.1	8.66 ± 1.6	34.36 ± 6.4	5.07 ± 0.9	33.14 ± 5.4
L3	6.14 ± 1.7	45.34 ± 9.7	9.93 ± 2.3	37.93 ± 7.2	6.09 ± 1.5	35.46 ± 5.0

L1：低強度，L2：中強度，L3：高強度

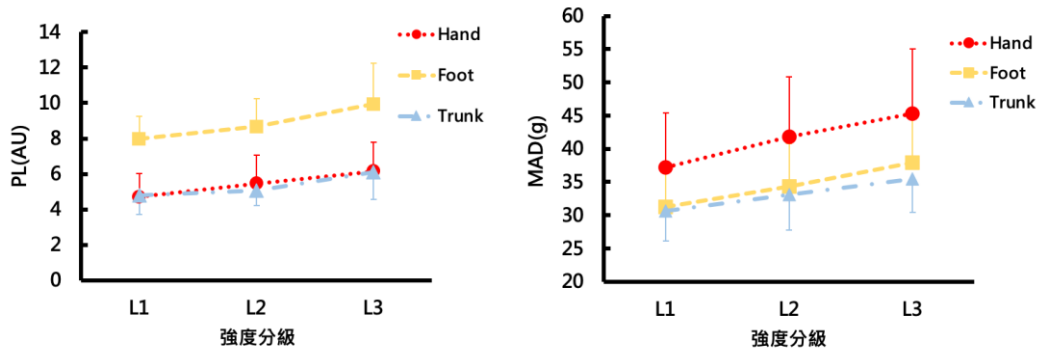


圖 3、加速規放置不同位置下 Player Load (左) 與 MAD (右)之變化

加速度指標與心率之相關性

圖 4、5 為 Player Load 與 MAD 在三種強度與心率之散佈圖。從圖中可以看出，隨著運動強度上升，兩加速度指標也呈現遞增的情況。

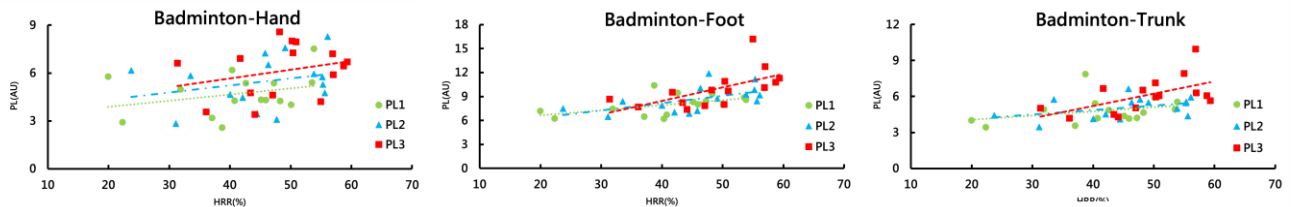


圖 4、三種運動強度下 Player Load 與心率之散佈圖

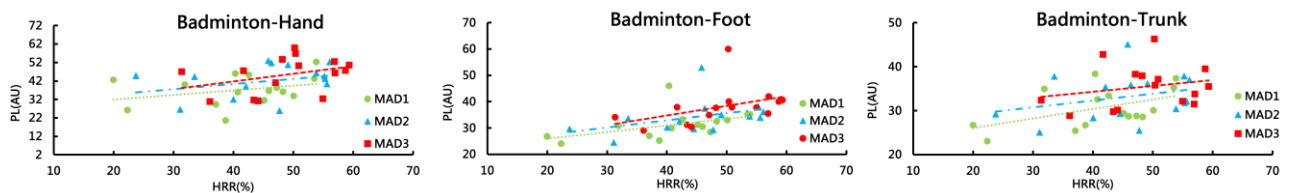


圖 5、三種運動強度下 MAD 與心率之散佈圖

圖 6 為不同放置位置的 Player Load 及 MAD 數值與心率的相關性。圖中可以看出 Player Load、MAD 在不同部位下都呈現中度相關，其中放置在手部的 Player Load、MAD 與心率都有最高的相關性、次要為腿部的，最後則是軀幹。

