

跑步機與地面跑步時下肢肌肉活化程度之比較

Comparison of Muscle Activation of Lower Extremities between Treadmill and Ground Running

¹柯柏任 Bo-Jen Ko ¹黃長福 Chen-Fu Huang ²許太彥 Tai-Yen Hsu ¹張博涵 Po-Han Chang ¹楊子享 Tzu-Hsiang Yang

¹國立臺灣師範大學體育學系 Department of Physical Education, National Taiwan Normal University

²國立臺中教育大學體育學系 Department of Physical Education, National Taichung University of Education

投稿日期：2016 年 3 月；通過日期：2016 年 6 月

摘 要

目的：由於跑步機與實際地面跑步的耗氧量測驗中，發現在相同速率與距離下使用跑步機的選手所需耗氧量會比在實際地面上跑步的選手減少 10 % 左右，以及研究指出在相同步頻條件下的擺動期時，膝關節在地面測驗相較於跑步機測驗中，有較大的彎曲姿勢及較快的伸展角速度，所以跑步機應視為一種新型態的運動，故本研究目的為探討健康男性下肢積分肌電 (IEMG) 在跑步機與地面上跑步的差異。方法：本研究以體育學系學生 8 名作為研究對象，平均年齡 23.16 ± 3.21 歲，平均身高 173.38 ± 6.39 公分，平均體重 72.14 ± 7.48 公斤。使用 BTS Bioengineering PocketEMG 收集步態的肌電訊號，處理資料時，根據 Footswitch 判斷出步態週期，截取出每個測驗中右足完成一個支撐期與著地期周期的 IEMG 值，統計方法使用無母數 wilcoxon 符號等級檢定，顯著水準訂為 $\alpha=.05$ 。結論：股直肌於支撐期時，在跑步機與地面間的肌肉活化程度具有顯著差異，可能為跑步機需要較大的膝關節穩定性所致；而研究中如要將跑步機研究結果推估至地面上實際狀況時，在研究結論的推估上務必十分審慎。

關鍵字：肌電、擺動期、支撐期、股直肌

壹、緒論

因跑步機相較於地面易於控制跑速的緣故，在各式負重行走、步態以及運動表現的實驗中常被用來做為代替地面行走的實驗工具，如運動選手在增補多重菸鹼酸鉻複合物與含鉻能量糖後，在最大攝氧量與運動衰竭時間之有氧運動表現、平均動力輸出與最大動力輸出之無氧運動表現上的差異(陳厚諭、林立山、范姜逸敏、王鶴森, 2015)，以及探討在不同跑步速率下，跑鞋鞋底磨損程度對著地期踝關節外翻角度變化的影響(蔣至杰、王金成, 1999) 等研究。然而在測定跑步機與實際地面跑步的耗氧量測驗中，發現在相同速率與距離下使用跑步機的選手所需耗氧量會比在實際地面上跑步的選手減少 10 % 左右 (Pugh, 1970)，基於在看似相同的跑步姿勢下，但是耗氧量確有差異；徐婉靜、邱靖華與王金成 (1991) 的研究指出在相同步頻條件下的擺動期運動學參數中，膝關節在地面測驗相較於跑步機測驗中，有較大的彎曲姿勢及較快的伸展角速度，而 Wank, Frick, and Schmidtbleicher (1998) 研究中也指出，受試者以相同的速率在跑步機與地面

上跑步時，跑步機步態相較於地面步態會有較短的步長與較高的步頻；因此 Nigg, De Boer, and Fisher (1995) 指出，利用在跑步機上所得到的實驗結果，可能不足以推估至地面實驗，因此跑步機應視為一種新型態的運動，其運動模式顯然要重新建立(張雅涵, 2011)。

