國立臺灣師範大學運動與休閒學院運動競技學系

碩士論文

Department of Athletic Performance

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master’s Thesis

比較加速度強度指標間在不同運動下之差異

Comparison of acceleration intensity indicators under different sports

姜俊瑋

CHIANG, Chun-Wei

指導教授：相子元 博士

Advisor: Shiang, Tzyy-Yuang, Ph.D.

中華民國 109 年 7 月

July 2020

比較加速度強度指標間在不同運動下之差異

2020 年 7 月

研 究 生：姜俊瑋
指導教授：相子元

摘要

前言：近年來，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，在指標間的差異與適用運動尚未有統整性的討論。**目的：**在不同運動下，利用加速規不同方法計算運動強度，比較指標間的差異。**方法：**招募 15 位受試者，配戴胸帶式心率帶於胸前與九軸 IMU (Naxsen 9X, SIPPLink, Taiwan)放置於左手手腕、軀幹及右腳脛骨。收取羽球操（米字步）、跑步、籃球操（防守動作、投籃、跳耀等）三項運動試驗下的心率與加速度數據，加速度以 10Hz 低通濾波後，計算 Player Load、MAD。以重複量數單因子變異數分析 比較不同強度下心率之差異，再以皮爾森積差相關分析加速度指標與心率間的相關性。**結果：**羽球試驗中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，跑步放置於手部的 PL 數值與心率有較高的相關性，籃球試驗中，兩種指標在三種放置位置下與心率都有高度的相關。**結論：**羽球與跑步兩種運動的加速規最佳放置位置為手部，籃球運動則不論部位，兩種指標皆適合使用。本實驗也發現，不管是 Player Load 或是 MAD 都需要放置於加速規數據變化較明顯之位置，才能使強度監控上有更準確的數據，未來在監控運動的選擇上，若要使用 Player Load 或 MAD，該運動包含更多樣且動作較大的動作會是較適合之選擇。

關鍵字:穿戴式裝置、運動強度、加速規

Comparison of acceleration intensity indicators under different sports

July, 2020

Author: Chun-Wei Chiang
Advisor: Tzyy-Yuang Shiang

Abstract

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 differences between indexes and the applicable exercises have not been systematically discussed. **Object:** Different methods of accelerometer signal were used to calculate exercise intensity for different sports and compare the differences between indexes. **Methods:** Fifteen subjects were recruited, wearing a chest strap heart rate monitor on the chest and placing nine-axis IMUs (Naxsen 9X, SIPPLink, Taiwan) on the left wrist, trunk and right tibia. The heart rate and acceleration data under running, basketball exercises (shuttle running, and jumping) and badminton exercises (six-point footwork) were collected. After filtering the acceleration by 10Hz low-pass filter, the Player Load and the MAD were calculated. The difference of heart rate was analyzed under different exercise intensities test via repeated measured ANOVA, and the correlation coefficient between the heart rate and the acceleration intensity indexes were found out by using the Pearson product difference correlation. **Results:** In the badminton test, both indicators show that the accelerometer, which placed on hands, has a higher correlation with the heart rate; in the running test, the Player Load value placed on the hand has a higher correlation with the heart rate; in the basketball test, the two indicators for all the three placements are highly correlated with heart rate. **Conclusion:** The best placement of

the acceleration for both badminton and running are on hands. Both indicators for basketball are suitable no matter where the accelerometer place. In this study, it also found that whether Player Load or MAD needs to be placed in a position with higher acceleration value to make more accurate intensity monitoring. In the future, choosing sport with more diverse and larger movement would be better in case of using PL or MAD as monitoring indicators.

Keywords: Wearable device, Exercise intensity, Accelerometer

目　次

摘要.....i
英文摘要.....ii
目次.....iv
表次.....vi
圖次.....vii

第壹章　緒論.....1

第一節　前言.....1
第二節　問題背景.....3
第三節　研究目的.....3
第四節　研究假設.....4
第五節　研究範圍與限制.....4
第六節　名詞操作定義.....4
第七節　研究之重要性.....4

第貳章　文獻探討.....5

第一節　身體活動與運動強度的關係.....5
第二節　心率與運動強度的關係.....7
第三節　加速規與運動強度的關係.....9
第四節　不同運動對強度之量測.....12
第五節　文獻總結.....14

第參章　實驗方法.....15

第一節　研究對象.....15
第二節　測量儀器與設備.....15
第三節　實驗流程.....17
第四節　資料收集與分析.....20
第五節　統計方法.....20

第肆章　結果.....21

第一節　確認強度設定在心率上的差異.....21
第二節　加速度不同算法之結果.....22
第三節　加速度指標與心率之相關性.....24

第伍章　討論.....27

第一節　羽球(持拍性)運動適合放置位置與適合之強度參數.....27
第二節　跑步(規律性)運動適合放置位置與適合之強度參數.....28
第三節　籃球(綜合動作)運動適合放置位置與適合之強度參數.....29
第四節　結論與建議.....30

引用文獻….....32
附錄一　實驗受試者須知.....39
附錄二　實驗受試者同意書.....40
附錄三　實驗受試者基本資料表.....41

表　次

表 2-1 加速規計算各強度參數之文獻整理.....9

表 2-2 不同運動項目之強度計算方法文獻整理.....13

表 4-1 三項運動中各強度分級下心率數值.....21

表 4-2 羽球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 數值.....23

表 4-3 跑步試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 數值.....23

表 4-4 籃球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 數值.....24

圖　次

圖 2-1　Edwards 法訓練衝量區段示意圖.....8

圖 2-2　加速度與跑步速度之相關性.....10

圖 2-3　MAD 與生理指標之相關性.....11

圖 3-1　心率帶配戴位置.....16

圖 3-2　加速規手腕、軀幹及脛骨配戴位置.....16

圖 3-3　籃球操順序示意圖.....18

圖 3-4　羽球操順序示意圖.....18

圖 3-5　實驗流程圖.....19

圖 4-1　不同強度下三種運動之心率差異.....21

圖 4-2　加速規放置於手部的三軸合加速度原始資料.....22

圖 4-3　羽球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖.....23

圖 4-4　跑步試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖.....23

圖 4-5　籃球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖.....24

圖 4-6　三種運動在三強度下 Player Load 與心率之散佈圖.....24

圖 4-7　三種運動在三強度下 MAD 與心率之散佈圖.....25

圖 4-8　羽球加速度指標與心率之相關性.....26

圖 4-9　跑步加速度指標與心率之相關性.....26

圖 4-10　籃球加速度指標與心率之相關性.....26

圖 5-1　放置於軀幹的 MAD 數值與心率之結果.....29

第壹章　緒論

第一節　前言

近年來，運動強度的監控已成為大眾關注的議題，有效的強度監控搭配訓練課表，即可在運動表現上帶來益處，並可以降低運動傷害發生之機率。先前在定義運動強度最簡易的方法為 RPE（Rate of Perceived Exertion），將強度定義在數字 6（輕鬆）至 20（非常累）的區間內，依據運動者本人之自我感覺評量。然而，使用 RPE 作為運動強度指標，在顯示當下強度階段時，可能因為心情、壓力等因素而導致無法準確反應真實的運動強度，而後為了解決此問題進而發展出與其他指標搭配使用的方法，例如：加速規 (Meckel, Zach, Eliakim, & Sindiani, 2018)。

隨著科技的進步，穿戴式裝置的技術越來越成熟，已有許多研究將其運用在強度量測上。穿戴式裝置具備配戴便利且價格合理等特點 (Chen, Lach, Lo, & Yang, 2016)，作為改善健康狀況與監控運動訓練都是非常適合使用的儀器。ACSM 全球健身趨勢調查報告中，穿戴式裝置被評為現今以及未來運用在健身運動排行的第一名 (Thompson, 2018, 2019)。許多研究也對於穿戴式裝置量測結果的信效度做分析，對於加速規估計身體活動量結果中呈現良好的性效度 (Welk, Blair, Wood, Jones, & Thompson, 2000)。在運用穿戴式裝置對於量測心率的文獻當中指出，心率確實能在規定的運動強度中藉由儀器測量準確呈現，並且證實使用智能手機技術在戶外跑步過程中對心率的量測是可行的 (Hunt & Hunt, 2016)。除了自身感覺對於強度的監控外，使用感測儀器對身體的內在負荷（如：血液、心跳等）和外在負荷（如：加速度、GPS 等）的強度量化下，可以使數據更加完整，以及對於一般民眾或專業運動員在選擇訓練強度時可以提高其便利性及全面性。

目前加速規評估運動量已被廣泛運用在多項個人或團體運動中，對於加速規與生理指標間的相關研究，在結果中都可以證明，不同運動下加速規數據與心跳、攝氧量間有很高的相關性 (Lahdenoja, Humanen, Tadi, Pänkäälä, & Koivisto, 2016)。除此之外，利用加速規訊號分析的演算方式也非常多樣 (Vähä-Ypyä et al., 2015) ，像是 Player Load、MAD (Mean Amplitude Deviation)、積分值等來作爲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, 2016b; Scott et al., 2013; Svilar, Castellano, & Jukic, 2019)。以上文獻證實了運動強度與身體消耗、運動類型間皆有密不可分的關係，對於在運動中的即時監控有很大的幫助，使運動或訓練時可以更有效率且安全。

許多文獻提出，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，其中量測的準確度以及應用性將會是未來需注意的部分。整體來說，強度控制對於整體提升活動量相對重要。找到各項運動項目最適用之量測裝置與數據分析方法可以更方便且更準確

的方式監控運動強度，同時提高訓練效率。若運動員能精準地定義自身運動強度，便可避免過度訓練，並降低運動傷害發生的機率。

第二節　問題背景

利用加速度來計算相對的強度指標有非常多演算法。並且各方法間在計算、顯現強度的程度皆不同，可能因為運動項目中包含高重複性的動作，導致量測上的誤差。亦有可能因為動作型態不同，加速規在量測上無法呈現準確且合理的數據。由此可知，不同指標間的差異以及不同運動中適用的強度指標文獻尚屬不足。

