



三軸加速規用於評估身體活動量的方法與應用

^{1,2} 陳羿揚、^{3,4} 莎麗娃、^{2,5} 邱文信*

¹ 國立臺灣師範大學體育學系、² 國立清華大學運動科技中心、

³ 吉林體育學院、⁴ 國立東華大學教育行政管理學系、⁵ 國立清華大學運動科學系

投稿日期：2019 年 02 月；通過日期：2020 年 03 月

摘要

加速規可用於評估身體活動量與運動強度等，然而評估時可能因動作形式的差異，需穿戴至適當的身體部位，且收取之加速度訊號繁雜，若能事先瞭解適當的穿戴位置與收取之數據後判斷、分析的方式，則能提高研究效率。本文彙整過去使用加速規探討身體活動量之相關實證性研究，並提出在何種運動形式下，適當的穿戴位置數據判斷與分析方式，藉此提供相關研究人員，作為後續從事研究之參考依據，以利提升研究效益。經文獻分析後得知，將加速規穿戴至受試者髖關節（腰部）為最多，其次為手臂。數據判斷與分析方面，主要可分為，一、直接將運動過程中所產生的加速度閾值進行加總或平均。二、透過動作過程中，產生的加速度閾值與時間軸進行比對。三、事先收取加速度校標，在與實際動作之加速度閾值進行比對。四、以各軸向加速度閾值與合加速度積分值判定。加速規所產生的加速度閾值或時間軸的變化，可順利評估身體活動量、運動強度與競技技術。建議欲釐清生活中身體活動、慢走、徒手肌力運動與游泳運動可將加速規穿戴至受試者髖關節（腰部），而籃球與足球等球類運動則可穿戴至慣用側手臂。研究人員可針對研究目的、動作形式與需求，選擇適合該研究之判斷、分析數據的方式與穿戴的位置，藉此提高研究效率。

關鍵詞：慣性量測感測器、穿戴式科技、監控、量化

壹、緒論

穿戴式裝置的快速發展，使早期用於學術或工業相關研究的三軸加速規 (Accelerometers) (以下簡稱加速規)，價格逐漸低廉，且擁有體積小、攜帶方便、高信效度等特性，近年來被大量置入智慧型手機與運動手環中，促使自我量化 (Quantified self) 的概念興起。許多研究也以氣體分析儀 (Gas analyzer) 比對加速規，評估運動時之身體活動 (Physical activity) 與能量消耗 (Energy expenditure) 等，藉此瞭解在從事該運動時之身體活動量 (Balsalobre-Fernández, Kuzdub, Poveda-Ortiz, & Campo-Vecino, 2016)。

由於此概念屬近幾年才陸續被研究的議題，目前仍缺乏研究統整與說明加速規用於評估身體活動量之具體方式。本文主要以釐清加速規用於評估身體活動量的可行性、數據判斷與分析方式和穿戴位置的角度進行探討。舉凡欲評估身體活動量時，可能因動作形式的不同，以致於加速規需穿戴在身體的不同位置，

再者透過長時間穿戴加速規所收取之訊號繁雜，如何進行分析與判斷，作為評估身體活動量之依據，此兩部分若未能事先釐清，則可能使研究人員在進行相關研究時，需透過預備實驗反覆進行測試，才能擬定適合該研究之穿戴位置與數據判斷與分析方式，可能導致研究效率的降低。

基於上述，本研究彙整過去使用加速規評估身體活動量之相關實證性研究並統整出一、加速規用於評估身體活動量的可行性。二、收取之加速度閾值判斷與分析方式。三、在何種動作形式下，加速規需穿戴至身體的哪個位置。藉此釐清欲透過加速規評估身體活動量時，需選擇何種分析方式與穿戴至身體的哪個位置，才利於提升研究效益。