在過去比較跑步機與地面步態差異的文獻中，有研究在受試者內皆採用固定的步態速率做為施測速率(Murray, Spurr, Sepic, Gardner, & Mollinger, 1985; Wank et al., 1998)，但也有研究採用受試者自己選擇的步態速率(Lee & Hidler, 2008; Nymark, Balmer, Melis, Lemaire, & Millar, 2005)，且上述研究雖針對下肢進行肌電訊號的探討，但研究方向為走路步態；Riley et al. (2008)的研究方法中，選擇受試者可以穩定跑 10 公里的跑步速率，但探討內容只限於運動學及動力學，Wank et al. (1998)等學者雖然探討了跑步機與地面跑步步態在下肢肌電訊號上的差異，卻把施測速度固定為 4m/s 與 6m/s；綜合以上文獻可知，在利用自選速率比較跑步機與地面跑步步態，下肢肌肉活化程度方

*通訊作者：許太彥 Email : seabook8080@gmail.com

面的研究非常缺乏，因此本研究欲從受試者自選速率的觀點，來探討人體在跑步機跑步與在實際地面上跑步步態，右側下肢臀大肌 (Gluteus maximus)、股直肌 (Rectus femoris)、股二頭肌 (Biceps femoris)、脛前肌 (Tibialis anterior)、內側腓腸肌 (Medial gastrocnemius) 與外側腓腸肌 (Lateral gastrocnemius) 的肌肉活化情況是否有所差異。

貳、研究方法

本研究旨為探討在個人喜愛的跑速下 (Preferred running speed, PRS) (Jordan, Challis, & Newell, 2007)，即非快速衝刺而是可穩定跑一段時間的速率；其健康成年男性在跑步機與地面上右側臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌分別在擺動期與支撐期的下肢積分肌電訊號 (Integrated electromyography, IEMG) 差異。

一、研究對象

受測者為 8 名體育系男性大學生，身心健康狀況良好，平均身高為 173.38 ± 6.39 公分，平均體重 72.14 ± 7.48 公斤，平均年齡 23.16 ± 3.21 歲，受測者皆精熟跑步機的操作與在跑步機上的跑步動作，且為避免實驗誤差，受測者須在一年內上下肢與身體無任何運動傷害且無開刀記錄，為減少身體狀況對 EMG 數值的影響，實驗前一天要求受測者需要至少八小時的睡眠時間。

二、研究器材

本次研究中所使用的主要研究設備，依應用方法區分為儀器與軟體二部份：

1. 儀器

- (1) 百米分段計時器一組 (SPM 100, YOU-SHANG, Taiwan)
- (2) 工作站電腦 (Workstation) 一部 (Smart-D, BTS, Italy)
- (3) 無線傳輸介面表面肌電儀 (PocketEMG) 一套，內有六組表面肌電訊號感應套件與兩組足底開關 (Footswitch) 組件，Footswitch 中含六個足底感應電極 (PocketEMG, BTS, Italy)
- (4) 跑步機一部 (T7000, Johnson, Taiwan)
- (5) 無線網路橋接器 (Access Point) 一組 (RT-N12, ASUS, Taiwan)
- (6) 肌肉電極貼片數個 (Ambu, Blue Sensor P, Denmark)

(7) 除毛刀、棉花、酒精

(8) ELITE ANTI-BLISTER LOW-CUT TAB 厚底跑步襪襪數雙 (SX4473-001, NIKE, USA)

2. 軟體

- (1) Myolab-2.9.113.0
- (2) SPSS-20.0
- (3) Microsoft Office Excel 2007

三、場地佈置與流程

為確保每位受測者的肌電貼片在身上位置相同，因此採用交替施測場地的實驗設計，即同一受測者一次做完跑步機與地面跑走的測驗，可避免避免肌電貼片在兩測驗中位置相異所造成的誤差；地面測驗為健身房 PU 地面，跑步機也在同一健身房，用冷氣調控室溫為 28 度，可確保實驗環境一致，避免溫度與濕度影響肌電表現，且因本研究採用 footswitch 進行足部著地與否的判斷依據，經實測如裸足進行實驗，會有 footswitch 損壞的風險，如穿著跑鞋則會有感應器未做動之問題，且為避免穿著不同運動鞋所造成的實驗誤差，故要求受測者以穿著厚底襪的方式來進行實驗；因實驗採用 PU 地面與厚底襪，因此實驗結果可能無法推估至其他地面種類與鞋類，此為本研究限制。

