

身體加速度及步頻分別與心跳之相關性-前導性實驗

Relationships among Trunk-Mounted Acceleration, Cadence, and Heart Rate: A Pilot Study

¹張簡旭芳 Hsu-Fang Chang Chien ²李尹鑫 Yin-Shin Lee ²戴一涵 I-Han Tai ¹相子元 Tzzy-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 *

²國立臺灣師範大學體育學系 Department of Physical Education, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

投稿日期：2015 年 7 月；通過日期：2015 年 10 月

摘 要

前言：隨著健康意識抬頭，國民從事運動相關人口數逐年增加，身體活動量議題廣為討論，其中心跳更是拿來當成運動強度的重點指標之一。伴隨電子產業與穿戴式技術的純熟，加速規與計步器不論在準確度、體積與便利性上的考量，儼然已成為大眾紀錄身體活動量的必備品。但加速度的運算方式仍未有統一標準，故本研究想探討不同步態下身體各種加速度運算方式和步頻分別與心跳之相關性。方法：四名男性參與者皆配戴心率錶、三軸加速規，依序在三種不同速度下進行走路和跑步，每個試驗分別收取五分鐘來進行數據處理。利用皮爾森積差相關比較不同運算方式的加速度和步頻分別與心跳之相關性。結果：髖關節前後軸加速度積分值與峰值、橫向軸加速度峰值以及步頻皆與心跳達高度相關（相關係數分別為.997**、.974*、.998**、.972*）。結論與建議：未來在身體活動量計的運算應用上，可以利用髖關節前後軸加速度積分值、橫向軸加速度峰值以及步頻來推估身體活動量，能夠更簡化且準確的推估身體活動量。但在加速規的應用上，仍要考量擺放位置的活動型態以選取運算軸向為原則。

關鍵字：加速規、身體活動量、計步器、心率

壹、緒論

近年來國民健康意識抬頭，從事運動相關的人口數逐年增加，從民國 95 年的 18.8% 逐年提升，在民國 101 年的規律運動人口比例突破三成，達到 30.4%，在民國 103 年更達到 33% (教育部體育署，2014)。在國人參與的運動項目中，走路佔 42.7%、慢跑佔 25.7%、自行車佔 14.4% 等，走路和跑步仍為大眾普遍接受的運動模式。走路和跑步是人類與生俱來、最直接且自然、技巧性較少的運動，並且適合各年齡層、方便又低消費。侯彥竹、相子元 (2014) 在體適能趨勢調查中發現，運動與減重的趨勢逐年攀升，認為減重等於追求健康，現代人運動主要的目的是為了健康而動，其次才是為了身材與興趣。所以知道什麼樣的運動強度才能促進健康，也就變成大眾所關注的議題。隨著穿戴式科技的進步，許多運動族群開始配戴計步器，透過計步器測量走路和跑步時的身體活動量也漸漸成為一種趨勢。身體活動 (physical activity) 是指藉由身體骨骼肌肉的收縮並導致身體移動所引起的能量消耗。身體活動量具有四種特性，(一)經由骨骼肌導致身體的移動；(二)造成能量的消耗；(三)能量消耗是由少到

多的一種連續狀態；(四)與體適能呈正相關。身體活動量越大，所消耗的能量就越多。測量身體活動量的方式根據研究經費、所需時間、個人接受度、頻率、持續時間等因素，將評估身體活動量的方式分為四大類，分別為熱量測量法、問卷調查法、生理指標及電子式監測器，提供準確的評估方式並有助於量化身體活動及能量消耗 (Caspersen, Powell & Christenson, 1985)。但身體活動量的測量沒有單一標準 (Montoye, Kemper, Saris & Washburn, 1996)，根據研究經費與所需時間較少，以及較簡單的操作流程考量，電子測量儀器廣為大眾接受，其中加速規和計步器更是常被拿來當成身體活動量的檢測工具。近年來也因為電子科技的進步，以及穿戴式裝置技術的純熟，加速規訊號感測器精準度提升，體積小更方便攜帶，所以更多人利用加速規和計步器來測量身體活動量，也達一定信效度 (相子元、石又、何金山，2012; Chen & Bassett, 2005; Bento, Cortinhas, Leitao & Mota, 2012; Hansen, Kolle, Dyrstand, Holme & Anderssen, 2012; Cuddihy, Pangrazi & Tomson, 2005; Prusak & Darst, 2002)。過去