貳、評估身體活動量的可行性

加速規為目前最被廣泛使用的慣性感測器

*通訊作者：邱文信 國立清華大學運動科學系
地址：300 新竹市東區南大路521號
E-mail：whchiu@mail.nd.nthu.edu.tw

(Khoshnoud & De Silva, 2012),許多研究皆透過加速規與一般傳統儀器進行比對,以瞭解評估身體活動量的可行性,根據世界衛生組織 (World health organization, WHO) 所稱「身體活動量」應包括:家務性 (Household)、工作性 (Work)、通勤性 (Transport)、休閒性 (Leisure time) 等四大類,此外運動強度的多寡亦可被視為費力身體活動量 (教育部體育署, 2013; 吳忠霖、黃長福, 2019),而過去多半使用心率錶、代謝測量儀與氣體分析儀等加以評估,但此方式存在諸多的限制,因此近年來已逐漸由小型感測器取代,此方式不但大幅減少設備費用,更因可「攜帶性」而突破過去許多的實驗限制,本節將針對加速規與傳統專業儀器測得之相關性,瞭解評估身體活動量的可行性。

針對加速規用於評估身體活動量的可行性部分,研究中評估青少年於體育課程與日常生活之身體活動量時,分別以加速規與心跳率、攝氧量作為校標進行比對,認為在從事低身體活動時加速規反應出之身體活動量與心跳率、攝氧量有相對高的誤差 (誤差值: 16.2-17%),但在從事高身體活動量時則有相對低的誤差 (誤差值: 6.6-9.3%),表示透過加速規可評估運動時之身體活動量,但與一般傳統儀器仍有誤差存在 (相子元、石又、何金山, 2012; Vanhelst, Theunynck, Gottrand & Béghin, 2010)。另外,成年人透過心率錶與加速規在不同速度下進行走路和跑步,得知髖關節前後軸加速度積分值、峰值、橫向軸峰值和步頻四者與心跳皆達高度相關 (相關係數為 .997、.974、.998、.972) (張簡旭芳、李尹鑫、戴一涵、相子元, 2016)。再者,有研究使用加速規與氣體分析儀,評估不同年齡層成年人跑步時之身體活動量差異,發現慢跑時加速規測得之加速度閾值,與氣體分析儀之耗氧量存在著高度線性關係 (相關係數為 .62-.89) (Miller, Strath, Swartz, & Cashin, 2010),且透過攜帶式氣體分析儀進行比對,除瞭解運動過程中產生之加速度閾值與能量消耗有高度相關性外,以加速規所呈現的「加速度閾值」與「時間軸」的變化,可瞭解高齡者每次步行時之步頻與步幅差異,以評估身體活動量 (Barnett, van den Hoek, Barnett, & Cerin, 2016; Park et al., 2017)。上述研究皆證實透過加速度閾值與時間軸,方可評估青少年、成年人與高齡者之身體活動量差異,並與傳統心率錶與氣體分析儀有著高度的相關性。在日常生活品質方面,相關研究欲瞭解成年女性日常生活品質,透過加速規 (Actiwatch2

和 Actigraph GT3X) 與攜帶式代謝測量儀 (Cosmed K4b2, Rome, Italy) 監控女性睡眠、跑步、走路、久坐等等動作,以加速度閾值與時間軸差異比對代謝量,計算日常生活時之身體活動量與動作形式等,作為監控生活品質與活動量的指標,認為判斷睡眠或久坐時之身體活動量與動作形式時,有相對高的相關性 (相關係數為 .96) (Neil-Sztramko, Rafn, Gotay, & Campbell, 2017)。在提倡徒手肌力訓練智慧化的研究中,亦透過加速規產生之加速度閾值,瞭解每次進行仰臥起坐、伏地挺身與蹲踞跳之運動強度及動作時間 (Nurwanto, Ardiyanto, & Wibirama, 2016),且透過加速規所測得之加速度閾值比對測力板所之壓力中心 (Center of pressure) 可得知當受試者核心肌群保持穩定時,加速規所產生之橫軸 (Y軸) 加速度閾值越平穩 (振幅越小),反之肌力逐漸消耗時,橫軸加速度閾值則越高 (振幅越大)。有此可知,透過加速規可評估在從事核心肌群訓練時之動作穩定性,且與測力板所測得之壓力中心有高度的相關 (相關係數為 .89) (Barbado et al., 2018)。