而民眾在從事休閒運動時大多都以跑步、球類運動、持拍型運動如：桌球、網球、羽球等。而先前已有許多研究證實上述運動不管是以內、外在負荷利用感測儀器在強度的量測上具有可行性。但現在少有文獻將各強度指標在不同運動時做討論，整合其中差異，提出在特定運動下適合用來監控強度的指標。

第三節　研究目的

1. 探討在跑步、籃球、羽球三種運動下，利用加速規不同方法計算運動強度，比較指標間的差異。

2. 探討在跑步、籃球、羽球三種運動下，加速規放置於身體不同部位來計算運動強度，比較指標間的差異。

3. 討論不同運動下應以哪種方式計算運動強度為最佳指標，以及哪種放置位置為最佳位置。

第四節　研究假設

1. 三種運動下，加速規數據在不同算法下會有差異。

2. 三種運動下，加速規數據在放置於身體不同位置下會有差異。

第五節　研究範圍與限制

本實驗量測在跑步、籃球及羽球活動下，心率、加速規不同算法下運動強度之差異，因此無法適用於其他運動下進行推論。

第六節　名詞操作定義

1. 籃球操：本實驗之籃球操為模擬籃球比賽或訓練中會使用到的專項動作，其中包含衝刺、多方向位移、跳躍與投球等動作。
2. 羽球操：羽球操為羽球選手在專項訓訓練中普遍使用的訓練課表，用來訓練選手的擊球協調性，其中包含向前擊球、橫向位移擊球、高遠球等動作。

第七節　研究之重要性

一、統整在不同運動下，利用心率、加速規不同計算方法下運動強度之數值差異，提供未來民眾在運動訓練上有更精準的運動參數。

二、提供民眾在從事不同運動時了解如何計算運動強度，達到有效提升身體活量之方法。

第貳章　文獻探討

討論運動強度的重要性時，許多文獻都以與身體活動量的關係及不同量測方法來討論。本章節從身體活動量相關文獻中提出運動強度重要之原因，並整理出不同強度指標在計算方法上的研究結果。

第一節　身體活動量與運動強度之關係

近年來隨著科技日益進步，智能產品、智慧手機已成為現代人不可或缺的一部份。長時間使用可能造成久坐行為、缺乏運動量等負面影響。許多研究已證實身體活動量與健康之間的關聯，缺乏運動量會增加對健康狀況不利的危害因子，包括主要的非傳染性疾病，例如：冠心病、2 型糖尿病、乳腺癌和結腸癌，並可能縮短預期壽命。缺乏活動量對於生活上的影響除了內在健康外，心裡層面也有文獻證實可能會造成憂鬱症抑或是缺乏幸福感的情況 (Costigan, Lubans, Lonsdale, Sanders, & del Pozo Cruz, 2019; Currier et al., 2020)，並有可能提高骨質疏鬆症發生機率 (Kopiczko, Gryko, & Łopuszańska-Dawid, 2018)。

關於身體活動量指南，美國運動醫學會 (American College of Sports Medicine, ACSM) 在幾年間固定發行的「ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription」，將具體的建議運動方法及持續時間做整理。我國教育部於民國 88 年為提升全國孩童體適能能力，提出「運動 333 計畫」鼓勵學生每星期運動天數須達到 3 天，每次時間持續 30 分鐘，心跳需要達到每分鐘 130 下。幾年推廣下來發現，運動 333 沒有將性別及年齡做區分，定義出較仔細的運動計畫。研究學者也提

出此計畫之運動強度偏低，不足以提升國人運動體適能能力，進而對於達到應有的運動強度開始重視 (姚承義, 林嘉志, & 徐煜輝, 2008)。

經過多年參考 WHO 世界衛生組織的體適能建議，2011 年我國政府提出「動動 150 健康一定行」的運動方針，建議成年人應每週至少積累 150 分鐘的中等強度運動或 75 分鐘的劇烈運動，對於健康有許多的益處。然而，在國內符合建議活動量指標的人群仍然寥寥可數 (黃森芳 & 陳杰, 2019) 。這其中的原因可能為量測活動量、強度的方法相對困難抑或是只增加運動時間忽略強度等問題。除了單純定義運動時間外，也有許多研究討論走路、快走與活動量之間的關係，發現一天在路的步數與身體組成的數值呈現負相關，說明了每日累積的總步數越多，會有較低的身體組成數值（腰圍、臀圍、胸圍、BMI、體重等） (Yuenyongchaiwat, 2016)。由次可知，走路對於提升身體活動量似乎是較可行的方法。然而，我國政府於 2002 提出「每日一萬步，健康有保固」的健康方針，施行幾年後，亦發現以一萬步對於國民應有的活動量以及運動強度稍有不足。這其中的原因可能為，如果單純的規定國人應達到的累積步數，對於提升活動量的效果有限。應把走路時的強度加入一同討論，如：行走速度。在 Macpherson (2009)的研究中，於實驗室跑步機下以較慢走路速度 (3.2 km/h) 持續行走 107 分鐘，達成每日 10,000 步時，累積熱量消耗為 235 大卡；另以較快走路速度 (6.4 km/h) 持續行走 77 分鐘則為 388 大卡。由上述可知身體活動強度與持續時間，皆是影響走路運動有效性的關鍵因素 (江宗麟, 徐志翔, 林育槿, & 吳慧君, 2019; Macpherson, Purcell, & Bulley, 2009)

由此可知，對於提高身體活動量，除了增加活動時間，在強度上的控制對於達到目標活動量之效果可能更為顯著 (King et al., 2019)。

第二節　心率與運動強度的關係

市面上有各式各樣的心率檢測產品，其中較多人使用以及信效度相對準確的為 Polar 這家公司的量測產品。Polar 在 1977 年首先發明了無線心跳率測量器 (傅正思, 許績勝, 馬君萍, & 王耀聰, 2013)，它的設備包括以心率帶使用的配戴方式以及直接配戴於手腕的碗戴式裝置。胸前的感應墊片可以量測到心臟肌肉收縮時所產生的電位活動，腕戴式則折是以光體積描記法的方式，以綠色光線偵測血液的流動量測心率。接著透過無線的方式傳送到接收裝置（手錶、車錶），再以螢幕直接顯示或是將資料傳輸到電腦，讓使用者可以非常方便且清楚的紀錄運動時的心率以及變化情形。

許多跑者在制定跑步訓練課表時，常會將自己的心率設定在一定的閾值，相對於當次訓練的強度目標，以便達到訓練該有的刺激與效果 (Wasinger et al., 1995)。心跳率和運動強度兩者是呈現高度的相關 (Cornelissen, Verheyden, Aubert, & Fagard, 2010)，當運動強度增加時，肌肉必須更快速激烈的收縮，此時心肌會增加心跳率以提供工作肌肉足夠的氧氣參與能量代謝 (Kilen, Gizzi, Jensen, Farina, & Nordsborg, 2012)。運動當下以相對最大心跳率的比例當作強度的標準，已是許多人都會使用的強度監控方式。若要以 75~80% 的最大心跳率作為當次訓練的目標，首先必須先計算出大心跳率，接著盡可能地將心跳率維持在設定的區間內，進而達到當次訓練該有的效果。另外，長時間的耐力運動，是造成疲勞的主要原因，也就是體內的肝醣和葡萄糖耗盡。當我們增加脂肪利用率，以更有效率的方式調節體內能源消耗時，對肝醣和葡萄糖的耗盡，相對的也會減緩許多，如此一來，相信對跑步運動表現將有很大的幫助。

近來許多從事跑步運動或長時間耐力運動的人，將心跳率視為反應運動強度的最簡便的運動指標 (Wilmore, Costill, & Kenney, 1994)。當身體面對運動壓力增強時，心跳率會上升 (林正常, 1987)。每個人的心跳率差異性很大，隨著年齡的增長，最大心跳率會逐漸下降，預估最大心跳率的方法，可以利用 206.9 - (0.67 x 年齡)來做計算 (Berkelmans et al., 2018)。確認最大心跳率和運動強度之間的關係後，便可運用心跳率的變化情形，當作訓練的指標。而 Edwards (1993) 所提出的區段訓練衝量法，是將遞增負荷運動時的心跳 率曲線分為五個區段，分別為 50-60 % HRmax、60-70 % HRmax、70-80 % HRmax、80-90 % HRmax 以及 90-100 % HRmax，依序為區段 Z1 至 Z5(圖 2-1)，最後將各區段運動時間乘以區段加權值而得到訓練衝量值，TRIMP = (Z1 運動時間)×1+(Z2 運動時間)×2+(Z3 運動時間)×3+(Z4 運動時間)×4+(Z5 運動時間)×5 (Edwards & Parry, 1993)。

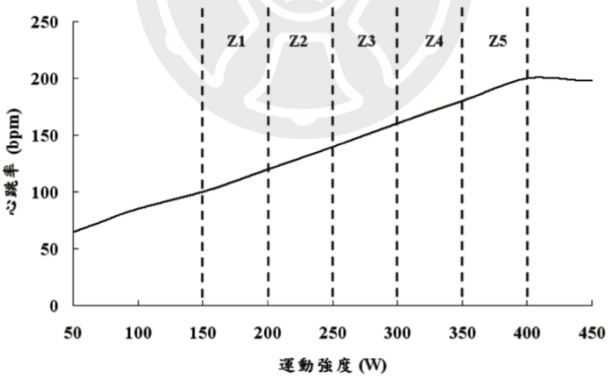


圖 2-1 Edwards 法訓練衝量區段示意圖

心率用於監控訓練或比賽的運動強度的已有許多文獻支持，與其他運動強度指標相比，心率為較容易監控的量測儀器。但也存在著一些疑慮，如：心跳率會出現延遲的現象，在運動後 30 秒至 1 分鐘後心跳才會上升。以至於研究上心跳參數的使用，可能還是需要與其他參數一同討論。