*通訊作者：相子元 Email : tyshiang@gmail.com

地址：臺北市文山區汀洲路四段 88 號

已有文獻證實，利用加速規推估身體活動量分別與心跳和攝氧量作為校標檢測，皆得到高度相關（廖立同、相子元，2009; Vanhelst, Theunynck, Gottrand & Béghin, 2010; Westerterp, 1999）。廖立同等人（2009）在跑步機七種不同速度下走跑，並將心率作為校標，發現高速跑時手腕前後軸積分值與矢狀面的加速度可預估跑步時的身體活動量。目前廣為大眾所接受的身體活動量計，例如 ActiGraph、Tritrac-R3D 和 RT3 Triaxial，利用三軸向量將執行身體活動量的加速度動能轉換成計數（count），並以線性迴歸方程式估算其能量消耗。Vanhelst et al., (2010) 透過 RT3 Triaxil 身體活動量計推估坐式型態到激烈運動的身體活動量，發現除了坐式型態以外的活動，皆分別與心跳、氣體分析儀氣所測得的值達高度相關。Welk, Blair, Wood, Jones, & Thompson, (2000) 利用 Tritrac R3D 身體活動量計推估在跑步機不同速度、不同家事勞動型態下的身體活動量，並以攝氧量為校標檢測，發現在跑步機測試中的相關值 ($r=.92$) 高於家事勞動 ($r=.59$)。上述文獻的加速度運算方式不一，分別有計數、積分、最大和平均值，哪種運算方式更能準確推估身體活動量，目前尚未有定論。除此之外也有文獻證實，利用計步器推估身體活動量分別與心跳和攝氧量作為校標檢測，皆得到高度相關（Graser, Groves, Prusak & Pennington, 2011; Tudor-Locke, Sisson, Collova, Lee & Swan, 2005; Graser, Vincent & Pangrazi, 2009）。Graser et al., (2011) 探討 12 至 14 歲青少年族群穿戴計步器於跑步機步行，利用不同速度下的步頻與心跳之相關推測身體活動量。Nielson (2007) 於五種不同步頻下步行（80、90、100、110 和 120 步/分鐘），並將步頻與攝氧量之相關推估身體活動量。但過去文獻多為步行下的步頻與心跳或攝氧量之相關，並未針對跑步下的步頻與心跳之相關多做探討。故本研究想探討不同步態下身體各種加速度演算法和步頻分別與心跳之相關性。



圖一、三軸加速規擺放位置



圖二、三軸加速規穿戴軸向

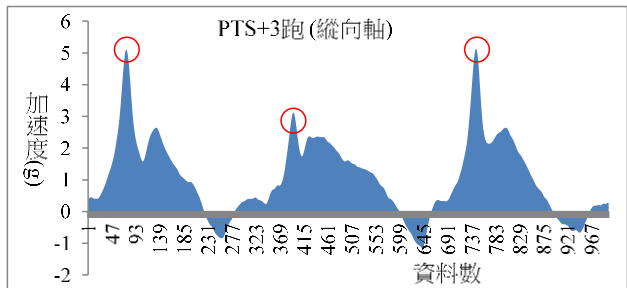


圖三、Polar 心率錶與帶

貳、研究方法

招募四名有從事一般規律運動之健康男性為實驗參與者（年齡： 23.5 ± 1.0 歲，身高： 178.0 ± 5.0 公分，體重： 74.5 ± 7.1 公斤，站立休息心跳： 86.0 ± 4.1 下/分鐘），參與者在近六個月內，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。本研究所使用之儀器如下，一個三軸加速規（CXL50LP3， ± 25 g）配戴於左邊股骨大轉子上方處（圖一、圖二），取樣頻率為 1000Hz，加速規原始訊號利用 Acqknowledge4.1 軟體做處理，並經低通濾波 10Hz 進行濾波處理（Wundersitz, Netto, Aisbett & Gastin, 2013; Wundersitz, Gastin, Richter, Robertson & Netto, 2015）。實驗參與者配戴 Polar 心率錶及心率帶（S625X，圖三）紀錄實驗時心率的變化，使用 Polar Pro Trainer5 分析心跳率。跑步機一臺（Magtonic MAG-7310）。實驗前先測得站立時安靜心跳、轉換速度及進行 5-10 分鐘熱身運動。隨機分別在三種不同速度下進行走路和跑步的實驗，速度分別為轉換速度、轉換速度減三公里、轉換速度加三公里，每個試驗各進行分別執行五分鐘，並取中間一分鐘穩定心跳下的資料來進行數據分析。各軸向以及合加速度的積分值與峰值作加速度的資料處理與步頻判定（圖四）。將不同運算方式處理過後的加速度和步頻分