在競技技術分析方面,許多研究以加速規所測得之加速度峰值的大小作為評估運動表現的依據,舉凡以三種不同游泳反身踢壁技巧進行測試,透過穿戴加速規並與踢壁速度進行比對,瞭解選手踢壁所產生的加速度越大,出發速度則越快 (Stamm, James, Burkett, Hagem, & Thiel, 2013)。另外不同層級羽球選手持拍進行切球時,透過加速規的時間軸比對加速度產生的頻率,可瞭解優秀選手相較於次優秀選手在擊球時產生相對高的振動頻率與短的振動時間,且擊球點明顯集中於甜區,並在擊球後放鬆握把來節省體力,整體功率也較高 (吳鴻志、李金孝, 2012)。而在籃球運動中分別以跑動運球、行進推傳及原地跳躍進行測試,過程中收取受試者四肢及軀幹加速度訊號,並比對心率。結果得知慣用手、非慣用手及軀幹加速度,在三項動作強度趨勢上與心率相同,能區分設計動作之強度,慣用手及軀幹加速度與心率有顯著相關 ($r = .456$ 、 $r = .332$),且慣用手相關性最高 (蔡琪揚、李逸驊、相子元, 2019)。此外透過每次動作之合加速度,亦可評估排球選手於比賽、模擬賽與練習時之運動強度,發現所有位置的球員有超過一半的身體活動量皆為低強度。其中,舉球員在比賽時的身體活動量最高,自由球員休息時間則最長 (黃冠勛、林昀、張恩崇、相子元, 2018)。探究其原因,加速規主要利用壓電晶片感測運動中之加速度參數,以輸出的電壓值表示測得之

數據，透過穿戴加速規進行活動時，動作越大所產生的加速度閾值越高，並與實際能量消耗有著線性關係，且針對走路與跑步等重複性動作有極高的相關性，可知藉由加速規方能評估運動強度、身體活動量、次數與動作時間等（相子元等，2012; Khoshnoud et al., 2012）。

綜合上述，諸多研究證實穿戴加速規評估身體活動量，所得結果與比對各專業儀器皆有高度相關性，顯示使用加速規進行不同形式的運動時，透過加速度閾值與時間軸，不僅能評估青少年、成年人、高齡者與女性之身體活動量與生活品質外，亦可瞭解游泳、籃球與排球等選手競技技術與身體活動量差異，以作為評估生活型態、修正競技技術或選手體力調配之參考依據。

參、數據判斷與評估方式

使用加速規所測得之身體活動量、運動強度與競技技術，最常使用的評估方式為記錄每次動作過程中，各軸向亦或主要運動軸向之最大加速度閾值、每分鐘的平均值，並透過低通濾波 (Low pass filter) 與均方根運算 (Root mean square, RMS) 計算加速度並進行加總，以 m/s^2 或 g ($9.8m/s^2$) 為單位呈現加速度閾值，作為評估身體活動量或計算次數的依據 (Barnett et al., 2016; Shull, Jirattigalachote, Hunt, Cutkosky, & Delp, 2014; Verloigne et al., 2011)。舉凡穿戴加速規以垂直軸向 (Z軸) 判斷每次動作過程之最大加速度閾值，並評估高齡者與青少年於不同強度慢跑時之身體活動量 (Vanhelst et al., 2011)。而足球定點腳背射門動作中，透過前後擺腿方向移動的加速度閾值可判斷出優秀選手踢球的時間長於次優秀選手，且前後擺腿方向移動的水平和垂直軸，位移比次優秀手較大，顯示優秀選手與次優秀選手在十公尺射門時，動作是有明顯的不同 (吳鴻志、王嫦娥、陳璽煌，2012)。此外透過垂直軸向 (Z軸) 的變化，監控女性跑步、走路、久坐等動作，認為跑步時所產生的閾值最大，其次為走路與久坐 (Neil-Sztramko et al., 2017)，上述文獻皆透過方根運算計算加速度並進行加總，以 m/s^2 或 g ($9.8m/s^2$) 為單位呈現加速度閾值，作為評估身體活動量、計算次數或判斷動作差異的依據。

