

使用穿戴裝置量化運動強度之可行性 The feasibility of using wearable sensors to quantify exercise intensity

¹陳佑昇 You-Sheng Chen¹黃冠勛 Kuan-Hsun Huang¹相子元 Tyzz-Yuang Shiang*

¹國立臺灣師範大學運動競技學系 Department of Athletic Performance, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

投稿日期: 2018 年 5 月; 通過日期: 2018 年 9 月

摘要

緒論: 探討透過內含加速規感測器的穿戴裝置在跑步機上進行不同速度的跑走時, 裝置本身的信度與效度, 以及穿戴裝置所收取每分鐘前十大的加速度與走跑速度的相關性。**方法:** 信度: 一名健康男性受試者在左手及左腳各放置一穿戴裝置, 適應跑步機速度後, 收取四種不同跑走速度資料, 實驗為期四週, 共收取十次資料, 以組內相關係數分析 (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) 來檢測穿戴裝置的再測信度 (Test-Retest Reliability)。效度: 十名健康男性為受試對象, 受試者在左手及左腳各放置一穿戴裝置和慣性感測器, 適應跑步機的速度後, 收取不同速度下走跑的數據, 分析兩者所收取的資料間是否相關。運動強度: 探討穿戴裝置測得數據與走跑速度是否相關。**結果:** 穿戴裝置在上肢及下肢的信度考驗, 以及穿戴裝置與效標之間的效度, 均有高度再測信度和高度相關 (ICC=.962-.984, $r = .883-.992$) 皆有高度相關; 穿戴裝置測得數據也與走跑速度有高度相關性 ($r = .869-.924$)。**結論:** 本實驗中穿戴裝置與儀器級慣性感測器做比較後擁有良好信效度, 所測得前十大加速度具有量化運動強度的可行性。

關鍵詞: 跑步、速度、加速規

壹、緒論

量化自我 (Quantify Self) 概念, 它指的是藉由像是智慧水杯、智慧體重計、智慧穿戴裝置等科技產品, 紀錄日常生活數據的一種生活方式。科技的進步使感應器微小化、無線傳輸的功能快速提升, 智慧型穿戴裝置的普及率也日益劇增, 穿戴裝置所能記錄的資訊範圍相當多元, 涵括體重、能量水平、情緒、時間使用、睡眠質量、健康、認知表現等 (Swan, 2013), 透過穿戴裝置二十四小時的監控與量測, 將資訊上傳系統平台, 使用者可以了解自己每日、或運動時的活動量是否足夠, 進而建立健康的生活型態與運動習慣 (Dallinga et al., 2015)。當我們對自己身體的數據了解的越為詳細, 尤其是當每日的變化都瞭若指掌時, 我們就能有效地改善它。根據世界衛生組織 (World Health Organization; WHO) 在 2010 年提出的「關於身體活動有益健康的全球建議」中加入「運動強度」這項指標我們可以知道, 過去認為「運動次數越多就代表越健康」這樣的觀念是有待更新的。

提升運動效益的其中一種方法是監測運動強度。加速規是一種慣性感測元件, 它可以用來測量加速度或重力, 因此, 也可利用加速規來直接量測人體運動時身體的加速度變化。過去有學者利用穿戴於軀幹的運動感測器, 監測選手在練習或比賽等實際環境下的體能 (Scanlan, Wen, Tucker, & Dalbo, 2014; Lovell, Sirotic, Impellizzeri, & Coutts, 2013)。

過去文獻中提到, 利用加速規測得的數據和生理學指標兩者比較後, 發現它是良好的檢測身體活動量的工具 (Gastin, McLean, Spittle, & Breed, 2013); 另外也有文獻提到, 加速度訊號經由 MAD (Mean Amplitude Deviation) 演算方式運算後, 與青少年、成年人的心跳、攝氧量都達高度相關, 文獻中指出, 利用加速規訊號透過 MAD 演算法來辨別不同強度的身體活動量這樣的方式是可行的 (Aittasalo, Vähä-Ypyä, Vasankari, Husu, Jussila, & Sievänen, 2015)。許多研究經由不同的演算法 (MAD、MPD、Player Load、積分值等) 來作為判斷運動中活動量、運動強度的指標

(Vähä-Ypyä et al., 2015; Scott, Lockie, Knight, Clark, & Janse, 2013; Gabbett, 2015)。