第三節　加速規與運動強度的關係

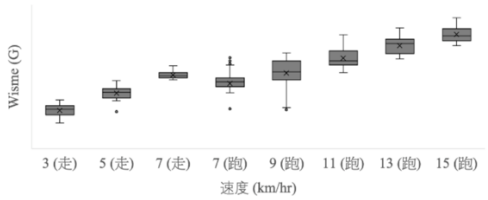
加速規因為配戴方便且價格相對便宜，已普遍運用在運動量測上 (Bergamini et al., 2014; Brayne, Barnes, Heller, & Wheat, 2015)。在應用上，利用 IMU 計算下肢動力學參數已經有許多文獻證實其可行性，其中 IMU 擺放位置、數量、計算方法也成為這類文獻中重點探討的部分。Ngoh （2018）運用 IMU 結合神經網路計算出垂直地面反作用力，並與校標呈現高度相關(Ngoh, Gouwanda, Gopalai and Chong. 2018)。(Karatsidis et al. 2019)，利用 17 個 IMU 佩戴在頭部、肩膀、軀幹、大腿、小腿等 17 個位置，以逆動力學的方法，計算出地面反作用力以及關節力矩（Karatsidis, Jung, Schepers, Bellusc, Veltink, & Andersen. 2019）。Damian P.Raper（2018），利用單顆 IMU 配戴於脛骨，計算以物理意義推算鐵人三項選手運動時的地面反作用力 (Raper et al., 2018)。除了利用 IMU 計算動力學參數地面反作用力外，Brahms （2018）研究團隊將感測器配戴於脛骨，計算出跑步時的步長，並與校標呈現高度相關(Brahms, Zhao, Gerhard and Barden. 2018)。(Mo & Chow. 2018)，利用 5 個 IMU 配戴於軀幹以及雙腳脛骨與前腳掌，以加速度訊號峰值計算著地時間、來地時間等運動學參數（Mo & Chow. 2018）。以上文獻支持了 IMU 的多樣應用性。

表 2-1 加速規計算各強度參數之文獻整理

年份	作者	數量	放置位置	計算參數	計算方法
2018	MarkusBrahms	1	右腳脛骨	步幅	速度積分與 zero-velocity updates (ZUPT)
2018	NgohKieron Jie-Han	1	右腳前腳掌	垂直地面反作用力	神經網路

2019	AngelosKaratsidis	17	頭部、胸骨、肩膀上臂、前臂、骨盆、大腿、小腿	地面反作用力、力矩	逆動力學
2018	Damian	1	脛骨	垂直地面反作用力	物理意義推算
2017	Reed	1	軀幹	地面反作用力	物理意義推算
2018	ShiweiMo	5	軀幹、脛骨、腳掌	著地、離地時間	加速度峰值

過去文獻中提到，利用加速規測得的數據和生理指標兩者比較後，發現加速規為較良好的檢測身體活動量的工具 (Gastin, McLean, Spittle, & Breed, 2013)。而加速規數據在計算強度上有非常多不同的演算法計算，如：Player Load、MAD、積分值…等來作爲判斷運動中活動量、運動強度的指標 (Chambers et al., 2015; Scott et al., 2013; Vähä-Ypyä et al., 2015)。在 2018 年的文獻中利用加速規每分鐘前十大加速度的數據，探討與跑步速度的相關性 (陳佑昇, 黃冠勛, & 相子元, 2018)。在結果中顯示，當走跑速度上升，上肢穿戴式裝置所測得前十大的加速度隨之上升，相關為 .869(p= .000)；下肢穿戴式裝置所測得前十大的加速度同樣也隨走跑速度而上升，走跑速度與前十大加速度的相關為 .924 (p= .000)，除了走路 7 km/hr 與跑步 9 km/hr 間無顯著差異(p=0.2)，其餘不同走跑速度間差異皆達顯著(p<.05)。



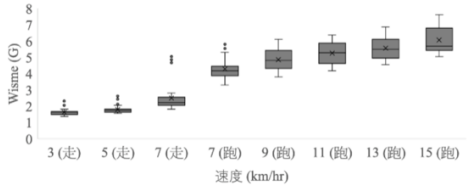


圖 2-2、加速度與跑步速度之相關性

MAD 的算法中，利用三軸合加速度與瞬時加速度之差做計算，在結果中提出，MAD 是一種非常有效的方法，可以從慢走到快跑的廣泛運動範圍內估計 PA 的強度。由於 MAD 的計算是基於原始加速度數據，並且已證明不同設備間在量測上無明顯差異、步行比跑步的準確性更高的結果。另有文獻提到，心率量測可能出現，運動強度到達高峰時，心率會出現閾值。在利用 MAD 計算時，強度提升，MAD 值會以遞增方式提升，沒有發現天花板效應。並發現 MAD 和 VO_2 之間都有高度相關性，如要使用 VO_2 峰值和 VO_2Max 值來計算運動強度，都會有實行上的不便性 (Vähä-Ypyä et al., 2015)，未來在運動強度的量測上將可以用外在指標來替代內在指標的可能。

	MAD and VO_2	MAD and speed
Both walk and run	0.975 (0.927–0.991)	0.969 (0.933–0.986)
Walking only	0.995 (0.976–1.000)	0.990 (0.962–1.000)
Running only	0.976 (0.850–0.999)	0.988 (0.886–0.999)

doi:10.1371/journal.pone.0134813.t002

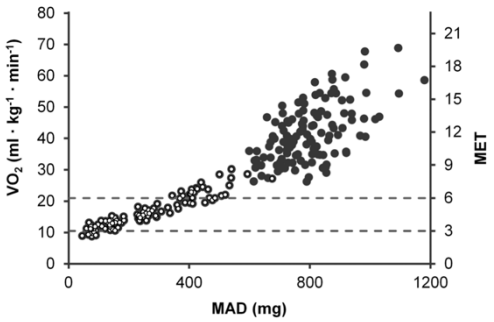


圖 2-3 MAD 與兩生理指標（VO_2、MET）之關係

空心圓為步行階段，實心圓為跑步階段

利用不同加速度計算方法估算活動量之研究中提到，加速規的數據需經過精確的濾波方法，才可以獲得更好的結果。並且在幾種不同計算方法中也可以看出其中顯著之差異 (Rodriguez et al., 2019)。不同擺放位置研究中，比較放置於手腕與髖關節上，九種加速規數據模型估計的活動量，結果中顯示放於手腕的線性模型產生的結果與放於髖關節的參考方法最相似 (Kingsley et al., 2019)。

總結以上運用加速規在計算運動強度已有許多文獻使用，主要差別來是加速規放置位置以及計算方法。如要準確以加速度計算運動強度應注意放置位置以及計算方法上之差異。

第四節　不同運動對強度之量測

運動中的強度對於選手甚至一般民眾都至關重要，適當的強度可以增加運動表現。然而，如果沒有控制好強度，可能會增加運動傷害發生機率。現今在強度量測上已經有許多文獻對於特定運動做研究。以跑步來說， (Meckel et al., 2018; Ngoh, Gouwanda, Gopalai, & Chong, 2018) 兩篇文獻利用不同的走跑速度下計算跑步時的步幅以及地面反作用力。在走跑運動中，時空參數（步幅、步頻、騰空時間、觸地時間）為定義運動表現以及強度的適用指標，這兩篇利用加速度數值來計算，證實了走跑運動下，不同指標定義強度的方法。以籃球來說，大部分的文獻都利用 Player Load 來當作球類運動的強度指標，(Svilar et al., 2019; Weiss, Allen, McGuigan, & Whatman, 2017) 以上兩篇運用加速規對職業籃球員在 5 對 5 籃球賽中不同戰術下負荷的差異。籃球是一項非常複雜且動態的團隊運動，過程是由間歇性和多方向的動作組合而成，例如衝刺、方向變化、跳躍、加速和減速。以至於球員的身體狀況以及比賽強度是非常重要的，如果能準確的控制訓練負荷、訓練強度，將會使球員及教練對於贏得比賽更有幫助。以持拍性運動來說，2016、2015 文獻運用加速規

與陀螺儀計算肘關節在羽球運動中運動學參數分析 (Jacob, Zakaria, & Tomari, 2016a)，以及發現須考慮感測器擺放位置在慣用手與非慣用手之差異 (Wong et al., 2019)。

表 2-2 不同運動項目之強度計算方法文獻整理

項目	年份	作者	強度指標	計算方法
跑步	2018	MarkusBrahms	走跑運動下的步幅	速度積分與 zero-velocity updates (ZUPT)
跑步	2018	NgohKieron Jie-Han	走跑運動下垂直地面反作用力	神經網路
籃球	2019	Svilar	利用加速規計算訓練負荷	加速度
籃球	2017	Kaitlyn	訓練負荷與損傷之間的關係	RPE、問卷
羽球	2016	Alvin Jacob	運用加速規及陀螺儀分析肘關節運動學參數	陀螺儀角速度計算關節彎曲角度
羽球	2019	Towel Wong	羽毛球運動員動態平衡表現，敏捷性，眼手協調性和運動表現	問卷、平衡測試

以上文獻對於不同運動在強度量測上皆提出可行的方法。在不同運動下，運動員位移方向與動作型態對於強度之量測必須更加注意，應考慮其中之區別做出在擺放位置或計算方法之調整。

第五節　文獻總結

從以上文獻可知，以心率來檢視運動強度已是一項可行的技術，在長時間耐力運動訓練中準確計算運動強度是不可忽視的一環 (Deus et al., 2019)，當我們知道目標心率所代表之意義和運動強度設定之間的關係，便可以有效用心跳率的特性，擬定個人訓練計畫，以此方式估計不僅能達到訓練最大效益，也能降低運動傷害發生的機率。除了運用內在負荷檢視運動強度外，加速度對於運動強度之量測，也有許多文獻證實可用來使用，但較少文獻對於加速規數據不同算法之差異做討論。現今利用加速度對於強度運算的方法大致以 Player Load、MAD、積分值等來作爲判斷運動中活動量、運動強度的指標。若能統整以上幾種指標在強度量測上之優劣，以及是否能準確反應當下運動之強度，便能使監控運動更加有效且達到提升效率、降低傷害發生之機率。