除了單純以各軸向的加速度閾值進行評估外，透過加速規呈現的時間軸，再與該動作所產生的加速度閾值比對後，可更精準的評估身體活動量與運動強度 (Nurwanto et al., 2016; Thomas et al., 2018; Wang et al.,

2017)。舉凡競技技術方面，透過加速規的時間軸比對加速度產生之幅度，可瞭解優秀籃球選手在加速、減速和方向變化時之速度的快慢 (Svilar, Castellano, Jukić-Kinesiology, 2019)。此外在進行徒手肌力訓練時，透過加速規所測得之加速度閾值比對時間軸可得知，肌力飽滿時加速規所產生之橫軸 (Y軸) 加速度閾值越平穩，而肌力逐漸消耗時，橫軸加速度閾值則越高 (Barbado et al., 2018)。排球選手同樣可透過加速規的時間軸與加速度閾值，評估跳躍次數與頻率等，認為透過加速度閾值可計算出跳躍的次數，而透過顯示的時間軸則可得知跳躍的頻率 (Jarning, Mok, Hansen, & Bahr, 2015)。肌力訓練方面，使用穿戴式裝置之加速規，亦可計算受試者每次進行仰臥起坐、引體向上、伏地挺身與握推時之動作時間與次數 (Nurwanto et al., 2016; Wang et al., 2017)，再將測得之加速度閾值與時間軸進行交叉比對，可瞭解當全身肌力逐漸消耗時，所測得的加速度閾值隨之降低，且每次動作時間亦增加 (Thomas et al., 2018)。

若以長時間收取加速度閾值可能導致數據量過大，而提高判斷、分析的困難與誤差性，為避免降低研究效率，可在正式實驗前先收取該動作所產生之加速度閾值，作為評估與判定依據。當正式施測時，動作過程中產生的加速度閾值超過事先預設之閾值時，則以該訊號作為評估之有效數據 (相子元等，2012; Shull et al., 2014)，此分析方式被大量用於監控生活品質的相關研究，舉凡為瞭解成年女性與不同性別兒童，身體活動量與生活型態，則透過加速規事先紀錄跑步、走路、久坐與平躺時之加速度閾值，以該閾值作為校標評估女性與兒童慢跑、走路、久坐與睡眠之身體活動量與生活型態，並認為由此方式可順利得知身體活動量與生活型態 (Neil-Sztramko et al., 2017; Rodriguez-Martin et al., 2013; Verloigne et al., 2011)。

另外透過各軸向之加速度閾值進行加總，以合加速度的積分值，可判定高齡者進行走路運動時之身體活動量 (江宗麟、陳著、李湘庭、吳慧君，2018)。另外，穿戴心率錶與加速規，依序在三種不同速度下進行走路和跑步，可透過關節前後軸加速度積分值與峰值、橫向軸加速度峰值評估身體活動量 (張簡旭芳等，2016)。綜合上述，透過加速規收取運動方向的主要軸向，以評估身體活動量、運動強度或競技技術，判斷與分析的方式分為，一、直接將運動過程中所產生的加速度閾值進行加總。二、透過動作過程中，產生的加速度閾值與時間軸進行比對。三、事先收取加

速度校標,再與實際動作之加速度閾值進行比對。四、以各軸向加速度閾值與合加速度的積分值與峰值判定。

肆、動作形式與穿戴位置之差異

加速規是利用壓電晶片來感測運動學(Kinematics)中之加速度參數,以輸出之電壓值代表測得之數據(Khoshnoud et al., 2012)。由先前文獻可瞭解,透過加速規可順利評估不同動作形式之身體活動量。根據相關研究認為使用加速規評估身體活動量時,並無硬性規定穿戴位置,主要以評估的研究目的為參考依據。因此可能因動作形式的不同,加速規所穿戴的位置亦不同,若能事先瞭解在何種動作形式下,加速規需穿戴至哪個位置,則能減少進行預備實驗的次數,並提升研究效益(Kim et al., 2014; Phillips et al., 2013)。

