

田徑 400 公尺配速對成績、分段速度和血乳酸的影響

林智偉¹、張立羣¹、梁澤敬²

¹國立臺灣體育運動大學競技運動學系

²國家運動訓練中心

摘要

目的：探討兩種配速方式對於田徑 400 公尺成績、分段速度和血乳酸濃度的影響。**方法：**以田徑 400 公尺短跑男性運動員 5 名大專生和 3 名高中生為研究對象，最佳比賽成績平均為 49.12 ± 1.31 秒，每位參與者接受 200 公尺最大努力 (200_{MAX}) 測驗，400 公尺配速訓練以 200_{MAX} 成績的 93% 配速進行訓練，即 200_{MAX} 93% 配速，以及採用自覺配速和 200_{MAX} 93% 配速策略的 400 公尺測驗，收集 400 公尺成績、分段時間、分段速度和 400 公尺測驗後的最大血乳酸值。**結果：**參與者在 200_{MAX} 93% 配速策略使用 $93.5\% \pm 0.8\%$ 跑前 200 公尺，而自覺配速則採用 $93.1\% \pm 2.3\%$ 跑前 200 公尺，兩種配速策略未達顯著差異，而兩種配速策略在 400 公尺成績、分段時間、前後 200 公尺分段時間差距，以及 400 公尺測驗後的最大乳酸值也未達顯著差異。**結論：**雖然兩種配速策略並無顯著差異，從運動員的 400 公尺成績和分段速度結果可以瞭解，400 公尺的配速策略仍是十分重要，運動員因從平時訓練中找到適合自己的配速策略。

關鍵字：短跑、配速策略、生物力學、血乳酸

壹、緒論

田徑 400 公尺屬於短跑項目之一，運動員需要有優異的爆發力（在短時間加速能力）、高頻率和步幅的展現，主要的表現在於最大速度的衝刺能力，運動員同時也需要速度耐力和應付過程中所會產生大量乳酸堆積的能力，來維持比賽過程中高速度的持續時間，減少速度遞減的發生。Nummela 與 Rusko (1995) 研究發現 400 公尺跑在有氧與無氧能量供應比例分別為 37%-46% 與 54-63%，而 Hill (1999) 研究也發現相似的有氧與無氧能量供應比例為 37%-38% 與 62%-63%，這顯示田徑 400 公尺運動項目主要是無氧系統的能量供應，也需要有氧系統。

以生理學角度來看，若要維持高強度肌肉收縮與高速度續航力的無氧運動，唯有提昇 ATP 與 PCr (磷酸肌酸) 在細胞溶質內再組成速度 (Cairns, 2006)。而在無氧運動的情況下，體內的碳水化合物無法在完全分解的情況下提供能量來重新合成 ATP 做無氧能量上的供應。因此可以在無氧運動中，借助乳酸系統來產生能量供肌肉活動的主要能量，郭子淵 (2001) 指出在一定時間內，隨運動強度增大，乳酸的產生則會增高，在乳酸系統的能量供應上所產生的乳酸代謝物質，導致肌肉酸痛的發生，也是影響到運動表現的因素，當乳酸代謝積累到達運動員的一個上限 (乳酸閾值)，運動員會因為肌肉疲勞痠痛感而降低運動能力 (Holloszy, 1982)。因此，如何去維持 400 公尺項目高速度且延緩速度減退，在比賽過程中的速度分配與運用是非常重要的。

在 400 公尺配速策略的研究發現，世界級、國家級與地區級運動員使用的配速策略會有所不同，在世界級男、女運動員使用個人最佳 200 公尺時間的 96% 以上的配速策略來執行前 200 公尺跑步，而男子國家級與地區級運動員分別使用 94.44% 及 93.89% 的配速策略，女子則分別使用 95.72% 及 93.77% 配速策略 (Gajer, Hanon, & Thepaut-Mathieu, 2007; Hanon & Gajer, 2009)。另一篇研究以 8 位體育專業學生為研究對象，進行 3 種配速的 400 公尺測驗，分別為個人最佳 200 公尺時間的 93%、95% 及 98% 配速，研究結果發現參與者在使用 93% 配速策略的成績表現最好 (Saraslanidis, Panoutsakopoulos, Tsalis, & Kyprianou, 2011)；在 400 公尺跑可分為「耐力型」及「速度型」兩種類型的運動員 (Hart, 2000)，一般「耐力型」運動員使用較慢的前 200 公尺速度跑 (約 200m 最快速度的 90%~93%) 來儲備後段的速度能力，減緩速度上的遞減，而另一種運動員則使用較快的前 200