別與心跳做相關分析。統計分析使用皮爾森積差相關 (Pearson product-moment correlation) 比較不同運算方式之加速度與心跳之間相關性。



圖四、加速度之積分值(藍底面積)、峰值(圈圈處)與步頻(圈圈數量累積)之演算。

參、結果與討論

在不同運動型態下，由心跳、各種加速度運算方式與步頻之結果 (表一)，發現前後軸加速度積分值與峰值、橫向軸加速度峰值以及步頻皆與心跳達高度相關 ($p<.05$) (表二)。整體而言，前後軸加速度，不論在積分值或峰值皆與心跳達高度相關 ($r=.997^{**}$ 、 $.974^{*}$)。前後軸積分值與心跳達高度相關，與過去文獻探討合加速度積分值與攝氧量所計算的能量消耗值有高度相關的結果符合 (Vanhelst et al., 2010)，證實關節產生的前後軸加速度積分值適合用來推估身體活動量。但本篇結果為前後軸方向之積分值而非合加速度之積分值，探討其原因可能在於加速規擺放位置不同，本研究加速規擺放位置在股骨大轉子上方處，又走路和跑

步屬於前後方向的直線運動，受到下肢前後擺動的影響較大，所以造成前後軸加速度的積分值和峰值皆與心跳之相關達顯著。其中前後軸加速度積分值與心跳之相關係數值大於峰值，探討其原因可能為運動過程中，下肢在前後擺盪過程為開放鍊動作，積分值的運算能夠涵蓋整個動作過程中所發生的加速度值，因此前後軸加速度積分值相較於峰值，更能代表身體活動量。Westerterp (1999) 指出不同的運動型態，身體各部位產生的加速度就不同，所以未來在推估身體活動量時，需要根據擺放位置的活動型態來選取運算軸向。本篇結果亦發現橫向軸加速度峰值與心跳達高度相關 ($r=.998^{**}$)，探討其原因可能在於隨著跑步機速度增加，為了適應並維持身體在跑步機上同個位置跑步，因此身體左右晃動的幅度隨之增加，故造成橫向軸加速度峰值與心跳之相關度高。其中橫向軸加速度峰值與心跳達顯著相關，橫向軸加速度積分值則沒有，探討其原因可能為下肢在接觸地面時為閉鎖鍊動作，關節作用力直接來自地面，故當下峰值即能代表身體活動量。本篇研究步頻為每分鐘走或跑之步數，步頻與心跳達高度相關 ($r=.972^{*}$)，與過去文獻認為步頻與攝氧量成高度相關之結果符合 (Graser et al., 2009; Tudor-Locke et al., 2005)。本篇研究發現步頻會隨速度增加而增加，與 Graser et al., (2011) 提到在相同速度下的不同運動模式，跑步會較走路有更多步頻與較小的步長產生之結果相符，過去文獻也指出步長較小容易造成重心垂直轉移較小，增加更多能量消耗 (Gordon, Ferris & Kuo, 2009; Massaad, Lejeune & Detrembleur, 2007)，證實利用步頻測量身體活動量的方法是可行的。

表一、不同運動型態下，心跳、各種加速度演算法與步頻之結果

運動型態 (公里/時 速)	心跳 (下/分)	步頻 (步/分)	合峰值 (g)	前後 峰值 (g)	縱向 峰值 (g)	橫向 峰值 (g)	合積分 (g*sec)	前後積分 (g*sec)	縱向積分 (g*sec)	橫向積分 (g*sec)
PTS-3 走	102.7±9.0	104.8±11.4	2.0±0.2	1.2±0.1	1.8±0.2	0.4±0.1	76.8±2.2	30.0±6.9	67.3±1.1	12.8±6.0
PTS 走	134.5±11.5	133.8±11.7	3.2±0.4	2.0±0.2	2.6±0.5	0.7±0.1	79.8±6.1	36.0±4.5	65.0±4.4	13.8±4.5
PTS 跑	140.7±15.9	153.8±9.5	4.9±2.5	2.0±0.4	4.7±2.5	0.8±0.2	89.6±4.4	38.4±1.8	71.1±3.3	14.4±4.0
PTS+3 跑	163.8±17.4	165.0±9.4	5.5±2.4	2.3±0.5	5.2±2.4	1.0±0.3	98.6±3.0	42.8±1.7	76.5±3.6	17.2±4.8