1. 器材架設

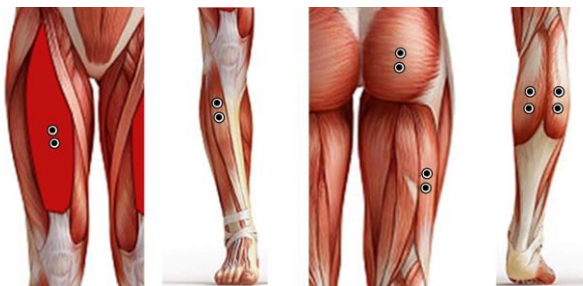
- (1) 利用除毛刀刮除在欲施測部位的毛髮，而後用酒精擦至皮膚泛紅為止。
- (2) 分別在右側臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌、外側腓腸肌的肌腹貼上肌電貼片 (如圖一)，兩電極貼片約相距一公分，並裝置擷取電極端，擷取頻率為 1000 Hz。
- (3) 各在左右足底部份貼上三個 Footswitch 足底感應電極，作用為感應足底各部位接觸地面與否，也為本實驗在整個步態週期中區分支撐期 (右足足跟接觸地面至右足球部離地為止，stand phase) 與擺動期 (右足球部離地至足跟接觸地面為止，swing phase) 分段時間的依據，其黏貼的位置依序為足底的球部、足中部及足跟部 (如圖二)。
- (4) 利用 Myolab 軟體連接 PocketEMG 與 Workstation。

2. 場地佈置

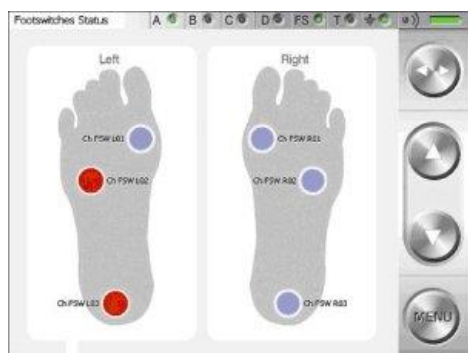
(1) 實際地面測驗

在實驗地點架設兩具百米分段計時器，兩具之間隔為 3 公尺，兩組分段計時器距離為 3 公尺，符合原廠建議組與組之間需大於 1.1 公尺的規定；並在另一

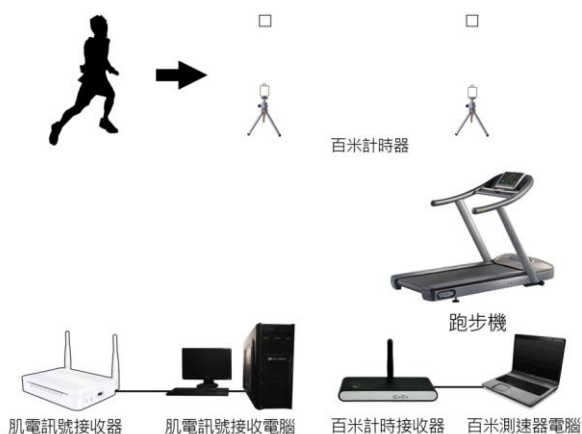
施測場地架設跑步機，於跑步機下方放置鋼板，以求跑步機跑帶維持水平。



圖一、肌電黏貼位置示意圖



圖二、Footswitch 黏貼位置示意圖



圖三、測驗場地佈置圖

四、實驗步驟

在正式實驗開始前先請受試者至操場跑道進行充分熱身，接著請受試者繞操場進行跑步，跑速為自身感覺可以穩定長時間跑步的速率，待受試者自覺跑速穩定後，即利用百米測速器起始測量受試者最喜愛的跑速，全程受試者皆繞著操場跑步，待第三次通過百