公尺速度跑 (約 200max 95%~98%) 將快的速度節奏發生於前半段，隨之後半段盡可能的維持速度 (楊國華，2002)，這兩種類型運動員採用的配速策略，過去均有成功的案例出現 (Hart, 2000)。

目前 400 公尺配速策略研究文獻中，均有不同配速策略的成功案例，又以世界級運動員所採用的 96% 以上的配速策略較多，但也有研究結果發現地區級運動員大多使用 93% 配速策略，也有研究提到運動員使用 93% 配速策略在成績表現上是最好的，而我國 400 公尺運動員採用何種配速策略並未有相關研究，研究文獻中提到地區級運動員大多使用 200_{MAX} 93% 的前 200 公尺配速策略，該研究地區級運動員 400 公尺成績平均 48.24 ± 0.31 秒 (Gajer et al., 2007)，此成績和目前我國 400 公尺運動員成績相似，因此本研究設計讓參與者使用 200_{MAX} 93% 配速與參與者的自覺配速進行研究。

本研究目的在探討田徑 400 公尺運動員使用最佳 200 公尺成績的 93% 配速以及自覺配速策略，對 400 公尺成績、分段速度以及在 400 公尺測驗後的最大血乳酸值的變化。本研究假設運動員採用最佳 200 公尺成績的 93% 配速策略，有助於提升運動員成績表現。

貳、方法

一、研究對象

本研究招募 8 名田徑 400 公尺短跑男性運動員為研究對象，其中大專生 5 名，高中生 3 名，平均年齡為 20.88 ± 3 歲，身高 178.13 ± 6.6 公分，體重 65.13 ± 7.59 公斤，最佳比賽成績為 49.12 ± 1.31 秒。每位參與者接受田徑專門訓練皆達 3 年以上，並參加過全國性田徑賽事，在實驗前 6 週內無骨骼肌肉傷害。在正式實驗前跟參與者和他的教練進行溝通討論，說明實驗的目的、內容與注意事項，以確保每位參與者能全力配合實驗，在詳細說明實驗流程後，請參與者填寫「參與者基本資料」與「研究參與者同意書」，本研究經國立中正大學人類研究倫理審查委員會審查通過。

二、實驗步驟

本研究分三個部分進行，一、200 公尺最大努力測驗，二、400 公尺配速訓練，三、不同配速 400 公尺測驗。

(一)200 公尺最大努力測驗

參與者首先進行 200 公尺最大努力 (以 200_{MAX} 表示) 測驗,在標準 400 公尺田徑場的第 4 跑道進行,在起跑線與 200 公尺位置的前方 1 公尺處各架設 1 組分段計時系統 (Brower TC Timing Systems) 來測量跑步時間。測驗安排在下午 2 點進行,每位參與者於測驗前依個人以往賽前慣用的方式進行熱身活動,待參與者自覺已準備好接受激烈運動為止,測驗程序依田徑 200 公尺比賽的形式進行,測驗的時間作為本研究最佳 200 公尺成績的 93%配速 (以 $200_{MAX} 93%$ 配速表示) 策略的秒數換算依據。

(二)400 公尺配速訓練

在 200 公尺最大努力測驗結束後的隔週,參與者接受為期 2 週每週 2 天的最佳 200 公尺成績的 93%配速策略課程訓練,訓練目的為了正式測驗時參與者能跑出所要求的配速時間,每次訓練間隔 3 天,每次訓練 3 趟,每趟休息 15 分鐘,讓參與者自我習慣所要求的配速策略,每位參與者於訓練前依個人以往賽前習慣方式進行熱身活動,在訓練過程中研究人員與參與者會做回饋與討論。