在肌力訓練部分,研究以穿戴式裝置之加速規,透過綁帶固定於左手臂,探討仰臥起坐與伏地挺身之次數,得知透過加速規可瞭解受試者每次進行仰臥起坐與伏地挺身之加速度,且可作為計算次數之依據,而研究中為了避免手部晃動,導致實驗結果產生差異,故要求受試者在進行仰臥起坐時,手臂需交叉置於胸前並加以固定,透過軀幹的擺動測得加速度閾值。同一研究在進行伏地挺身時,亦將加速規固定於左手臂,以維持動作的一致性,並透過每次動作之上升期,紀錄加速度閾值與時間軸差異,以評估運動強度(Nurwanto et al., 2016)。另研究探討肌耐力與速度之關係,將加速規穿戴至軀幹關節下背部中段處,透過加速度閾值與時間軸,評估受試者於引體向上與伏地挺身動作,得知當肌力逐漸消耗時加速度的峰值則會降低,且每次的時間亦增加(Thomas et al., 2018)。在實施深蹲動作時,將加速規以束帶穿戴至前臂伸腕肌處探討動作時間差,發現透過時間軸可有效得知每次所耗費的時間,當全身肌力逐漸消耗時耗費的時間則越長(Balsalobre-Fernández et al., 2016)。由上述文獻可歸納出,欲評估仰臥起坐、伏地挺身、引體向上與深蹲動作形式之身體活動量,多數研究將加速規穿戴至腕關節或手臂,若選擇穿戴至手臂,則需確保動作過程中手臂需「保持穩定」,以維持動作的一致性,然而本研究認為在評估仰臥起坐動作之身體活動量時,可將加速規穿戴至胸前避免手臂不必要的晃動,以提升評估之精準性。

競技技術分析方面,透過穿戴加速規於受試者軀

幹關節下背部中段處,可瞭解在游泳運動中三種不同反身踢壁技巧所產生的加速度越大,出發速度越快(Stamm et al., 2013)。另外預評估羽球選手於切球特性以判斷選手之優劣,可將加速規黏貼至羽球拍三通處,透過加速度閾值與時間軸比對振動頻率次數,可得知優秀選手拍體振動的時間短於次優秀選手(吳鴻志等, 2012a)。由於加速規主要利用壓電晶片,感測運動中之加速度參數,根據牛頓第二運動定律,運動中物體之加速度與所承受之外力有關,若應用在人體上可得知肢體加速度,亦反應能量消耗。再者,加速度數據經過積分運算可以推算出速度與距離,亦為加速度訊號可呈現人體動作特性的特點之一(相子元等, 2012; Kim et al., 2014; Khoshnoud et al., 2012; Vanhelst, Béghin, Turck, & Gottrand, 2011)。

綜合上述,加速規並無硬性規定穿戴的位置,主要以研究中之動作形式作為評估穿戴時的依據。從過去的相關研究中顯示,欲評估引體向上、伏地挺身、仰臥起坐、深蹲動作與競技技術之身體活動量與運動強度等,主要將加速規統一穿戴至受試者軀幹關節中斷處,而在進伏地挺身動作時,若穿戴至手臂,則需確保動作過程中軀幹保持穩定,以維持動作的一致性,在進行仰臥起坐時,建議可將加速規穿戴至胸前,避免腕關節因碰撞地面產生不必要的雜訊,以提升評估之精準性。以下整理出加速規評估身體活動量之相關研究,並提出具體的動作形式、數據判斷與分析方式和穿戴位置,如表一。

伍、結論

加速規所呈現的加速度閾值與時間軸的變化,可順利評估與監控身體活動量、運動強度與競技技術等,且與其他相關儀器所得結果具有高度相關性。數據的判斷與分析方面,多半以主要運動方向之軸向進行分析,分為一、直接將運動過程中所產生的加速度閾值進行加總或平均。二、透過動作過程中,產生的加速度閾值與時間軸進行比對。三、事先收取加速度校標,在與實際動作之加速度閾值進行比對。四、以各軸向加速度閾值與合加速度的積分值與峰值判定,並透過加速規收取主要運動方向的軸向,以選擇適合該研究之分析方式。在穿戴位置方面並無硬性規定穿戴的具體位置,主要以可維持動作的一致性為基準,建議在評估身體活動量時,欲釐清生活中身體活動、慢走、徒手肌力運動與游泳運動多半將加速規穿戴至受試者腕關節(腰部),而籃球與足球等球類運動則可穿戴至