米測速器後，即完成 PRS 的資料收集，三次數值平均後定為受試者的受測 PRS。之後佈置地面測驗場地，待受測者到達且熱身完畢後，請工作人員測量並記錄其身高、體重與年齡等基本資料，接著請受測者除去運動鞋，並在受測者的臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌的肌腹上黏貼肌電貼片，以及在雙腳腳底黏貼 Footswitch 貼片，而後穿上厚底襪，待測試過各肌電貼片與 Footswitch 訊號後，即開始正式地面測驗。

實驗開始時，先請受測者站在離第一組百米分段計時器十五公尺處準備，工作人員先說「預備」，過二~三秒後即說「開始」，受測者聞「開始」口令後，即起始跑步動作，Workstation 也起始記錄資料，待通過百米分段計時器後，程式會顯示區段速率，即完成此位受測者一次地面測驗流程，在地面測驗中受試者的跑速須符合自身一開始測驗的 PRS，速率誤差控制在 0.01m/s 以下，如未達目標跑速視為失敗資料，會請受試者受再跑一次，直至達到目標跑速 $\pm 0.01\text{m/s}$ 才視為成功資料，重複收集三次成功資料後即完成地面測驗。

待休息十分鐘後會請受測者移至跑步機測驗場地，請受測者依照正常跑步機啟動程序啟動跑步機，並告知其自身在地面實驗時所測得的速率，並請受測者把跑步機的刻度調整至該速率，待步態動作穩定後即進行資料擷取，收集資料長度為 20 秒，此即完成一位受測者的實驗過程，其中跑步機面板刻度速率為不同受測者在自身進行實驗時，依據實驗操作者在旁告知刻度自行進行操作，在達到自身的 PRS 與穩定的跑速之後才起始收集資料，成功收集三次資料後即完成跑步機測驗。

五、分析方法

肌電圖頻率分佈的範圍在 0Hz ~ 500Hz，其中又以 50Hz ~ 150Hz 為最主要的分部區域，因此依照奈奎斯特取樣定理(Nyquist Sampling Theorem)，若要運算或是處理肌電圖訊號則取樣頻率需為 1000Hz 以上，又肌電圖具有高度非線性與模糊性，使得在 EMG 訊號的分析方面有著一定困難度 (Kiguchi, Tanaka, & Fukuda, 2004)，因此在處理 EMG 資料時須格外謹慎，本研究利用時間積分來處理 EMG 訊號，並對訊號資料進行標準化後，依實驗需求將一個步態週期的 EMG 訊號區分為支撐期與擺動期來做個別分析，因過去研究多利用整個步態週期來做分析(Riley et al., 2008;

Wank et al., 1998), 其研究儀器皆未採用 footswitch 來輔助分析, 又步態週期常被分類為支撐期與擺動期 (Nene, Mayagoitia, & Veltink, 1999), 因本研究可利用 footswitch 來定位出步態週期中的支撐期與擺動期, 因此可更進一步探討肌肉活化程度在支撐期與擺動期的差異為何。

在資料處理上使用 Myolab 軟體先分析 Footswitch 套件訊號, 以定位出右側下肢擺動期與支撐期的時間軸, 而後再依此時間軸來分析一個右足跨步周期在臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌的肌電訊號, 其原始信號經高通濾波 (Cut off frequency = 20) 與低通濾波 (Cut off frequency = 500) 的濾波訊號處理, 利用整流 (rectifying) 把濾波過後的肌電訊號翻正, 再經過積分 (integration) 處理, 可得各肌肉的積分肌電值 (IEMG), 而後使用 Footswitch 所收集的步態分段時間除 IEMG 值, 得到支撐期或擺動期時間內的平均 IEMG 值, 並以跑步機測驗動作週期中最大肌電值進行標準化處理 (姚明光, 2013); 統計使用 SPSS 20.0 版 for Windows 統計套裝軟體來進行統計分析, 並使用 Microsoft Office Excel 2007 套裝軟體進行數據的運算、記錄與儲存, 以無母數 wilcoxon 符號等級檢定, 顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果與討論