(三)不同配速 400 公尺測驗

在配速訓練課程結束後的隔週進行 400 公尺測驗,參與者接受自覺配速和最佳 200 公尺成績的 93%配速的 400 公尺測驗,每位參與者採用隨機分配的方式決定兩種配速測驗順序,測驗分 2 天進行,兩次測驗間隔為 4 天。測驗在標準 400 公尺田徑場的第 4 跑道進行。在起跑線、100 公尺、200 公尺、300 公尺及 400 公尺 (終點) 位置的前方 1 公尺處各架設 1 組分段計時系統來測量個分段時間;參與者於測驗前依個人以往賽前習慣方式進行熱身活動;在自覺配速的 400 公尺測驗要求參與者全程依照個人習慣的配速策略完成;而最佳 200 公尺成績的 93%配速則要求參與者在前 200 公尺使用最佳 200 公尺成績的 93%時間進行配速 (參與者測驗時的前 200 公尺時間必須介於最佳 200 公尺成績的 92%至 94%之間,才納入本研究分析數據),當身體軀幹通過 200 公尺處的分段計時系統後,參與者將盡最大努力完成後面 200 公尺,測驗前研究人員將與每位參與者口頭鼓勵,能在測驗時專注於兩週課程訓練時跑的節奏感,而研究人員也會於 100 公尺處以口頭提示秒數,並鼓勵參與者全力完成。以分段計時系統收集參與者採用兩種配速策略跑步的各分段時間,並計算前後 200 公尺的分段時間差距,利用已知分段計時器之間的距離和測驗結果的分段時間,進一步計算其平

均速度，即平均速度等於分段距離除以分段時間。而在兩種配速 400 公尺測驗結束後的第 3、5、7 和 9 分鐘時進行血乳酸檢測，使用簡易式血乳酸測試儀器 (LactatePro™^{TM2} LT-1730)，以血乳酸測試儀器試紙 (LactatePro™^{TM2} test strip)，採集參與者微量的指尖血液 ($2.2 \text{ mmol/L} \pm 0.07 \text{ mmol/L}$) 作為檢測血乳酸濃度的樣本，之後將試紙放入簡易式血乳酸測試儀器進行數據採集。

三、資料處理

利用 SPSS for windows 12.0 統計軟體進行分析。首先將全體參與者所蒐集的 400 公尺成績、分段時間、分段速度和測驗後的最大血乳酸值計算平均數與標準差；以重複量數單因子變異數分析比較 200_{MAX} 時間和平均速度、200_{MAX} 93% 配速及自覺配速的前 200 公尺時間和平均速度的差異，若達顯著差異以 LSD 進行事後比較；以重複量數二因子變異數比較兩種配速策略在各分段的差異；以成對樣本 t 檢定比較兩種配速策略在 400 公尺成績及最大乳酸值的差異；顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

本研究結果表一顯示參與者 200_{MAX} 的時間和平均速度都與 200_{MAX} 93% 配速及自覺配速的前 200 公尺時間和平均速度達顯著差異 ($p < .05$)，但 200_{MAX} 93% 配速與自覺配速之間則無顯著差異 ($p > .05$)；參與者在 200_{MAX} 93% 配速採用 200_{MAX} 時間的 $93.5\% \pm 0.8\%$ 跑前 200 公尺，而自覺配速則採用 $93.1\% \pm 2.3\%$ 跑前 200 公尺。

兩種配速策略的 400 公尺成績並無顯著差異 ($p > .05$)，而在 200 公尺分段時間、平均速度、前後 200 公尺分段時間差距及各分段的平均速度上，兩種配速策略無顯著差異，此外，兩種配速策略在 400 公尺測驗後的最大血乳酸值也無顯著差異 ($p > .05$)。

圖一為各參與者在兩種配速策略的分段速度比較，從圖一顯示大部分運動員兩種配速策略都在第 2 分段 (即 100m-200m 階段) 平均速度達到最高，僅有 b 運動員採用自覺配速時，平均速度在第 3 分段 (即 200m-300m 階段) 達到最高。

表一

200_{MAX} 時間和平均速度以及 200_{MAX} 93%配速、自覺配速前 200 公尺時間和平均速度(平均數±標準差)

	200 _{MAX}	200 _{MAX} 93%配速	自覺配速
200m 時間 (s)	23.62±0.76	25.19±0.79*	25.31±1.02
200m 平均速度(m/s)	8.5±0.23	7.95±0.25*	7.91±0.31

*代表與 200_{MAX} 達顯著差異， $p<.05$ 。

表二

兩種 400 公尺配速的 400 公尺成績、200 公尺分段時間、分段速度、前後 200 公尺分段時間差距、和各分段的平均速度 (平均數±標準差)