雖然許多研究證實加速規訊號經驗算法計算後可以客觀且準確的測量受試者在不同強度的運動下身體活動量及能量消耗，但是它需使用較高擷取頻率的加速規，使得資料輸出量龐大 (Troiano, McClain, Brychta, & Chen, 2014)，且有耗電、記憶體需求高等問題，常常造成使用上的不便 (Raper, Witchalls, Philips, Knight, Drew, & Waddington, 2018)。造成使用者只能侷限在學校、專業球隊或是實驗室中做學術性的使用，較難貼近社會大眾的日常生活。

微電子科技的進步，使加速規等感測器更為輕巧且能長時間攜帶，隨時蒐集資料的優勢，讓加速規廣泛被應用在身體活動量的測量上 (Butte, Ekelund, & Westerterp, 2012)。加速規的尺寸越做越小，精準度也顯著提升，這為研究人員及社會大眾帶來更多的便利性 (李尹鑫、戴一涵、相子元, 2016)，若只抓取加速規部分關鍵資料儲存於一般的穿戴式裝置內，便能解決實驗用加速規在輸出量及記憶體上的問題，且能廣泛的運用於一般大眾運動中。

本篇研究目的分為兩部分，首先透過儀器級加速規驗證穿戴式裝置的信效度，再去探討內含加速規的穿戴裝置在每分鐘只記錄十筆最大加速度的情況下，與跑步速度是否具有相關性，能作為判斷運動強度可行性，未來希望能藉由較低成本和擷取頻率較低的裝置來收取加速度資料，透過裝置內所紀錄少量的數據，來達到監測運動強度的效果。

貳、方法

一、儀器

(一)穿戴裝置：威士登 WisMe-I08，裝置內自動抓取每分鐘內前十大加速度值，配戴於受試者左手前臂背側遠端中線和左腳踝關節下方 (圖一)。

(二)儀器級慣性感測器：Delsys TrignoTM Lab，擷取頻率為 148 Hz，同樣配戴受試者左手前臂背側遠端中線和左腳踝關節上方，與穿戴裝置相鄰 (圖二)，但保持距離，避免運動中感測器與穿戴裝置碰撞。

(三)跑步機：MAG-7310, Magtonic, Taiwan



圖一、上肢與下肢穿戴裝置示意圖



圖二、上肢與下肢穿戴裝置與慣性感測器裝置示意圖

二、實驗設計

招募 10 名有從事規律運動之健康男性 (平均年齡 25 ± 0.8 歲、身高 173.2 ± 8.1 公分、體重 68.7 ± 13.6 公斤) 為實驗受試者，受試者在參與實驗的近六個月內，皆無下肢骨骼肌肉、神經和心血管方面疾病，並擁有從事一般有氧活動的心肺能力，也能適應在跑步機上跑步。

受試者分別於左手前臂背側遠端中線和左腳踝關節上方各配戴一個穿戴式裝置與一個慣性感測器，配戴完成後於跑步機上進行 3、5、7 km/hr 三種速度的走路，以及 7、9、11、13、15 km/hr 五種速度的跑步，收取以上八種不同速度各兩分鐘的數據，分析中間步態穩定的一分鐘的數據，對穿戴式裝置進行效度的驗證；再從 10 名受試者中隨機招募 1 名實驗受試者 (年齡 22 歲，身高 171 公分，體重 64 公斤) 進行 4 週重複收取 10 次，每次時間間隔 2 至 3 天的信度測試 (以

5、7 km/hr 的速度走路, 與以 7、9 km/hr 的速度跑步), 驗證穿戴裝置的再測信度; 經過信效度的驗證後, 探討穿戴式裝置所收取到的前十大加速度在不同走跑速度下, 是否會隨著走、跑速度上升來隨之上升, 作為運動強度之效標, 對進行相慣性分析, 探討前十大加速度是否也能作為走、跑時運動強度的指標。

三、資料處理

將慣性感測器所收取的資料經由 Acqknowledge 4.1 進行 10 Hz 低通濾波後(Wundersitz, Gastin, Richter, Robertson & Netto, 2015; Wundersitz, Netto, Aisbett & Gastin, 2013), 截取每分鐘前十大加速度數值。

穿戴裝置則是從裝置的雲端資料庫下載裝置收取到的每分鐘前十大加速度資料。

將慣性感測器與穿戴裝置所收到數據以統計軟體 IBM SPSS for Windows 23.0 版本進行統計分析:

(一)信度分析

以組內相關係數分析 (Intra-class Correlation Coefficient, ICC), 比較四週內, 每次測驗所得數值間的信度, ICC 為組間變異數和總變異數的比值, 可以用來比較組間變異數與組內變異數的相對程度。當 $ICC > .80$ 時, 關聯性為強 (Shrout & Fleiss, 1979)。