現今也有許多文獻對於單一運動做強度上的量測，大致可分為競技與一般民眾兩大族群，對於競技運動如：籃球、排球、跑步等，皆有文獻證實對於選手在訓練上，精準的控制運動強度對於提升選手成績有是有幫助的 (Aschendorf, Zinner, Delextrat, Engelmeyer, & Mester, 2019; Hale, Kollock, & Pace, 2019; Maggioni et al., 2019; Sanders, Boos, Shipley, Scheadler, & Peacock, 2018)。但對於一般民眾在強度上的控制可能時常被忽略。如果因本身肌力不足或動作不正確的情況下，過大的強度可能會使民眾有受傷的可能(Regnaux et al., 2015) 。因此，在一般民眾運動從事休閒運動如：跑步、籃球、羽球等運動時，應也需要強度監控之指標。總結以上，如果能對於不同運動中強度指標間的差異進行討論及研究，便能找出在運動中應以內在負荷指標或是外在負荷指標來量化強度，達到準確監控強度之效果。

第參章　實驗方法

第一節　研究對象

本研究召募 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。

第二節　測量儀器與設備

一、Naxsen 九軸加速規(N9)

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。

二、 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。

三、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籃球、羽球操。

圖 3-1 心率帶配戴位置

圖 3-2 加速規手腕、軀幹及脛骨配戴位置

第三節　實驗流程

一、配戴位置

(一) 心率帶：將心率帶圍於胸肌下方，連接車錶檢查裝置是否量測到心跳。

(二) IMU：配戴於左手手腕、軀幹、右腳脛骨，將 IMU 擷取頻率設定為 200Hz。

二、正式實驗

(一) 安靜心率

收取受試者靜坐 3 分鐘的安靜心率。

(二) 跑步、籃球操、羽球操試驗

籃球操、羽球操強度的設定，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以及籃球操，調整兩項試驗中各項動作的限定時間，確保之後 15 位受試者皆可完成強度三的時間限制。

三個試驗採平衡次序執行，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。

跑步：依照速度區分為三個強度，強度一為跑步速度 9 Kph；強度二為跑步速度 12 Kph；強度三為跑步速度 15 Kph，每個速度收取 3 分鐘的加速度、心率數據，並在每次完成一種速度後詢問受試者 RPE 及紀錄心跳。

籃球操：試驗順序如下圖，總共有 10 個籃球動作分項，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 7 秒完成，執行 27 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據；強度二為各分項動作要在 6 秒完成，執行 32 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據；強度三

為各分項動作要在 5 秒完成，執行 38 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據。並在每次完成一種速度後詢問受試者 RPE 及紀錄心跳。

衝刺：從底線起點全力往籃球場中線衝刺。

側向跑：身體面對起點方向的底線，以側向方式朝邊線方向跑。

半蹲走：由邊線出發，以防守姿勢，膝蓋接近 90 度朝罰球線走。

投球：於罰球線以標準投球姿勢投三顆球。

全力跳：於籃板下全力跳，並盡量摸到籃板。

後退跑：由底線起點背對中線，以倒退跑的方式朝中線跑去。

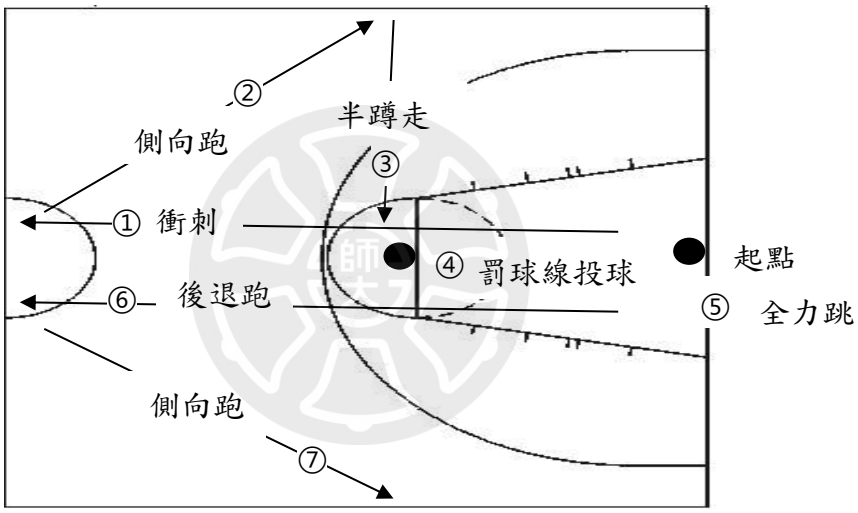


圖 3-3、籃球操順序示意圖

⑦至⑩站（側向跑、半蹲走、罰球線投籃、全力跳）為重複動作，總共 10 個分項動作。

羽球操：試驗順序如下圖，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，執行 38 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據；強度二為各分項動作要在 4.5 秒完成，執行 42 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據；強度三為各分項動作要在 4 秒完成，執行 47 項，收取 3 分鐘加速度、心率數據。並在每次完成一種速度後詢問受試者 RPE 及紀錄心跳。

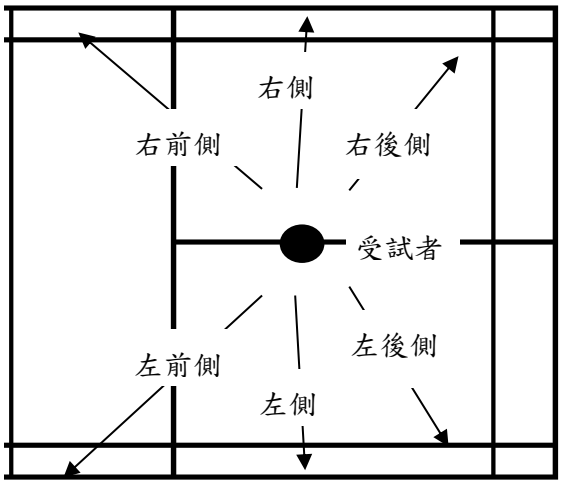


圖 3-4 羽球操順序示意圖

動作完成之定義：左右前側以球拍觸擊球網，左右側以球拍觸擊邊線，左右後側為以球拍觸擊底線。

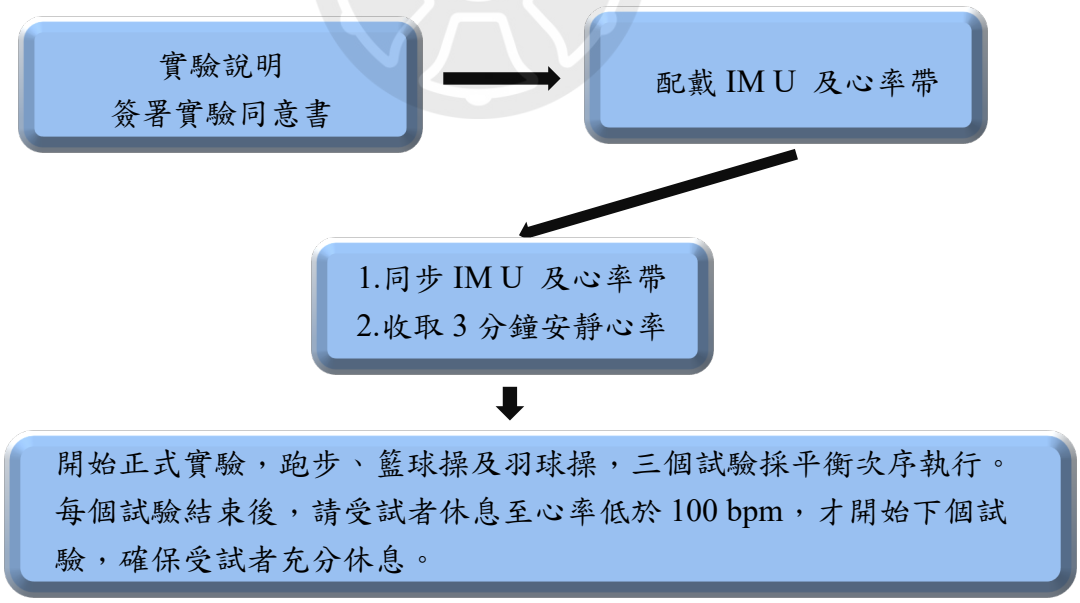


圖 3-5 實驗流程圖

第四節　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：

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

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

MAD 算式中r_i為第 i 個時間下的合加速度，$\overline{r}$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。

第五節　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。

第肆章　結果

第一節　確認強度設定在心率上的差異

15 位受試者在三種運動下心率隨強度增加而遞增，三種運動試驗採平衡次序訂定順序，確定各運動最初強度心率間有類似數值。

表 4-1、三項運動中各強度分級下心率數值

	Badminton (Bpm)	Run (Bpm)	Basketball (Bpm)
L1	151.42 ± 23.4*#	141.20 ± 19.4*#	149.03 ± 18.2*#
L2	159.56 ± 22.4	162.03 ± 17.0	159.04 ± 15.1
L3	166.10 ± 19.7	177.56 ± 14.9	170.63 ± 12.6