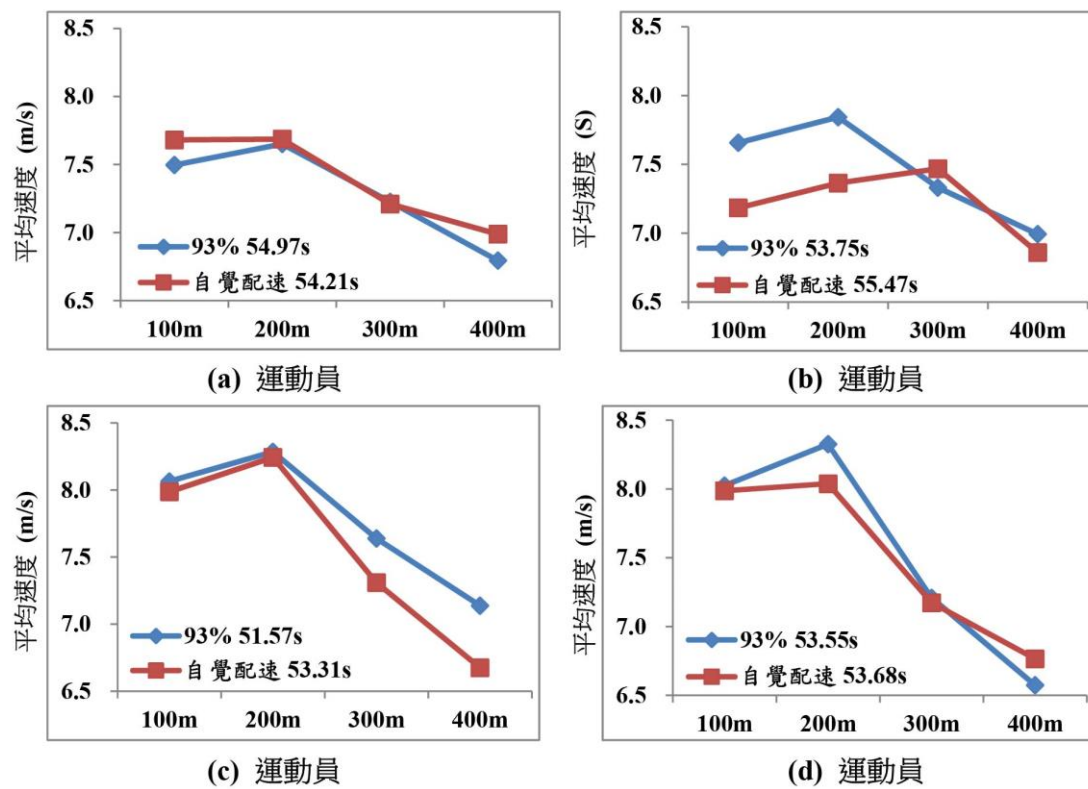
	200 _{MAX} 93%配速	自覺配速
400m 成績 (s)	52.99±1.39	53.55±1.47
前 200 公尺成績 (s)	25.19±0.79	25.30±1.02
後 200 公尺成績 (s)	27.81±0.93	28.24±1.00
前後 200 公尺分段時間差距 (s)	2.62±0.91	2.94±1.30
分段速度 0m-100m (m/s)	7.85±0.24	7.85±0.31
分段速度 100m-200m (m/s)	8.05±0.26	7.98±0.31
分段速度 200m-300m (m/s)	7.48±0.30	7.33±0.27
分段速度 300-400m (m/s)	6.95±0.23	6.87±0.27
分段速度 0m-200m (m/s)	7.95±0.25	7.91±0.31
分段速度 200m-400m (m/s)	7.20±0.24	7.09±0.26