Tseh (2000) 指出當行進速率達到 2 m/s 至 2.14 m/s 之間時, 成人的運動型態會由行走轉換為跑步, 而在本研究中所依據的跑步速率為個人喜愛的跑速 (PRS), 在實驗過程中從各受測者跑步時所擷取到的速率如表一, 表一顯示每位受測者的 PRS 皆大於 2.14m/s, 並配合實驗操縱者的觀察, 可判斷出所擷取的受測者的動作資料符合實驗所需的跑步動作模式。而在下肢肌肉的活化程度方面, 以下分為支撐期與擺動期來探討。

一、支撐期

經無母數 wilcoxon 符號等級檢定分析結果發現, 臀大肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌在地面與跑步機之間的 IEMG 皆未達顯著差異水準, 僅有股直肌在地面與跑步機之間的肌肉活化程度達到統計上的顯著差異 ($p < .05$), 統計結果摘要如表二。

統計結果顯示臀大肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌, 在地面測驗與跑步機測驗中均未達顯著差異, 可以推論臀大肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌在地面與跑步機之間的肌肉

活化程度是相類似的, 而股直肌在地面與跑步機之間的肌肉活化程度達到顯著差異, 且經表 2 中可明顯得知股直肌在跑步機上的肌肉活化程度大於地面測驗。股直肌與股外側肌 (Vastus lateralis) 和股內側肌 (Vastus medialis) 以及股中間肌 (Vastus intermedius) 合稱股四頭肌, 四條肌肉的起端為從髌骨前下棘, 中間與髌韌帶相連, 最後止於脛骨結節粗隆, 為膝蓋主要伸肌, 其中股直肌收縮時主要功能為伸展小腿與屈曲大腿 (胡明一、陳懿慧、謝慧瑛、孫穆乾, 2008), 而在跑步步態的支撐期中, 大腿的動作型態為屈曲至伸展, 小腿的動作型態也是由屈曲至伸展, 因此可得知在支撐期中, 股直肌處於離心收縮的狀態, Vigotsky et al. (2015) 指出在膝關節屈曲時, 股直肌的收縮可以對抗重力, 維持膝關節的穩定性; 而在本研究中, 跑步機跑步時的股直肌肌肉活化程度大於地面跑步, 顯示出在跑步機上跑步時膝關節可能需要較大的股直肌肌肉活化程度。

二、擺動期

在擺動期方面, 經過無母數 wilcoxon 符號等級檢定分析結果顯示, 臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌地面與跑步機之間皆未達顯著差異水準, 統計結果摘要呈現於表三。

依統計結果可以得知臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌在地面與跑步機之間的肌肉活化程度皆未達顯著差異, 因此其肌肉的活化程度可能為相類似, 初步可得知在一個步態周期的擺動過程中, 下肢各肌肉的收縮型態有趨於一致的結果, 故推論不論是在跑步機上或是地面上, 在擺動期方面兩者可能表現出相似的肌肉活化程度型態。

綜合支撐期與擺動期的結果可知, 本研究中所量測的臀大肌、股直肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌, 僅有股直肌在擺動期時的肌肉活化程度表現出差異, 因此除股直肌外, 在相同的速率條件下, 在跑步機上跑步與在地面上跑步, 本研究所量測的肌群, 其肌肉活化程度可能是相類似的, 過去類似的研究指出, 下肢肌電的收縮模式在跑步機與地面跑步步態皆是相類似的 (Wank et al., 1998), 該結果與本研究結果不一致, 可能原因為先前研究並未對步態週期分期與採用固定速率的測驗結果; 而在支撐期的股直肌活化程度為跑步機測驗大於地面測驗, 可能顯示出跑步機測驗的膝關節可能需要較大的關節穩定性, 過去相關研究指出在跑步機行走比起在地面上行走膝關節有較差的穩定性, 膝關節的角位移波動範圍為平