(二)效度分析

將儀器級慣性感測器與穿戴裝置兩者所收取的每分鐘前十大加速度數值進行皮爾森積差相關, 顯著水準訂為 $p = .05$, 當相關係數 $> .70$, 表示其數值與效標間為高相關, 如 $< .40$, 表示其數值與效標間為低相關, 若相關係數的結果介於兩者之間, 則為中度相關; 以方均根誤差 (root mean square error, RMSE) 計算穿戴裝置與儀器級慣性感測器測得數值差異程度。

(三)運動強度分析

將跑步速度與穿戴裝置所收取的每分鐘前十大加速度數值進行皮爾森積差相關, 驗證前十大加速度是否隨運動強度變化而隨之改變, 並將十種速度所測得的加速度值進行重複單因子分析, 分析不同速度間所收得加速度值的差異是否達顯著, 顯著水準訂為 $p < .05$ 。

參、結果

一、穿戴裝置的信度

比較四周內穿戴裝置收取各數值間相關係數, 結果顯示, 在不同跑走速度下皆為高度再測信度 ($ICC = .96-.98$) (表一)。

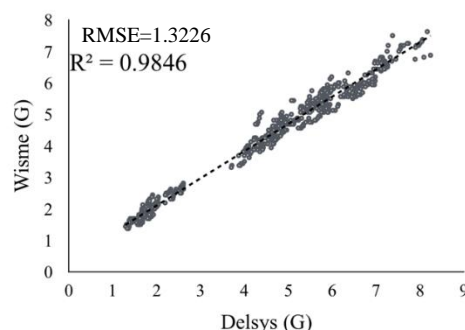
表一、穿戴裝置於走路及跑步時的再測信度

速度	上肢	下肢
5 km/hr 走路	.963 ^a	.978 ^a
7 km/hr 走路	.962 ^a	.970 ^a
7 km/hr 跑步	.980 ^a	.980 ^a
9 km/hr 跑步	.975 ^a	.984 ^a

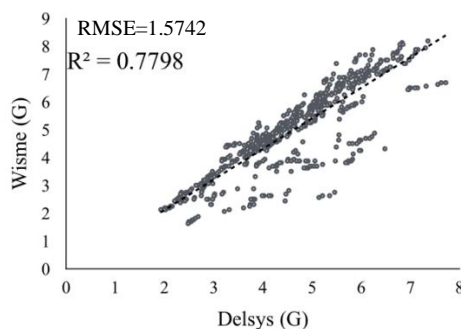
註: a>.75 表示高度再測信度

二、穿戴裝置的效度

上肢穿戴裝置與儀器級慣性感測器的相關為 .992 ($p = .000$) (圖三), RMSE 為 .402G, 而下肢穿戴裝置與儀器級慣性感測器的相關為 .883 ($p = .000$) (圖四), RMSE 為 .825G。



圖三、上肢慣性感測器 (Delsys) 與穿戴裝置 (Wisme) 關係圖



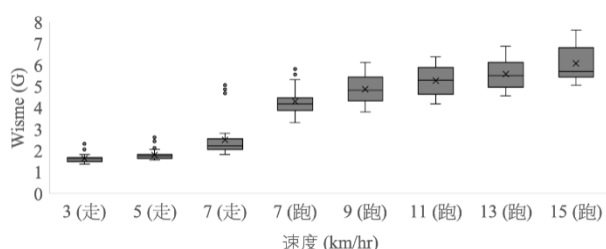
圖四、下肢慣性感測器 (Delsys) 與穿戴裝置 (Wisme) 關係圖

穿戴式裝置在配戴於上肢與下肢都與儀器級慣性感測器所測得數據有高的相關性與低的方均根誤差, 代表此穿戴裝置具有良好的校標關聯度; 其中配戴於上肢的相關性明顯高於配戴在下肢, 方均根誤差配戴於上肢也明顯低於配戴在下肢, 這可能是由於穿戴裝置與慣性感測器無法放在絕對相同的位置, 而實驗中裝置為了配合人體肌肉骨骼與配戴舒適度, 使穿戴裝置與慣性感測器兩者無法放置在同個位置上, 只能並

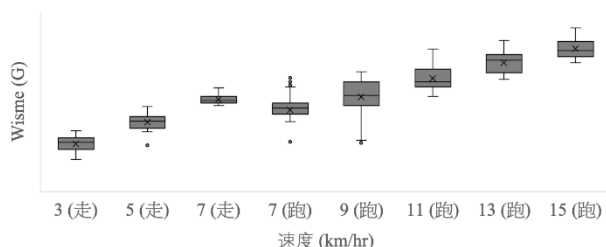
列收取，兩儀器在上肢與下肢並列的方式也因為配合人體肌肉骨骼與配戴舒適度而有所不同，這可能是造成上肢與下肢效度測量差異的原因，也因此穿戴裝置與慣性感測器的相關性永遠無法達到 1。