慣用側手臂。研究人員可評估研究目的與需求，選擇適合該研究之穿戴位置與數據判斷、分析的方式，藉此提高研究效率。

表 1 以加速規評估身體活動量之動作形式、穿戴位置、數據判斷與分析方式表

作者姓名	動作形式	穿戴位置	數據判斷與分析方式
蔡琪揚等, 2019	籃球跑動運球、行進推傳及原地跳躍	四肢及軀幹	
吳鴻志等, 2012a	足球定點腳背射門	右踝、右膝、左踝、左膝、右側腰部	
Balsalobre-Fernández et al., 2016	深蹲運動	前臂伸腕肌	將加速度閾值進行加總或平均, 作為評估身體活動量之依據
Kim et al., 2014	慢走	手腕、腰部、上臂與腳踝	
Neil-Sztramko et al., 2017	跑步運動	慣用手手腕	
Nilsson et al, 2002	生活中身體活動	臀部與背部	
Nurwanto et al., 2016	仰臥起坐與伏地挺身	左手手臂	
吳鴻志等, 2012b	羽球正拍切球	羽球拍三通處	
Barnett et al., 2016	跑步運動	右側髖關節	
Barbado et al., 2018	徒手肌力運動	右側髖關節	
Park et al., 2017	走路運動	髖關節	
Phillips et al., 2013	走路與徒手等八種動作	手腕與臀部	透過加速規所呈現的加速度閾值與時間軸進行比對, 且進行加總, 以評估動作形式、身體活動量、動作時間、跳躍次數與動作次數
Stamm et al., 2013	游泳反身踢壁	下背	
Thomas et al., 2018	引體向上、伏地挺身	軀幹髖關節下背部中段處	
Vanhelst et al., 2011	生活中身體活動	髖關節	
Vanhelst et al., 2010	生活中身體活動	右側臀部	
Jarning et al., 2015	排球運動(跳躍)	軀幹髖關節下背部中段處	
Miller et al., 2010	跑步運動	右手臂	
Holme et al., 2014	久坐與身體活動	髖關節	
Rodriguez-Martin et al., 2013	行走、站立、坐、躺、站立等動作	腰部	事先收取加速度作為校標, 在與實際動作之加速度閾值進行比對, 以確認動作形式、身體活動量與次數
Verloigne et al., 2011	生活中身體活動	右側臀部	
張簡旭芳等, 2016	跑步運動	股骨大轉子上方處	以各軸向加速度閾值與合加速度的積分值與峰值判定
江宗麟等, 2018	跑步運動	右手手腕	