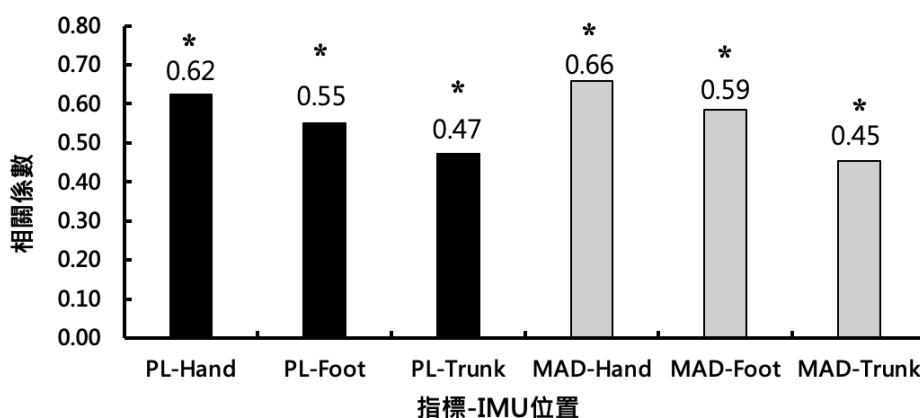


圖 6、羽球加速度指標與心率之相關性 * = $P < 0.05$

五、討論

本次羽球試驗結果中，Player Load 以及 MAD 與心率的相關性，皆是最高為手部其次為腳最後為軀幹，驗證了先前研究將感測器放置於手部與下肢皆為較適合之位置(Fu, Ren, & Baker, 2017; Wang, Guo, & Zhao, 2016)。羽球比賽過程中，需要利用手部的擺手以及快速的腳步轉換來擊球，因此，放置於手部以及脛骨的加速規會有較大的數值。相對於軀幹，本實驗羽球試驗是以米字步作為主要內容，在快速前後、橫向位移中，軀幹加速規收取到的數值相對較不明顯，進而與心率的相關性偏低。Player Load 與 MAD 在識別運動強度的差異上，先前有文獻也提出較大的加速度數值對於強度的辨識上會更準確，這也可說明在羽球試驗中手部與下肢的強度參數與心率有較高的相關性。而在羽球結果中兩種參數在不同放置位置下，呈現類似的數據（Player Load 最高相關性 0.62，MAD 最高相關性 0.66）。因此，只能說明兩種強度參數皆可使用於羽球運動的監控上，無法提出較適合使用之參數，原因可能為本實驗羽球試驗使用米字步當作主要試驗，可能只能模仿到羽球比賽中某些基本的位移與擊球動作。但在真實比賽中，是會包含回擊小球與跳殺...等較複雜的動作，未來在羽球操的規劃上可以加入更貼近比賽之動作，對於收集加速規的數據上可能會有更高的數值，進而可以區別出兩種參數間之差異。對於其它持拍性運動來說，例如網球、桌球皆以手部揮擊動作居多，相對造成手部感測器會有較多的晃動，在監控強度上可能就會有較準確的數據。未來針對持拍性運動感測器放置位置，可以選擇手部較為適當。

六、結論與建議

本實驗歸納出在羽球運動下，兩種算法 Player Load、MAD 皆可用來當作強度監控的指標，在結果中與心率的相關性呈現類似的數據。對於放置位置來說，最適合的位置兩種指標皆為手部，其次為腳。未來在開發羽球智慧監控系統時，可考慮發展智慧與球手環或智慧鞋，藉此提供羽球運動者運動強度之量測，協助評估訓練負荷以及擬定訓練計畫之依據；提高訓練效益增進運動表現的同時，也避免過度訓練延伸的運動傷害發生。未來研究，可以加入更多比賽時會使用到的動作，例如：回擊小球、跳殺...等，以及實際收集比賽時的訊號加以分析。

參考文獻

- 王春貴、林瑞興 (2010)。羽球運動之介紹與生理探討。屏教大體育, (13), 21-25。
- Aittasalo, M., Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Jussila, A.-M., & Sievänen, H. (2015). Mean amplitude deviation calculated from raw acceleration data: a novel method for classifying the intensity of adolescents' physical activity irrespective of accelerometer brand. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 7(1), 18.
- Alcock, A., & Cable, N. T. (2009). A comparison of singles and doubles badminton: heart rate response, player profiles and game characteristics. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 228-237.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 44-51.
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 369-374.
- Chambers, R., Gabbett, T. J., Cole, M. H., & Beard, A. (2015). The use of wearable microsensors to quantify sport-specific movements. *Sports Medicine*, 45(7), 1065-1081.
- Fu, L., Ren, F., & Baker, J. S. (2017). Comparison of joint loading in badminton lunging between professional and amateur badminton players. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2017.
- Gabbett, T. J. (2015). Relationship between accelerometer load, collisions, and repeated high-intensity effort activity in rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(12), 3424-3431.
- Jacob, A., Zakaria, W. N. W., & Tomari, M. R. B. M. (2016). Quantitative analysis of hand movement in Badminton Advanced Computer and Communication Engineering Technology (pp. 439-448): Springer.
- Khoshnoud, F., & De Silva, C. W. (2012). Recent advances in MEMS sensor technology-mechanical applications. *Instrumentation and Measurement Magazine, IEEE*, 15(2), 14-24. doi:10.1109/MIM.2012.6174574
- Kingsley, M. I., Nawaratne, R., O'Halloran, P. D., Montoye, A. H., Alahakoon, D., De Silva, D., . . . Nicholson, M. (2019). Wrist-specific accelerometry methods for estimating free-living physical activity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 677-683.
- Kwan, M., Cheng, C. L., Tang, W. T., & Rasmussen, J. (2010). Measurement of badminton racket deflection during a stroke. *Sports Engineering*, 12(3), 143-153.
- Rodriguez, V., Medrano, C., Plaza, I., Corella, C., Abarca, A., & Julian, J. (2019). Comparison of Several Algorithms to Estimate Activity Counts with Smartphones as an Indication of Physical Activity Level. *IRBM*, 40(2), 95-102.
- Scanlan, A. T., Wen, N., Tucker, P. S., & Dalbo, V. J. (2014). The relationships between internal and external training load models during basketball training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2397-2405.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & de Jonge, X. A. J. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195-202.
- Smith, D. J. (2003). A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Medicine*, 33(15), 1103-1126.
- Svilar, L., Castellano, J., & Jukic, I. (2019). Comparison of 5vs5 training games and match-play using microsensor technology in elite basketball. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1897-1903.
- Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Mänttari, A., Vuorimaa, T., Suni, J., & Sievänen, H. (2015). Validation of cut-points for evaluating the intensity of physical activity with