三、運動強度

由圖五可見，當走跑速度上升，上肢穿戴裝置所測得前十大的加速度隨之上升，走跑速度與前十大佳速度的相關為 .869 ($p = .000$)，且不同走跑速度間差異皆達顯著 ($p < .05$)；圖六中，下肢穿戴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 ($p < .05$)。



圖五、不同走跑速度下，上肢穿戴裝置的前十大加速度值



圖六、不同走跑速度下，下肢穿戴裝置的前十大加速度值

肆、討論

本研究結果發現，穿戴裝置所收取到的前十大加速度與走跑速度呈線性關係，與過去使用儀器級加速規的研究比較，證實跑步時手腕的加速度和身體活動量擁有高度相關(Swartz et al., 2000)；另外，量測受試者在跑步機上跑步之身體活動量後，發現位於腳踝之加速度數據與代表身體活動量之心跳有最高之相關性，與過去研究呈現相似的結果(廖立同、相子元, 2009)，這表示在長時間反覆性的運動，透過抓取少數的特徵值資料是可以量身體的運動情形。

由實驗結果中可見，放置於手腕穿戴裝置在走路與跑步間的數值具有明顯的差異，而放置於腳踝的穿戴裝置在走路與跑步轉換速度時，數值沒有差異，或是相同速度下(7 km/hr)走路的數值大於腳踝的數

值，這可能是走路和跑步間的動作型態差異所造成的，有研究指出在轉換速度下進行走路時，髖關節與膝關節在著地瞬間的伸展角度顯著大於相同速度下的跑步(Li, van den Bogert, Caldwell, van Emmerik, & Hamill, 1999)，同樣的，在走路時踝關節的活動角度小於跑步(Segers, Lenoir, Aerts, & De Clercq, 2007)，這會使身體難以透過下肢關節彎曲來減緩著地時的衝擊，因此使穿戴裝置收到較大的加速度訊號。

過去研究中多為探討穿戴裝置測量步頻、關節活動度之效度，利用這些參數去推論身體活動量(林昱安、李恆儒, 2017; Case, Burwick, Volpp, & Patel., 2015; Diaz, Krupka, Chang, Peacock, Ma, & Goldsmith, 2015)，或是以儀器級慣性感測器進行身體活動量的計算(Vähä-Ypyä et al., 2015; Scott et al., 2013; Gabbett, 2015)，較少研究透過穿戴裝置所收取少量的加速度資料進行運動強度探討。雖然有些穿戴裝置能夠偵測身體能量消耗，進而推算身體活動量，但根據過去效度檢驗研究結果顯示，穿戴裝置偵測能量消耗的效度似乎不高(Ferguson, Rowlands, Olds, & Maher, 2015; Lee, Kim, & Welk, 2014)。本研究雖然無法透過穿戴裝置進行身體能量消耗的測量，但透過運動強度的測量，量化穿戴者的運動情形，同樣能提供有效的資訊。

伍、結論

本研究結果顯示，穿戴裝置透過儀器級慣性感測器驗證後具有良好信效度；此外，穿戴裝置所收取每分鐘前十大加速度與走跑速度達高度相關，這代表透過穿戴裝置抓取的少量數據具有量化運動強度的可行性。

穿戴式科技監測運動強度不僅便於穿戴，還能長時間監測，收取的資料會上傳雲端系統，可用於大數據分析。由於本篇研究只有探討跑步機上的走跑活動，未來希望應用於不同種類的運動做測試，以確認本研究結果之應用範圍。

引用文獻

- 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。
- 林昱安、李恆儒(2017)。穿戴式裝置於陸上與水中運動之信效度檢驗。*運動表現期刊*, 4(1), 63-69。
- 廖立同、相子元(2009)。身體不同位置加速度分析跑步機跑步身體活動量之研究。*華人運動生物力學期刊*, 1, 32-38。