註：作者自行整理，並以數據判斷與分析方式加以區分

陸、參考文獻

- 江宗麟、陳著、李湘庭、吳慧君 (2018)。市售穿戴式裝置估計輕度至費力運動強度的效果與閾值。《體育學報》，51(1)，25-36。doi: 10.3966/102472972018035101003
- 吳忠霖、黃長福(2019)。使用穿戴式運動錶對國小兒童身體活動量與體適能之影響。《體育學報》，52(1)，55-70。doi:10.3966/102472972019035201005
- 吳鴻志、李金孝 (2012)。無線微機電感測器應用於羽球正拍切球之球拍振動分析。《華人運動生物力學期刊》，7，130-134。
- 吳鴻志、王嫦娥、陳璽煌 (2012)。無線微機電感測器應用於五人制足球定點腳背射門動作分析。《華人運動生物力學期刊》，7，229-233。
- 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。doi : 10.6222/pej.4501.201203.0701
- 教育部體育署(2013)。我國身體活動量 OECD 排名。臺北市：教育部。
- 張簡旭芳、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。doi : 10.3966 / 240996512016060301004
- 黃冠勛、林昀、張恩崇、相子元 (2018)。穿戴式科技應用於大專甲組女子排球選手比賽與訓練之監控。《華人運動生物力學期刊》，15(1)，30-36。doi : 10.3966/207332672018061501004
- 蔡琪揚、李逸驊、相子元 (2019)。加速規是否能判斷籃球之運動強度？《體育學報》，52(3)，319-328。doi : 10.6222/pej.201909_52(3).0004
- Barnett, A., van den Hoek, D., Barnett, D., & Cerin, E. (2016). Measuring moderate-intensity walking in older adults using the ActiGraph accelerometer. *BMC Geriatrics*, 211 (16), 1-9. doi: 10.1186/s12877-016-0380-5
- Barbado, D., Irlés-Vidal, B., Prat-Luri, A., García-Vaquero, M. P., & Vera-García, F. J. (2018). Training intensity quantification of core stability exercises based on a smartphone accelerometer. *PLOS ONE*, 13(12), 1-13. doi: 10.1371/journal.pone.0208262
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. (2016). Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1968-1974. doi : 10.1519 / JSC.0000000000001284
- Holme, I., Anderssen, S. A., Dyrstad, S. M. & Hansen, B. H. (2014). Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity. *Journal of the American College of Sports Medicine*, 46(1), 99-106. doi : 10.1249 / mss.0b013e3182a0595f
- Jarning, J. M., Mok, K. M., Hansen, B. H., & Bahr, R. (2015). Application of a tri-axial accelerometer to estimate jump frequency in volleyball. *Sports Biomechanics*, 14(1), 95-105. doi:10.1080/14763141.2015.1027950
- Kim, D. Y., Jung, Y. S., Park, R. W., & Joo, N. S. (2014). Different location of triaxial accelerometer and different energy expenditures. *Yonsei Medical Journal*, 55(4), 1145-1151. doi:10.3349/ymj.2014.55.4.1145
- Khoshnoud, F., & De Silva, C. W. (2012). Recent advances in MEMS sensor technology-mechanical applications. *Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE*, 15(2), 14-24. doi : 10.1109 / MIM.2012.6174574
- Miller, N. M., Strath, S. J., Swartz, A. M. & Cashin, S. E. (2010). Estimating absolute and relative physical activity intensity across age via accelerometry in adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 18(2), 158-170. doi : 10.1123 / japa.18.2.158
- Neil-Sztramko, S. E., Rafn, B. S., Gotay, C. C., & Campbell, K. L. (2017). Determining activity count cut-points for measurement of physical activity using the Actiwatch2 accelerometer. *Physiology & Behavior*, 173, 95-100. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.01.026
- Nilsson, A., Ekelund, U., Yngve, A., & Söström, M. (2002). Assessing physical activity among children with accelerometers using different time sampling intervals and placements. *Human Kinetics Journals*, 14(1), 87-96. doi: 10.1123/pes.14.1.87
- Nurwanto, F., Ardiyanto, I., & Wibirama, S. (2016). Light sport exercise detection based on smartwatch and smartphone using k-nearest neighbor and dynamic time warping algorithm. *2016 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Yogyakarta, Indonesia. doi : 10.1109 / ICITEED.2016.7863299
- Park, J., Ishikawa-Takata, K., Tanaka, S., & Bessyo, K. (2017). Accuracy of estimating step counts and intensity using accelerometers in older people with or without assistive devices. *Journal of Aging and Physical Activity*, 25(1), 41-50. doi : 10.1123 / japa.2015-0201
- Phillips, L. R. S., Parfitt, G., & Rowlands, A. V. (2013). Calibration of the GENE accelerometer for assessment of physical activity intensity in children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 124-128. doi: 10.1016/j.jsams.2012.05.013
- Rodriguez-Martin, Samà, A., Perez Lopez, C., Català, A., Cabestany, J., Rodriguez-Molinerob, A. (2013). SVM-based posture identification with a single waist-located triaxial accelerometer. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7203-7211. doi: 10.1016/j.eswa.2013.07.028
- Shull, P. B., Jirattigalachote, W., Hunt, M. A., Cutkosky, M. R., & Delp, S. L. (2014). Quantified self and