地上行走的 2~3 倍以上(趙凌燕、黃守剛、隋立明、李金, 2015), 過去研究也指出在膝關節屈曲時, 股直肌的收縮可以對抗重力, 維持膝關節的穩定性(安利群、張進剛、石明國、趙繼鋼, 2006), 對照本研究結果, 股直肌在跑步機的支撐期有較大肌肉活化程度, 可能是為了因應在跑步機上膝關節有較差的穩定性, 所產生的策略結果, 換言之, 因為在跑步機上的膝關節較

不穩定, 因此可能需要股直肌有較大的肌肉活化程度來穩定膝關節, 此結果也顯示相同路率條件下, 在地面上跑步與在跑步機上跑步可能為不同的運動模式(張雅涵, 2011), 過去研究也指出跑步機上所得到的實驗結果, 可能不足以推估至地面實驗(Nigg et al., 1995), 因此在研究中如使用跑步機測驗結果來推估地面測驗的效果可能會產生些微誤差。

表一、受測者 PRS 摘要表

受測者編號	1	2	3	4	5	6	7	8	Mean±SD
速率 (m/s)	2.60	2.40	3.18	2.46	2.67	2.77	2.47	2.30	2.61±0.28

表二、支撐期下肢肌群 IEMG 分析統計摘要表

支撐期	地面		跑步機		z 值	P	ES
	M	SD	M	SD			
臀大肌 (%)	22.18	3.97	22.76	4.80	-0.42	0.674	0.131
股直肌 (%)	22.53	5.39	26.52	4.40	-2.10	0.036*	0.803
股二頭肌 (%)	25.59	6.21	25.59	7.36	-0.14	0.889	0.000
脛前肌 (%)	30.66	13.66	25.40	4.70	-1.12	0.263	0.438
內側腓腸肌 (%)	23.50	8.40	27.83	4.76	-1.40	0.161	0.593
外側腓腸肌 (%)	23.23	5.67	26.28	4.23	-1.12	0.263	0.597

註：*代表統計達顯著差異 ($p < .05$)。

表三、擺動期下肢肌群 IEMG 分析統計摘要表

擺動期	地面		跑步機		z 值	P	ES
	M	SD	M	SD			
臀大肌 (%)	20.89	7.15	17.48	3.35	-0.560	0.575	0.550
股直肌 (%)	20.21	5.39	17.20	5.69	-1.680	0.093	0.543
股二頭肌 (%)	21.68	4.93	21.40	4.98	-0.140	0.889	0.057
脛前肌 (%)	27.08	5.31	29.42	5.21	-0.700	0.484	0.445
內側腓腸肌 (%)	15.25	4.27	21.37	10.12	-1.120	0.263	0.695
外側腓腸肌 (%)	17.73	6.55	12.99	4.30	-1.680	0.093	0.822

註：*代表統計達顯著差異 ($p < .05$)。

肆、結論與建議

根據實驗結果本研究初步發現雖然在相同速率條件下, 臀大肌、股二頭肌、脛前肌、內側腓腸肌與外側腓腸肌不論是在支撐期或擺動期的肌肉活化程度皆未達顯著差異, 而股直肌於支撐期時, 在跑步機與地面間的肌肉活化程度具有顯著差異, 所以在地面上跑步與在跑步機上跑步可能為不同的運動模式, 故在研究中如要將跑步機研究結果推估至地面上實際狀況時, 在研究結論的推論上可能需要十分謹慎。