- 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), 18-24.
- Butte, N. F., Ekelund, U., & Westerterp, K. R. (2012). Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(1S), S5-S12.
- Case, M. A., Burwick, H. A., Volpp, K. G., & Patel, M. S. (2015). Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *Jama*, 313(6), 625-626.
- Dallinga, J. M., Mennes, M., Alpay, L., Bijwaard, H., & de la Faille-Deutekom, M. B. (2015). App use, physical activity and healthy lifestyle: A cross sectional study. *BMC Public Health*, 15(1), 833-842.
- Diaz, K. M., Krupka, D. J., Chang, M. J., Peacock, J., Ma, Y., & Goldsmith, J. (2015). Fitbit: An accurate and reliable device for wireless physical activity tracking. *International Journal of Cardiology*, 185, 138-140.
- Ferguson, T., Rowlands, A.V., Olds, T., & Maher, C. (2015). The validity of consumer-level, activity monitors in healthy adults worn in free-living conditions: A cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12(1), 42.
- Gabbett, T. J. (2015). Relationship between accelerometer load, collisions, and repeated high-intensity effort activity in rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(12), 3424-3431.
- Gastin, P. B., McLean, O., Spittle, M., & Breed, R. V. P. (2013). Quantification of tackling demands in professional Australian football using integrated wearable athlete tracking technology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16 (3), 589-593.
- Lee, J. M., Kim, Y. W., & Welk, G. J. (2014). Track it : Validity and utility of consumer-based physical activity monitors. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 18(4), 16-21.
- Li, L., van den Bogert, E. C., Caldwell, G. E., van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (1999). Coordination patterns of walking and running at similar speed and stride frequency. *Human Movement Science*, 18(1), 67-85.
- Lovell, T. W., Sirotic, A. C., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2013). Factors affecting perception of effort (session rating of perceived exertion) during rugby league training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 62-69.
- 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.
- Scanlan, A. T., Wen, N., Tucker, P. S., & Dalbo, V. J. (2014). The relationships between internal and external training load models during basketball training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28 (9), 2397-2405.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & Janse de Jonge, X. (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.
- Segers, V., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2007). Kinematics of the transition between walking and running when gradually changing speed. *Gait & Posture*, 26(3), 349-361.
- Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420-428.

- Swartz, A. M., Strath, S. J., Bassett, D. B., O' brien, W. L., King, G. A., & Ainsworth, B. E. (2000) . Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9), S450-S456.
- Swan, M. (2013). The quantified self : Fundamental disruption in big data science and biological discovery. *Big Data*, 1(2), 85-99.
- Troiano, R. P., McClain, J. J., Brychta, R. J., & Chen, K. Y. (2014). Evolution of accelerometer methods for physical activity research. *British Journal Sports Medicine*, 48(13), 1019-1023.
- 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.
- Wundersitz, D. W., Gastin, P. B., Richter, C., Robertson, S. J., & Netto, K. J. (2015). Validity of a trunk-mounted accelerometer to assess peak accelerations during walking, jogging and running. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 382-390.
- Wundersitz, D. W. T., Netto, K. J., Aisbett, B., & Gastin, P. B. (2013). Validity of an upper-body-mounted accelerometer to measure peak vertical and resultant force during running and change-of-direction tasks. *Sports Biomechanics*, 12(4), 403-412.

The feasibility of using wearable sensors to quantify exercise intensity

¹You-Sheng Chen ¹ Kuan-Hsun Huang ¹Tyzz-Yuang Shiang*

¹Department of Athletic Performance, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

Submit date : May 2018 ; Qualified date : September 2018

Abstract

Introduction: The aim of this study was to assess the validity and the reliability of wearable sensor, which combined an accelerometer, in various speed of walking and running on a treadmill compare to laboratory Inertial Measurement Unit (IMU) sensor. In addition, this research also study about the relationship between body limb acceleration and moving speeds. **Methods:** Reliability: One healthy male subject was recruited and wore a wearable sensor on his left hand and a wearable sensor on his left leg. Four walking and running data in various speed were collected after the subject adapted to the speed on treadmill. The experiment lasts for four weeks and the data was collected ten times in total. Test-retest reliability was assessed using the Intra-class Correlation Coefficient (ICC). Validity: Ten healthy male subjects were recruited and wore a wearable sensor and an IMU sensor both on their left hands and left legs. After adapting to the speed on treadmill, researchers collected data of walking and running in various speed and compared the data between wearable sensors and IMU sensors. The Pearson correlation coefficient was conducted to examine the criterion-related validity. Exercise intensity: The Pearson product-moment correlation coefficient was conducted to examine the relationships between body limb acceleration and moving speeds. **Results:** Reliability: The test-retest reliability of left hand and left leg (ICC= .962-.984) were highly correlated. Validity: The validity results of wearable sensors compared with IMU sensors wore on left hands and legs (r= .883-.992) were highly correlated. Exercise intensity: In the entire walking-running period, body limb acceleration showed significant correlations with moving speeds (r = .869-.924). **Conclusions:** The wearable sensor has good validity and reliability compared to laboratory IMU sensor in this study. The measured acceleration has the feasibility of quantifying the exercise intensity.

Keywords: running, speed, accelerometer