* PTS (Preferred Transition Speed) 表示轉換速度。

表二、各種加速度演算法及步頻，分別與心跳之相關係數

心跳	步頻	前後軸		縱向軸		橫向軸		合加速度	
		積分值	峰值	積分值	峰值	積分值	峰值	積分值	峰值
相關係數	1.000	.972*	.997**	.974*	.745	.903	.929	.998**	.913

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

肆、結論與建議

本研究使用三軸加速規測量身體活動量，量測結果與心跳作為校標檢測工具，利用加速度的不同運算方式與步頻來推估身體活動量。證實前後軸加速度積分值與峰值、橫向軸峰值以及步頻皆與心跳達顯著相關，相關係數大於.97，達高度相關。整體而言，以軸向為考量，前後軸加速度的運算相較其他軸向都有較佳的結果；以運算方式為考量，在前後軸加速度以積分值的結果為佳，橫向軸加速度以峰值的結果為佳。在未來身體活動量計的運算應用上，可考慮利用前後軸加速度積分值、橫向軸加速度峰值與步頻來推估身體活動量，但在加速規的應用，應考量擺放位置的活動型態來選取運算軸向。本篇研究僅適用於走跑速度與心跳呈線性關係的區段，未來可藉由提升速度以探討超過最大心跳強度時的加速度、步頻與心跳之關係。本篇研究並沒有提及步頻的範圍與運動強度之關係，未來可針對此方向再詳加探討。

伍、參考文獻

- 侯彥竹、相子元 (2014)。從 2015 年全球體適能調查探討未來趨勢。《運動表現期刊》，1(2)，33-37。
- 相子元、石又、何金山 (2012)。感測科技於運動健康科學之應用。《體育學報》，45(1)，1-12。
- 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。
- Bento, T., Cortinhas, A., Leita, J. C., & Mota, M. P. (2012). Use of accelerometry to measure physical activity in adults and the elderly. *Revista de Saude Publica*, 46, 561-570.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126.
- Chen, K. Y., & Bassett, D. R. (2005). The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), S490.
- Cuddihy T. F., Pangrazi, R. P. & Tomson, L. M., (2005). Pedometers: Answers to FAQs from teachers. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 76(2), 36-40, 55.
- Gordon, K. E., Ferris, D. P., & Kuo, A. D. (2009). Metabolic and mechanical energy costs of reducing vertical center of mass movement during gait. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(1), 136-144.
- Graser, S. V., Groves, A., Prusak, K. A., & Pennington, T. R. (2011). Pedometer steps-per-minute, moderate intensity, and individual differences in 12-14-year-old youth. *Journal of Physical Activity and Health*, 8(2), 272-278.
- Graser, S. V., Vincent, W. J., & Pangrazi, R. P. (2009). Step it up: Activity intensity using pedometers. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 80(1), 22-24.
- Hansen, B. H., Kolle, E., Dyrstad, S. M., Holme, I., & Anderssen, S. A. (2012). Accelerometer-determined physical activity in adults and older people. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44, 266-272.
- Massaad, F., Lejeune, T. M., & Detrembleur, C. (2007). The up and down bobbing of human walking: a compromise between muscle work and efficiency. *The Journal of Physiology*, 582(2), 789-799.
- Montoye, H. J., Kemper, H. C., Saris, W. H., & Washburn, R. A. (1996). *Measuring physical activity and energy expenditure*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nielson, R. (2007). Energy Expenditure as Estimated by Pedometry During Treadmill Walking at Different Stride Frequencies. Unpublished Doctoral dissertation, Brigham Young University. Department of Exercise Sciences.
- Prusak K. A., & Darst, P. W. (2002). Effects of types of walking activities on actual choices by adolescent female physical education students. *Journal of Teaching in Physical Education*, 21, 230-241.
- Tudor-Locke, C., Sisson, S. B., Collova, T., Lee, S. M., & Swan, P. D. (2005). Pedometer determined step count guidelines for classifying walking intensity in a young ostensibly healthy population. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(6), 666-676.
- Vanhelst, J., Theunynck, D., Gottrand, F., & Béghin, L. (2010). Reliability of the RT3 accelerometer for

- measurement of physical activity in adolescents. *Journal of Sports Sciences*, 28(4), 375-379.
- 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.
- Westerterp, K. R. (1999). Physical activity assessment with accelerometers. *International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders*, 23, S45-49.
- 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., 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.