- human movement: A review on the clinical impact of wearable sensing and feedback for gait analysis and intervention. *Gait & Posture*, 40(1), 11-19. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.03.189
- Stamm, A., James, D. A., Burkett, B. B., Hagem, R. M., & Thiel, D. V. (2013). Determining maximum push-off velocity in swimming using accelerometers. *Procedia Engineering*, 60, 201-207. doi: 10.1016/j.proeng.2013.07.067
- Svilar, L., Castellano, J., Jukić-Kinesiology, I. (2019). Load monitoring system in top-level basketball team: Relationship between external and internal training load. *Kinesiology*, 50(1), 25-33. doi:10.26582/k.50.1.4
- Thomas, E., Bianco, A., Raia, T., Messina, G., Tabacchi, G., Bellafiore, M., ... Palma, A. (2018). Relationship between velocity and muscular endurance of the upper body. *Human Movement Science*, 60, 175-182. doi: 10.1016/j.humov.2018.06.008
- Vanhelst, J., Béghin, L., Turck, D., & Gottrand, F. (2011). New validated thresholds for various intensities of physical activity in adolescents using the actigraph accelerometer. *International Journal of Rehabilitation Research*, 34(2), 175-177. doi:10.1097 / mrr.0b013e328340129e
- 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. doi:10.1080/02640410903502790
- Verloigne, M., lippevelde, W. V., Maes, L., Yildirim, M., Chinapaw, M., Manios, Y., ... Bourdeaudhuij, I. D. (2011). Levels of physical activity and sedentary time among 10- to 12-year-old boys and girls across 5 european countries using accelerometers: an observational study within the energy-project. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 34(9), 1-8. doi: 10.1186 / 1479-5868-9-34
- Wang, R., Hoffman, J. R., Sadres, E., Bartolomei, S., Muddle, T. W. D., Fukuda, D. H., & Stout, J. R. (2017). Evaluating upper-body strength and power from a single test: the ballistic push-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1338-1345. doi : 10.1519 / JSC.0000000000001832



Investigate the method and application of three-axis accelerometer for assessing physical activity

^{1,2}Yi-Yang Chen, ^{3,4}Sha Liwa, ^{2,5}Wen-Hsin Chiu*

¹National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

²Center for Sport Technology, National Tsing Hua University, Hsinchu City, Taiwan

³Jilin Sport University, Changchun, China

⁴Department of Educational Administration and Management, National Dong Hwa University, Hualien

⁵Department of kinesiology, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

Received : 2019/02 ; Accepted : 2020/03

ABSTRACT

Accelerometer uses to assess physical activity and exercise intensity. However, the assessment accuracy is highly associated with its wearing position. Thus, understanding the relationship between wearing position and signal quality of the accelerometer will shed light on assessing varied physical activities and potential research scenarios. Referring to a substantial amount of previous studies' empirical data, we propose an effective approach in determining the ideal sensor's wearing positions for acquiring valid signals for the body movement assessment. The wearable-device sensors are primarily positioned on the hip and secondarily positioned on the upper arm. Four steps are dealing with signal processing. Step 1 is to integrate the averaged acceleration signals at a given period of the physical movement, step 2 is to match the above signals with the time axis, step 3 is to calibrate the signal and set a threshold to analog to start or end of the movement, and step 4 is to evaluate all directional signals. Based on the processed signal, threshold and directional information, investigators can effectively assess the wearer's physical activity, exercise intensity, and even movement skills. Wearable device positioned in the waist or hip was found to be more effective in the detection of jogging, swimming, and free-weight muscle-strengthening exercise. However, for basketball and football, the assessment would be more effective if the wearable device is positioned on the dominant side's arm. In summary, the position of the wearable device and signal processing needs to be relatively considered to validly assess physical activities and movement characteristics.

Keywords: inertial measurement sensor, wearable technology, monitor, quantify

*Corresponding author: Wen-Hsin Chiu, Department of Physical Education, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan.

Address: 521, Nan-da road, Hsinchu Taiwan.

E-mail: whchiu@mx.nthu.edu.tw