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

羽球、跑步、籃球 3 種試驗的強度區分上皆達顯著差異（表 4-1），確認本次實驗於三種強度的操作是有效的。

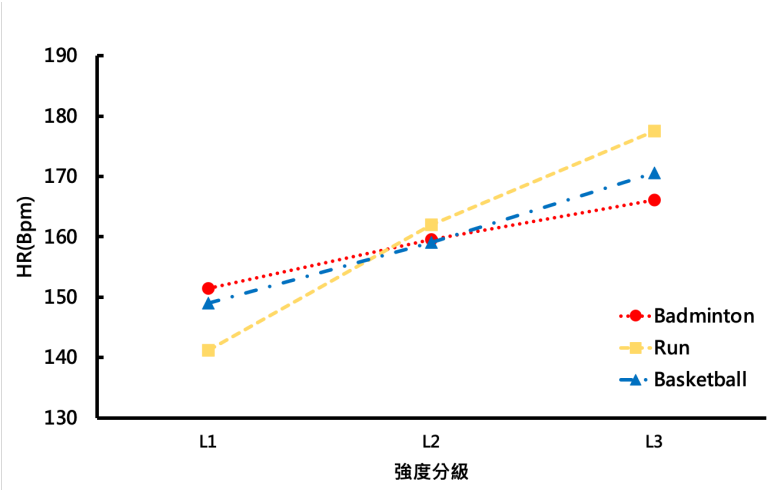


圖 4-1 不同強度下三種運動之心率差異

第二節　加速度不同算法之結果

圖 4-2 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運動下，強度三數值相較強度一都有較大的趨勢。確認加速規數值在強度的設定上有隨著強度提升而增強。表 4-3～4-5 為三項運動將加速規放置在不同部位下的 Player Load 與 MAD 數值。表 4-3 羽球的結果中不管放置在哪個位置，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。表 4-4 跑步的結果中放置在手部與腳步的 Player Load 與 MAD 數值有依照強度變化遞增，但是在軀幹的 MAD 發現，三個強度下的數值沒有明顯變化，並且在強度三數值低於強度二。表 4-5 籃球結果中在三種不同部位下 PL 與 MAD 的數值都有隨著強度的變化而遞增。

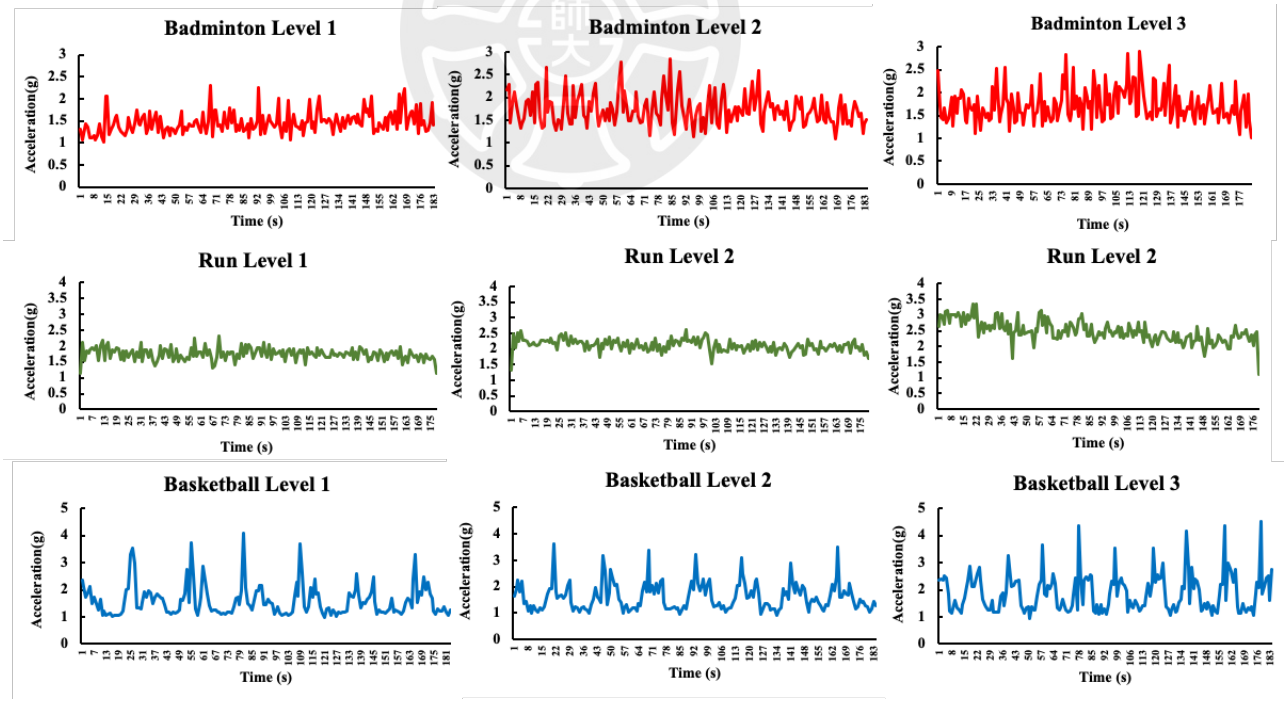


圖 4-2 加速規放置於手部的三軸合加速度原始資料

表 4-2 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

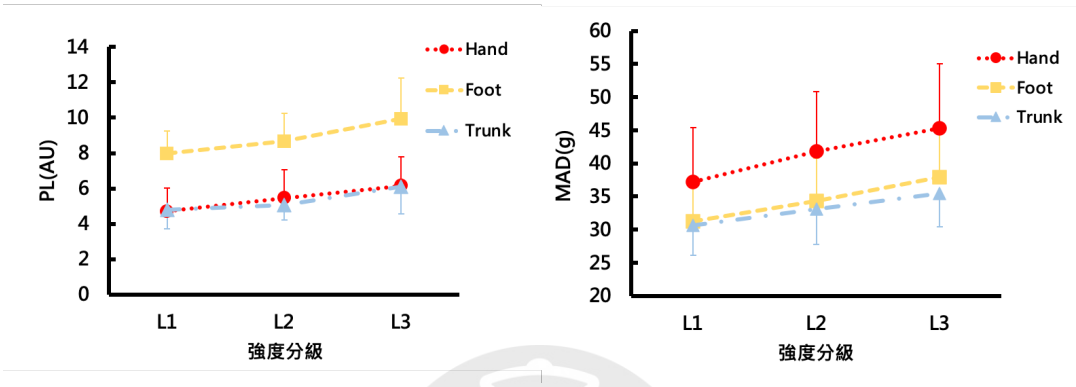


圖 4-3 羽球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖

表 4-3 跑步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	9.39 ± 1.4	64.82 ± 9.9	10.33 ± 1.1	41.17 ± 10.8	6.07 ± 0.8	42.21 ± 6.5
L2	11.31 ± 1.6	69.90 ± 11.0	13.56 ± 2.1	48.87 ± 9.7	7.48 ± 1.1	44.57 ± 5.3
L3	13.30 ± 1.7	73.67 ± 11.0	17.35 ± 3.3	57.24 ± 9.6	9.11 ± 1.3	43.62 ± 4.7

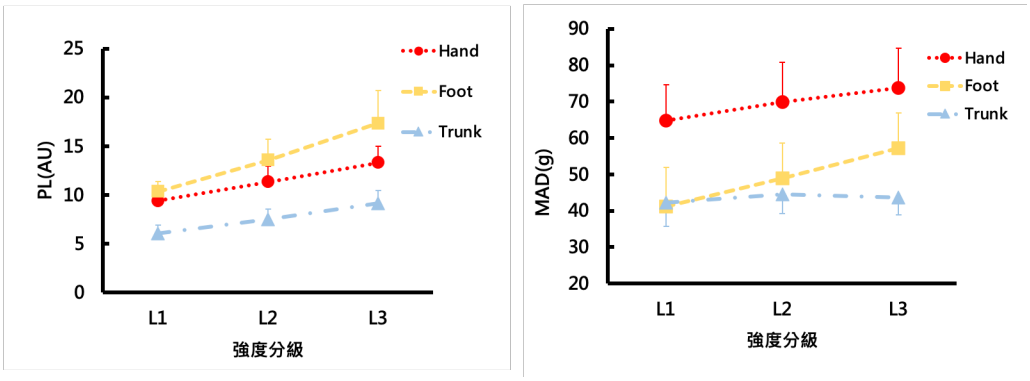


圖 4-4 跑步試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖

表 4-4 籃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	6.31 ± 1.1	49.85 ± 7.3	8.03 ± 1.0	32.60 ± 7.8	4.49 ± 0.5	29.30 ± 3.7
L2	7.03 ± 1.2	54.59 ± 8.1	9.10 ± 1.1	36.29 ± 8.6	5.21 ± 0.6	33.24 ± 3.6
L3	7.65 ± 2.4	57.70 ± 18.2	9.96 ± 3.2	39.11 ± 13.8	5.66 ± 1.7	34.56 ± 10.4

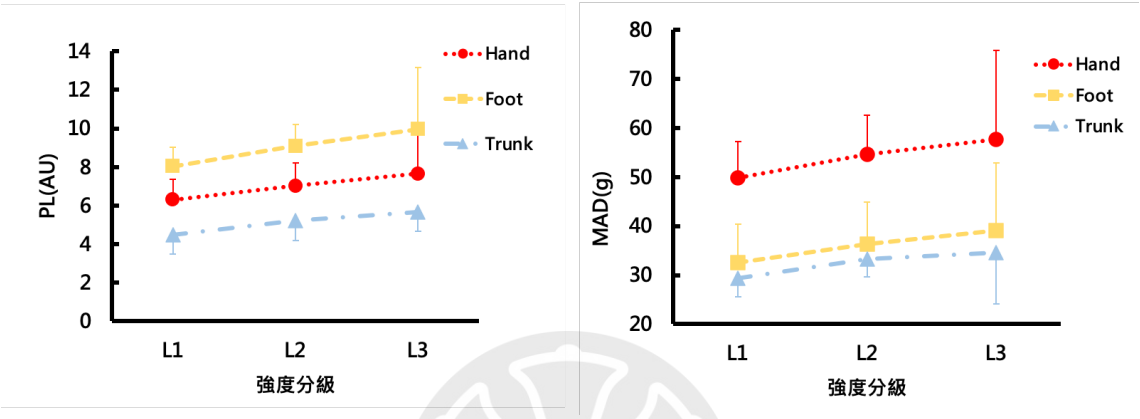


圖 4-5 籃球試驗加速規不同放置位置下 Player Load 與 MAD 之折線圖

第三節 加速度指標與心率之相關性

圖 4-6、4-7 為 Player Load 與 MAD 在三項運動下，強度一至強度三與心率之散佈圖。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。