伍、參考文獻

- 安利群、張進剛、石明國、趙繼鋼 (2006)。加強股四頭肌鍛煉治療早、中期膝關節骨性關節炎。中華現代外科學雜誌 2(22)。
- 胡明一、陳懿慧、謝慧瑛、孫穆乾 (2008)。人體解剖學。臺北市:藝軒。
- 姚明光 (2013)。穿著負跟鞋下斜坡動作對步態表現之影響。未出版碩士論文, 國立臺北教育大學, 台北市。
- 徐婉靜、邱靖華、王金成 (1991)。地面上與原地跑步機上的二度空間步態比較。體育學報(13), 211-221。

- 張雅涵 (2011)。跑步機上跑步之足部運動學分析。未出版碩士論文，國立成功大學，台南市。
- 陳厚諭、林立山、范姜逸敏、王鶴森 (2015)。增補含銘能量糖對有氧及無氧運動表現的影響。運動表現期刊，2(1)，18-24。
- 趙凌燕、黃守剛、隋立明、李金 (2015)。跑步機上行走與平地行走膝關節運動差異性研究。哈爾濱工程大學學報，1259-1263。
- 蔣至杰、王金成 (1999)。跑鞋鞋底磨損程度與跑步速度對踝關節外翻角度之影響。體育學報(27)，117-126。
- Herman, T., Giladi, N., Gruendlinger, L., & Hausdorff, J. (2007). Six weeks of intensive treadmill training improves gait and quality of life in patients with parkinson's disease: a pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(9), 1154-1158.
- Jordan, K., Challis, J. H., & Newell, K. M. (2007). Walking speed influences on gait cycle variability. *Gait & Posture*, 26(1), 128-134.
- Kiguchi, K., Tanaka, T., & Fukuda, T. (2004). Neuro-fuzzy control of a robotic exoskeleton with EMG signals. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12(4), 481-490.
- Lee, S. J., & Hidler, J. (2008). Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of Applied Physiology*, 104(3), 747-755. doi:10.1152/jappphysiol.01380.2006
- Murray, M. P., Spurr, G. B., Sepic, S. B., Gardner, G. M., & Mollinger, L. A. (1985). Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *Journal of Applied Physiology*, 59(1), 87-91.
- Nene, A., Mayagoitia, R., & Veltink, P. (1999). Assessment of rectus femoris function during initial swing phase. *Gait Posture*, 9(1), 1-9.
- Nigg, B. M., De Boer, R. W., & Fisher, V. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 98-105.
- Nymark, J. R., Balmer, S. J., Melis, E. H., Lemaire, E. D., & Millar, S. (2005). Electromyographic and kinematic nondisabled gait differences at extremely slow overground and treadmill walking speeds. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42(4), 523-534.
- Pugh, L. G. C. E. (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *The Journal of Physiology*, 207(3), 823-835.
- Roper, J. A., Bressel, E., & Tillman, M. D. (2013). Acute aquatic treadmill exercise improves gait and pain in people with knee osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(3), 419-425.
- Riley, P. O., Dicharry, J., Franz, J., Della Croce, U., Wilder, R. P., & Kerrigan, D. C. (2008). A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1093-1100. doi:10.1249/MSS.0b013.e3181677530
- Rodgers, M., Forrester, L., Patterson, S., & Macko, R. (2006). Biomechanical correlates to aerobic treadmill training in individuals with chronic stroke. *Journal of Biomechanics*, 39, 171.
- Tseh, W. (2000). Factors influencing gait transition in adolescents. The University of North Carolina at Greensboro.
- Watt, J. R., Franz, J. R., Jackson, K., Dicharry, J., Riley, P. O., & Kerrigan, D. C. (2010). A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Clinical Biomechanics*, 25(5), 444-449.
- Wank, V., Frick, U., & Schmidtbleicher, D. (1998). Kinematics and electromyography of lower limb muscles in overground and treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 455-461. doi:10.1055/s-2007-971944