accelerometry-based mean amplitude deviation (MAD). *PloS one*, 10(8), e0134813.

Wang, Z., Guo, M., & Zhao, C. (2016). Badminton stroke recognition based on body sensor networks. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(5), 769-775.

Yuksel, M. F., Cengiz, A., Zorba, E., & Gokdemir, K. (2015). Effects of badminton training on physical parameters of players. *Anthropologist*, 21(3), 542-547.

108年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：相子元		計畫編號：108-2622-H-003-001-CC3			
計畫名稱：監控運動強度之智慧羽球鞋開發					
成果項目		量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文	0	篇	已投稿至2020台灣運動生物力學研討會
		研討會論文	1		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	1	篇	完成監控羽球運動強度之智慧演算法開發
		其他	0	篇	
國外	學術性論文	期刊論文	1	篇	Better position for the wearable sensor to monitor badminton sport training loads. 投稿至國際期刊 Sports Biomechanics 已進入第2輪修正答辯
		研討會論文	0		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	邱煜程、王恩慈、李秉宏 三位碩士研究生均已順利畢業
		碩士生	3		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)		本研究計畫成果可提供羽球愛好者與競技運動選手在規劃羽球訓練中運動量參考依據，亦可協助教練有系統性規劃訓練週期，達到有效提升實力。 本研究計畫成果於2020年科技部主辦之「Kiss Science—科學開門，青春不悶」--運動越來越科技中展出，提供青年學子透過不同視角貼近科學，並汲取不同領域的科普知識			

本產學合作計畫研發成果及績效達成情形自評表

成果項目		本產學合作計畫預估研究成果及績效指標 (作為本計畫後續管考之參據)	計畫達成情形
技術移轉		預計技轉授權 1 項	完成技轉授權 1 項
專利	國內	預估 0 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
	國外	預估 0 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
人才培育		博士 0 人，畢業任職於業界 0 人	博士 0 人，畢業任職於業界 0 人
		碩士 1 人，畢業任職於業界 1 人	碩士 2 人，畢業任職於業界 1 人
		其他 0 人，畢業任職於業界 0 人	其他 0 人，畢業任職於業界 0 人
論文著作	國內	期刊論文 1 件	發表期刊論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 1 件
		SCI論文 0 件	發表SCI論文 0 件
		專書 0 件	完成專書 0 件
		技術報告 1 件	完成技術報告 1 件
	國外	期刊論文 0 件	發表期刊論文 0 件
		學術論文 0 件	發表學術論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 0 件
		SCI/SSCI論文 1 件	發表SCI/SSCI論文 0 件
		專書 0 件	完成專書 0 件
		技術報告 0 件	完成技術報告 0 件
		其他協助產業發展之具體績效	新公司或衍生公司 0 家
計畫產出成果簡述： 請以文字敘述計畫非量化產出之技術應用具體效益。 (限600字以內)	本研究計畫成果在確認並量化不同羽球動作下相對應的外在運動強度，提供未來應用IMU於羽球訓練上的演算法理論基礎，應用IMU偵測運動強度的演算法除了可做為智慧鞋開發之依據，亦可推廣至其它智慧穿戴裝置，例如智慧手錶、運動手環等		
請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估	<input checked="" type="checkbox"/> 達成目標 <input type="checkbox"/> 未達成目標 (請說明，以100字為限) <input type="checkbox"/> 實驗失敗 <input type="checkbox"/> 因故實驗中斷 <input type="checkbox"/> 其他原因 說明：		
本研究具有政策應用參考價值	<input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是，建議提供機關		

	(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是 說明：(以150字為限)