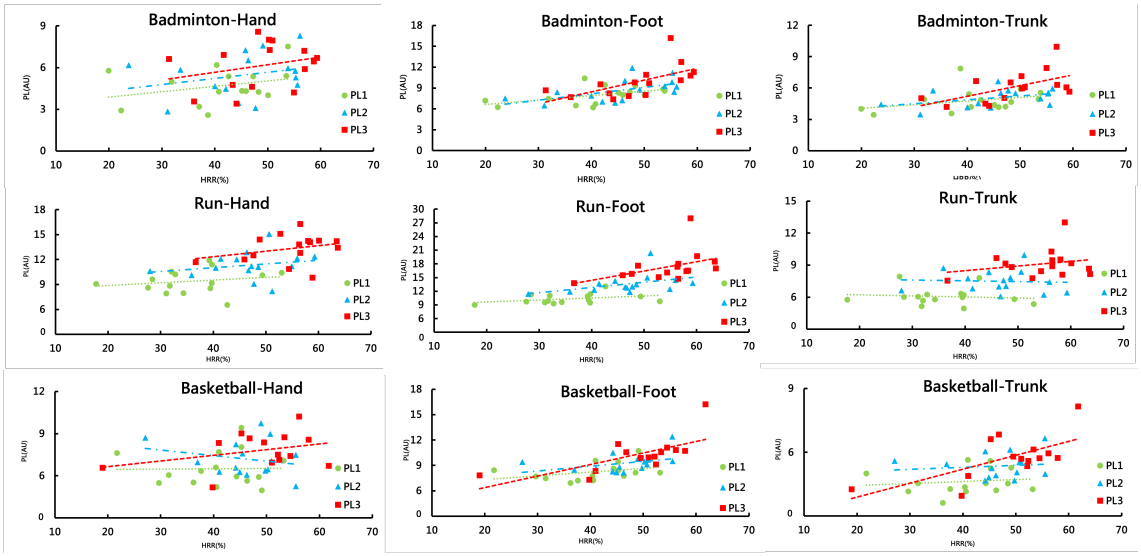


圖 4-6 三種運動在三強度下 Player Load 與心率之散佈圖

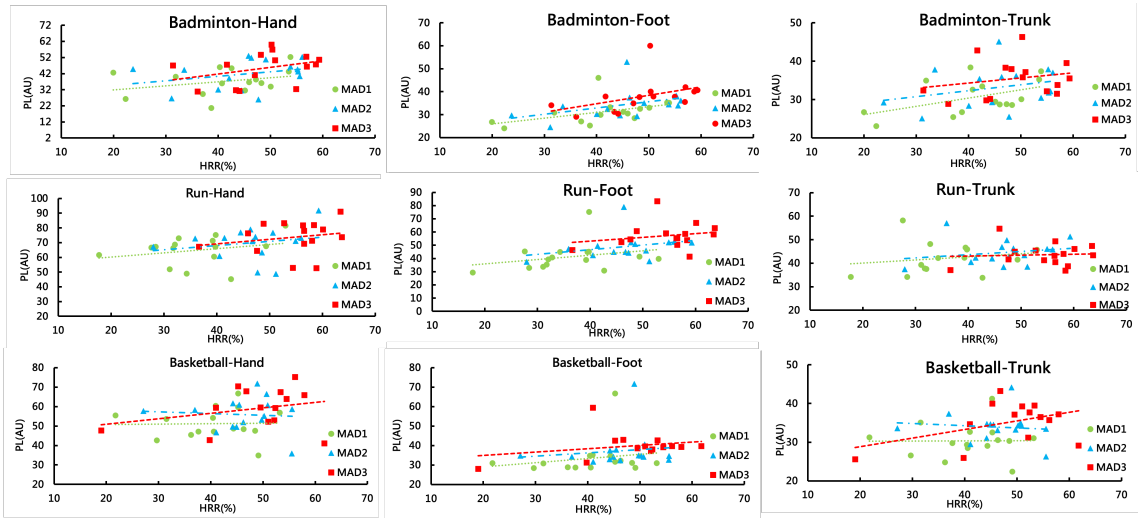


圖 4-7 三種運動在三強度下 MAD 與心率之散佈圖

圖 4-8～4-10 為三種運動不同放置位置的 Player Load 與 MAD 數值與心率的相關性。圖 4-8 羽球的結果中可以看出 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。圖 4-9 跑步的結果中除了放置在軀幹的 MAD 與心率為低度相關，其餘都有呈現中度相關。Player Load 最高的相關性為放置在手部，MAD 最高相關性為放置在腳。圖 4-10 籃球結果中除了放置在腳部的 MAD 數值其餘與心率的相關性都有達到高度相關。Player Load 最高的相關性為放置在腳，MAD 最高相關性為放置在手部。

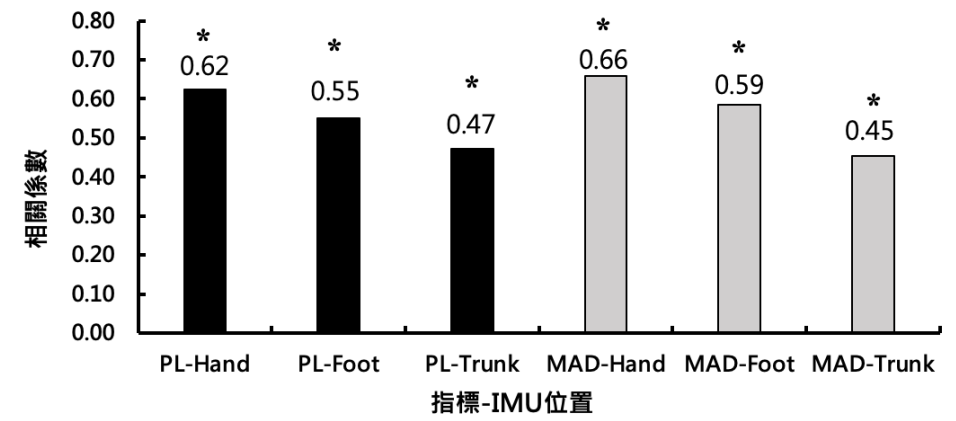


圖 4-8 羽球加速度指標與心率之相關性 ＊= P < 0.05

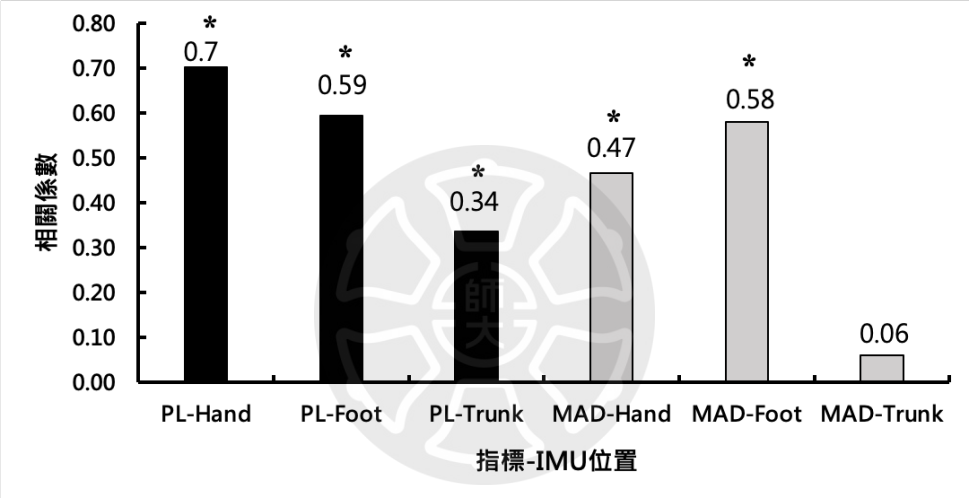


圖 4-9 跑步加速度指標與心率之相關性 ＊= P < 0.05

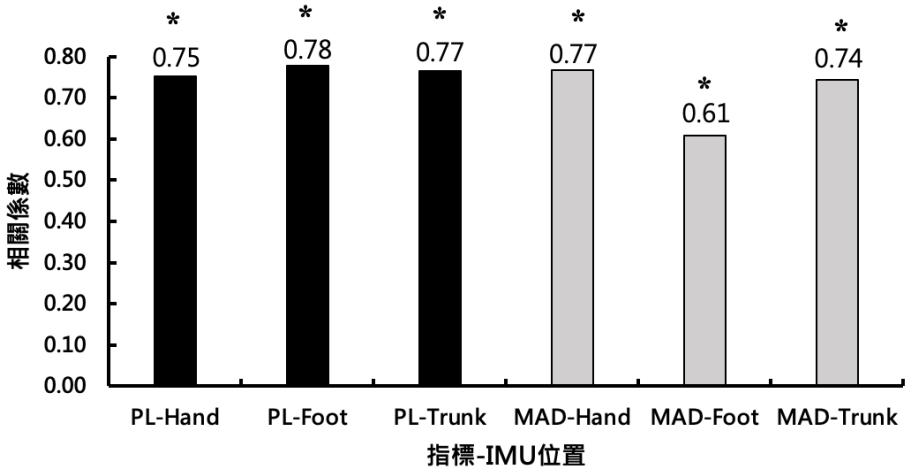


圖 4-10 籃球加速度指標與心率之相關性 ＊= P < 0.05

第伍章　討論

由本研究結果得知，羽球運動中使用 Player Load、MAD 都可以當作強度監控的參數，兩者與心率之間的相關性都呈現中度相關，而最適當的位置為放置於手部，其次為放置於腳。跑步運動中使用 Player Load 放置於手部有最高的相關性，使用 MAD 放置於軀幹的相關性最低。由此結果推測在跑步強度上升時，為了要維持速度，跑者加強軀幹穩定度，因此在軀幹上的加速規數值變小導致 MAD 與心率之相關性降低。籃球運動中 Player Load、MAD 在三個部位與心率的相關性都呈現高度的相關，本實驗中的籃球操包含了更多方向的位移與跳躍，相較於重複的運動型態，多方向移動的運動可能更能夠使指標顯現出強度間的差異。以下針對各項運動中加速規放置不同位置與不同演算法導致相關性高低做討論。

第一節　羽球（持拍性）運動適合放置位置與適合之強度參數

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。

對於其他持拍性運動來說，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。

第二節　跑步（規律性）運動適合放置位置與適合之強度參數

過去文獻皆證實了 Player Load 與 MAD 在跑步運動強度監控上的可行性 (Barrett, Midgley, & Lovell, 2014; Vähä-Ypyä et al., 2015)。其中 Vähä-Ypyä 團隊將加速規放置在兩側大腿以及軀幹，利用 MAD 來測量跑步時的運動強度，其中有一結果提到加速規三種不同放置位置不影響 MAD 計算數值，這與本研究結果不同。本研究在跑步結果中發現利用 MAD 計算的數值，放置於脛骨與心率有較高的相關性，而最低相關性的位置為軀幹。原因可能為先前研究加速規放置在兩側臀部以及軀幹，依照跑步時的動作來看，皆屬於中段的身體位置，收取到的數據可能較為相似。但如果加入手部數據，以及較低位置的脛骨數據，可能就會有較不一樣的趨勢。

MAD 的結果中，放置於軀幹的數據與心率呈現非常低的相關性，從圖 5-1 可以看出心率依照強度的提升而有遞增的趨勢，但 MAD 在強度二至強度三的結果中呈現遞減的趨勢，因而造成相關性下降。原因可能為跑者在跑步速度加快時，身體為了維持在跑步機的速度，必須減少軀幹的晃動並且穩定核心。此時在軀幹上收取

到的加速度數值就會比較小，因此沒有辦法顯示出當下的強度。同時，心率正常隨著運動強度的提升而穩定上升，才會導致本次跑步試驗放置在軀幹的 MAD 數值與心率呈現非常低的相關性。

本次跑步試驗結果為放置在手部的 PL 與心率有最高的相關性，若要使用 MAD 當作監控跑步強度的參數，因避免放置於軀幹上或晃動較小的部位上。對於重複性較高且規律的運動，不建議使用 MAD 當作強度監控的參數，由於計算上平均離均差的概念，較無法顯現出重複性高的運動其中之強度差異。兩種強度計算方法都需要較大範圍或較明顯動作型態，才能有準確的強度數值。因此由本研究結果可以建議，在跑步運動時可以使用 PL 放置於手部與腳的位置為較適合之位置。

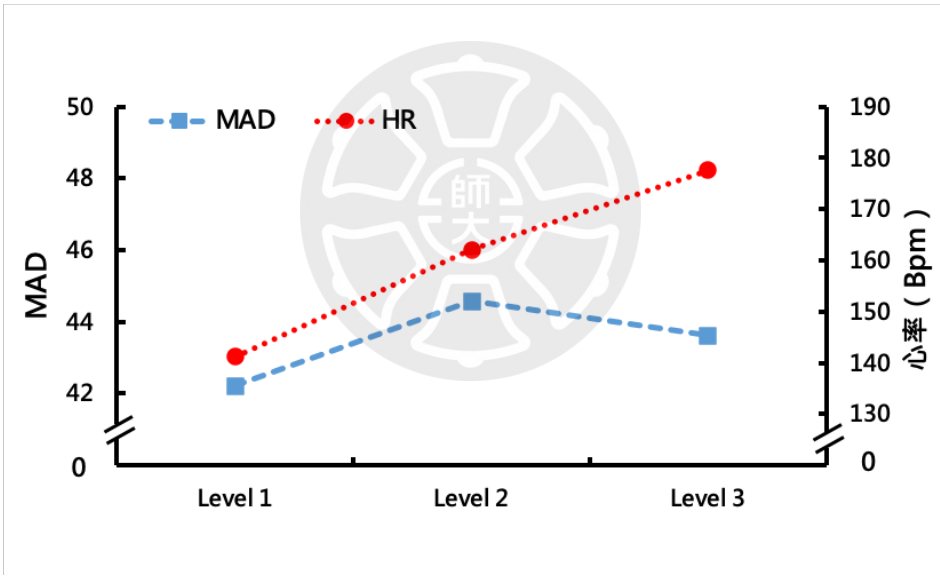


圖 5-1 跑步時放置於軀幹的 MAD 數值與心率之結果

第三節　籃球（綜合動作）運動適合放置位置與適合之強度參數

本研究籃球結果中兩種強度參數在不同位置下與心率都呈現中高強度，與先前研究提出的 Player Load 適合運用在籃球、足球、橄欖球…等的團隊運動上有相同的結果(Dalen, Jørgen, Gertjan, Havard, & Ulrik, 2016; Quarrie et al., 2017; Weiss et al., 2017)。本研究的跑步以及羽球試驗，皆屬於較規律且較多重複性的動作。而籃

球試驗其中包含了側並步、倒退跑、投球、高跳躍…等多方向的動作，這可能為籃球相較於羽球與跑步與心率有較高相關性的原因。

在籃球試驗中發現 Player Load、MAD 兩種強度計算方法，在加速規不同放置位置下與心率之相關性沒有太大的差異。可能原因為本次實驗籃球操的動作中，跑步動作的擺手、投球與跳耀摸籃板的擺手都使手部加速規有明顯的數據。側並步與半蹲防守的步伐會使脛骨加速規有明顯的數據。軀幹位置的加速規數據則是從許多跳躍的動作收取到的。因此，從此結果中可以建議要使用 Player Load 與 MAD 當作運動時強度監控的參數，該運動最好包含較多樣的動作型態，大動作的擺手、多方向的位移、多種跳耀動作，都可能讓強度監控上有更準確的數據。對於其他球類運動籃球、足球、橄欖球…等也都包含許多全身性的動作，皆符合 Player Load 與 MAD 適合之用動作特性。未來要使用將兩種參數當作強度監控指標也是可行的。

第四節　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。未來在羽球的試驗項目中，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，提升監控羽球強度的實用性。跑步運動下，兩種算法相比，加速規放置於手部的 Player Load 數值與心率有較高的相關性，放置於腳的兩種算法有類似的結果。因此，較適合之位置為放置於手部。從結果中也發現跑步運動時軀幹的晃動較不明顯，若要監控跑步時的強度，感測器放置位較不推薦放置於軀幹。籃球運動中，結果顯示兩種指標都有很高的相關性。由此可知，

籃球運動中 Player Load、MAD 皆可使用，當作強度監控的指標，並且放置位置對於籃球運動來說沒有太大的差異。本次實驗結果發現，不管是 Player Load 或是 MAD 都需要放置於加速規數據較明顯之位置，才能使強度監控有更準確的數據。未來在監控運動的選擇上，若要使用 Player Load 或 MAD 該運動包含更多樣且動作較大的動作會是較適合之選擇。但是在 MAD 的算法中，由於計算上以平均離均差的概念，使這種算法較不適合用於高重複性且規律的運動，可能無法準確顯現出強度間的差異。

引用文獻

江宗麟、徐志翔、林育槿、吳慧君 (2019)。肥胖年輕成人累積每日步數策略是否符合當前身體活動指引? *體育學報，52*(2)，157-169。

馬修滋、林正常、福克斯 (1987)。運動生理學: 訓練的科學基礎。師大書苑出版發行。

姚承義、林嘉志、徐煜輝 (2008)。運動體適能" 333" 與運動強度的探討。中華體育季刊，22(1)，19-25。

陳佑昇、黃冠勛、相子元 (2018)。使用穿戴裝置量化運動強度之可行性。運動表現期刊，5(2)，51-57。

傅正思、許績勝、馬君萍、王耀聰 (2013). 心跳率在跑步訓練上的應用。興大體育學刊，(第 12)，153-160。

黃森芳、陳杰 (2019). 高齡族群藉由身體活動預防癌症的效果。台灣老年醫學暨老年學會雜誌，14(4), 191-202。

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 accelerator brand. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 7*(1), 18.

Aschendorf, P. F., Zinner, C., Delextrat, A., Engelmeyer, E., & Mester, J. (2019). Effects of basketball-specific high-intensity interval training on aerobic performance and physical capacities in youth female basketball players. *The Physician and Sportsmedicine, 47*(1), 65-70.

Barrett, S., Midgley, A., & Lovell, R. (2014). PlayerLoad™: reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 9*(6), 945-952.

Bergamini, E., Ligorio, G., Summa, A., Vannozzi, G., Cappozzo, A., & Sabatini, A. (2014). Estimating orientation using magnetic and inertial sensors and different sensor fusion approaches: Accuracy assessment in manual and locomotion tasks. *Sensors, 14*(10), 18625-18649.

Berkelmans, D. M., Dalbo, V. J., Fox, J. L., Stanton, R., Kean, C. O., Giamarelos, K. E., Scanlan, A. T. (2018). Influence of different methods to determine maximum heart rate on training load outcomes in basketball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 32*(11), 3177-3185.

Brayne, L., Barnes, A., Heller, B., & Wheat, J. (2015). *Using a wireless inertial sensor to measure tibial shock during running: agreement with a skin mounted sensor.* Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive.

Brahms, C. M., Zhao, Y., Gerhard, D., & Barden, J. M. (2018). Stride length determination during overground running using a single foot-mounted inertial measurement unit. Journal of Biomechanics, 71, 302-305.

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.

Chen, S., Lach, J., Lo, B., & Yang, G.-Z. (2016). Toward pervasive gait analysis with wearable sensors: a systematic review. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 20*(6), 1521-1537.

Cornelissen, V., Verheyden, B., Aubert, A., & Fagard, R. (2010). Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *Journal of Human Hypertension, 24*(3), 175.

Costigan, S. A., Lubans, D. R., Lonsdale, C., Sanders, T., & del Pozo Cruz, B. (2019). Associations between physical activity intensity and well-being in adolescents. *Preventive Medicine*.

Currier, D., Lindner, R., Spittal, M. J., Cvetkovski, S., Pirkis, J., & English, D. R. (2020). Physical activity and depression in men: Increased activity duration and intensity associated with lower likelihood of current depression. *Journal of Affective Disorders, 260*, 426-431.

Dalen, T., Jørgen, I., Gertjan, E., Havard, H. G., & Ulrik, W. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(2), 351-359.

Deus, L. A., Sousa, C. V., Rosa, T. S., Souto Filho, J. M., Santos, P. A., Barbosa, L. D., . . . Simões, H. G. (2019). Heart rate variability in middle-aged sprint and endurance athletes. *Physiology and Behavior, 205*, 39-43.

Edwards, J. R., & Parry, M. E. (1993). On the use of polynomial regression equations as an alternative to difference scores in organizational research. *Academy of Management Journal, 36*(6), 1577-1613.

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*.

Gastin, P. B., McLean, O., Spittle, M., & Breed, R. V. (2013). Quantification of tackling demands in professional Australian football using integrated wearable athlete tracking technology. *Journal of Science and Medicine in Sport, 16*(6), 589-593.

Hale, W. D., Kollock, R. O., & Pace, J. (2019). Vertical jump and agility performance improves after 8-week conditioning program in youth female volleyball athletes: 2955: Board# 1 May 31 2: 00 PM-3: 30 PM. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 51*(6), 808.

Hunt, K. J., & Hunt, A. J. (2016). Feedback control of heart rate during outdoor running: A smartphone implementation. *Biomedical Signal Processing and Control, 26*, 90-97.

Jacob, A., Zakaria, W. N. W., & Tomari, M. R. B. M. (2016a). Implementation of IMU sensor for elbow movement measurement of badminton players. Paper presented

at the *2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*.

Jacob, A., Zakaria, W. N. W., & Tomari, M. R. B. M. (2016b). Quantitative analysis of hand movement in Badminton. In *Advanced Computer and Communication Engineering Technology* (pp. 439-448): Springer.

Karatsidis, A., Jung, M., Schepers, H. M., Bellusci, G., de Zee, M., Veltink, P. H., & Andersen, M. S. (2019). Musculoskeletal model-based inverse dynamic analysis under ambulatory conditions using inertial motion capture. *Medical Engineering & Physics*, *65*, 68-77.

Kilen, A., Gizzi, L., Jensen, B. R., Farina, D., & Nordsborg, N. B. (2012). Changes in human muscle oxygen saturation and mean fiber conduction velocity during intense dynamic exercise—effect of muscular training status. *Muscle and Nerve, 46*(5), 746-754.

King, A. C., Whitt-Glover, M. C., Marquez, D. X., Buman, M. P., Napolitano, M. A., Jakicic, J., Tennant, B. L. (2019). Physical activity promotion: highlights from the 2018 Physical activity guidelines advisory committee systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 51*(6), 1340-1353.

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.

Kopiczko, A., Gryko, K., & Łopuszańska-Dawid, M. (2018). Bone mineral density, hand grip strength, smoking status and physical activity in Polish young men. *HOMO, 69*(4), 209-216.

Lahdenoja, O., Humanen, T., Tadi, M. J., Pänkäälä, M., & Koivisto, T. (2016). *Heart rate variability estimation with joint accelerator and gyroscope sensing.* Paper presented at the 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC).

Macpherson, C., Purcell, C., & Bulley, C. (2009). Energy expended when walking 10,000 steps at different speeds. *Advances in Physiotherapy, 11*(4), 179-185.

Maggioni, M. A., Bonato, M., Stahn, A., La Torre, A., Agnello, L., Vernillo, G., Merati, G. (2019). Effects of ball drills and repeated-sprint-ability training in basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 14*(6), 757-764.

Meckel, Y., Zach, S., Eliakim, A., & Sindiani, M. (2018). The interval-training paradox: Physiological responses vs. subjective rate of perceived exertion. *Physiology and Behavior, 196*, 144-149.

Mo, S., & Chow, D. H. (2018). Accuracy of three methods in gait event detection during overground running. Gait & Posture, 59, 93-98.

Ngoh, K. J.-H., Gouwanda, D., Gopalai, A. A., & Chong, Y. Z. (2018). Estimation of vertical ground reaction force during running using neural network model and uniaxial accelerator. *Journal of Biomechanics, 76*, 269-273.

Quarrie, K. L., Raftery, M., Blackie, J., Cook, C. J., Fuller, C. W., Gabbett, T. J., . . . Kemp, S. (2017). Managing player load in professional rugby union: a review of current knowledge and practices. *British Journal of Sports Medicine, 51*(5), 421-427.

Raper, D. P., Witchalls, J., Philips, E. J., Knight, E., Drew, M. K., & Waddington, G. (2018). Use of a tibial accelerometer to measure ground reaction force in running: a reliability and validity comparison with force plates. Journal of Science and Medicine in Sport, 21(1), 84-88.

Regnaux, J. P., Lefevre-Colau, M. M., Trinquart, L., Nguyen, C., Boutron, I., Brosseau, L., & Ravaud, P. (2015). High-intensity versus low-intensity physical activity or

exercise in people with hip or knee osteoarthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(10).

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.

Sanders, G. J., Boos, B., Shipley, F., Scheadler, C. M., & Peacock, C. A. (2018). An accelerator-based training load analysis to assess volleyball performance. *J. Exerc. Nutr, 1*, 1-4.

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.

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.

Thompson, W. R. (2018). Worldwide survey of fitness trends for 2019. *ACSM's Health and Fitness Journal, 22*(6), 10-17.

Thompson, W. R. (2019). Worldwide survey of fitness trends for 2020. *ACSM's Health and Fitness Journal, 23*(6), 10-18.

Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Mänttäri, 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.

Wasinger, V. C., Cordwell, S. J., Cerpa-Poljak, A., Yan, J. X., Gooley, A. A., Wilkins, M. R., . . . Humphery-Smith, I. (1995). Progress with gene-product mapping of the Mollicutes: Mycoplasma genitalium. *Electrophoresis, 16*(1), 1090-1094.

Weiss, K. J., Allen, S. V., McGuigan, M. R., & Whatman, C. S. (2017). The relationship between training load and injury in men's professional basketball. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(9), 1238-1242.

Welk, G. J., Blair, S. N., Wood, K., Jones, S., & Thompson, R. W. (2000). A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(9), S489-S497.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (1994). *Physiology of Sport and Exercise* (Vol. 524): Human kinetics Champaign, IL.

Wong, T. K., Ma, A. W., Liu, K. P., Chung, L. M., Bae, Y.-H., Fong, S. S., . . . Wang, H.-K. (2019). Balance control, agility, eye–hand coordination, and sport performance of amateur badminton players: A cross-sectional study. *Medicine, 98*(2).

Yuenyongchaiwat, K. (2016). Effects of 10,000 steps a day on physical and mental health in overweight participants in a community setting: a preliminary study. *Brazilian Journal of Physical Therapy* (AHEAD), 0-0.

附錄一：實驗受試者須知

感謝您參加本項研究，題目為:「比較加速度強度指標間在不同運動下之差異」，目的主要在探討在羽球、跑步、籃球運動中，比較兩種強度指標的加速規訊號與心率之間的相關性。

為避免其他因素的影響，使實驗得以順利進行，敬請遵守下列事項：

一、 請據實填寫基本資料。

二、 事先了解實驗流程。

三、 在實驗進行前，做好暖身活動，避免受傷。

四、 請穿著輕便的衣物與運動鞋，以方便運動為主。

五、 實驗時，受試者會進行三種運動試驗，羽球執行米字步，共六個方向分為三種強度，每種強度收取 3 分鐘數據。跑步於跑步機上執行速度 9 kph、12 kph、15 kph，每種速度收取 3 分鐘數據。籃球試驗執行十個分項的籃球操，以分項限時分為三個強度，每個強度收取 3 分鐘。每個強度之間皆會休息恢復至心跳低於 100 bpm 才會進行下一個試驗。

再次感謝您的熱情參與合作！

附錄二、實驗受試者同意書

本人已詳細閱讀實驗受試者須知內容，且經過研究者解說後，已完全了解實驗內容、步驟，以及實驗期間可能發生的狀況。本人同意參加此實驗「比較加速度強度指標間在不同運動下之差異」，且在實驗期間會全力配合，並盡自己最大努力來完成此實驗。

實驗名稱：比較加速度強度指標間在不同運動下之差異

受試者保護說明

一、 您將具有隱私權和匿名的權力。

二、 實驗者在實驗內容和實驗目的有告知您的責任。

三、 您可以隨時要求解答有關實驗的各種問題。

受試者：_____（簽名）

日　期：_____

因為您的熱情協助，使本研究得以順利完成，且對運動生物力學領域有所貢獻，誠摯感謝您的支持與配合！

國立臺灣師範大學 運動競技學系 競技科學組　研究生　姜俊瑋 敬上

附錄三、實驗受試者基本資料表

在您瞭解本實驗並且願意參與本實驗後，請填寫下列各項基本資料，讓實驗者瞭解您的生理狀況以及運動背景，讓實驗可以順利進行。而您所填寫的各項資料將會受到嚴格保密，不會有公開的危險。

受試者姓名：_____

出生日期　：_____

身高：_____公分

體重：_____公斤

近六個月內，是否有肌肉、骨骼、肌腱、韌帶的運動傷害：

☐是　　☐否

如受過傷，受傷部位：_____

是否痊癒：☐是　　☐否

謝謝您如實的填寫！

國立臺灣師範大學 運動競技學系 競技科學組　研究生　姜俊瑋 敬上