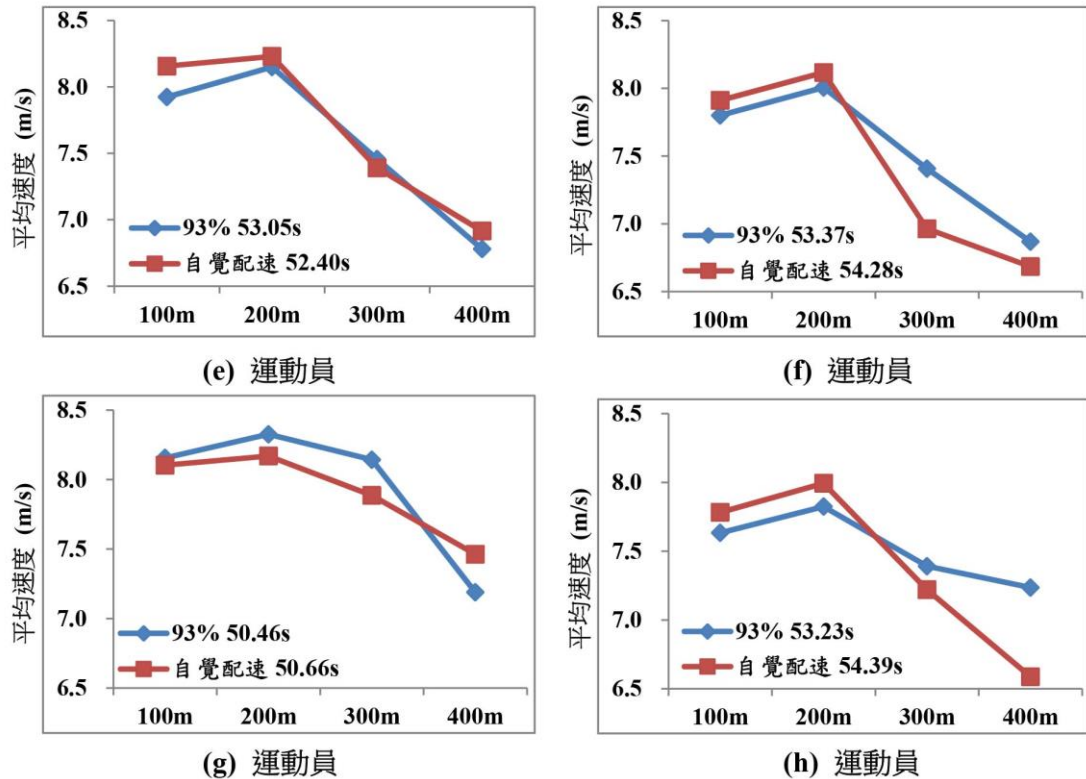
*代表兩種配速達顯著差異， $p<.05$ 。

表三
兩種 400 公尺配速策略在 400 公尺測驗後的最大血乳酸值(平均數±標準差)

	200 _{MAX} 93%配速	自覺配速
最大乳酸值 (mmol/l)	21±3.3	19.24±2.23

*代表兩種配速達顯著差異， $p < .05$ 。





圖一. 兩種 400 公尺配速各運動員的每 100 公尺平均速度(m/s)

肆、討論

本研究目的是要瞭解運動員使用 $200_{MAX} 93\%$ 配速與自覺配速之間在分段時間、速度與最大血乳酸值間的差異，結果發現到兩種配速策略分段時間與速度相當接近且沒有顯著差異 ($p > .05$)，這結果表示運動員在自覺配速使用的百分比相當接近 $200_{MAX} 93\%$ 的配速策略，這個結果可能是導致兩種配速之間在分段時間、速度與最大血乳酸值均無達顯著差異 ($p > .05$) 有關，也可能是因為參與者在測驗前兩週接受的 $200_{MAX} 93\%$ 配速訓練後，運動員本身在配速策略上也會趨向於這個方式。

林智偉等 (2015) 研究短跑世界級運動員的前後 200 公尺分段時間差距平均在 2 秒以內；若 400 公尺前後 200 公尺分段時間差距較小時，可以提高最終成績表現 (Gajer et al., 2007; Saraslanidis et al., 2011)；但本研究 f

及 h 運動員的前 200 公尺速度似乎過快，導致後 200 公尺速度大幅度下降最終成績比使用 200_{MAX} 93% 配速來的慢；過去有研究建議運動員應在前半段將速度提高，儘管比賽的最後出現速度大幅下降的情形 (Van Schenau, De Koning, & De Groot, 1994)，但從 f 及 h 運動員可以發現即使是使用世界級前段較快的配速策略，但並不適合他們，也許使用 200_{MAX} 93% 配速策略對他們來說是有幫助的，未來若這兩位運動員要往國家級或世界級運動員邁進，就必須再去找尋更適合他們的配速策略。

本研究僅 b 運動員採用自覺配速時，其平均速度在第三分段達到最高，進一步分析發現，b 運動員在自覺配速中於前 200 公尺配速僅使用 200_{MAX} 的 88%，與世界級運動員的 96% 配速相差甚多，雖然他的前後 200 公尺分段時間差距僅 0.47 秒，與他使用 93% 配速策略的成績相比，卻慢了 1.72 秒，可能是因為前段速度過慢，造成最終成績不盡理想；Singh 與 Mandal (2003) 研究發現，若前 200 公尺採用過於保守的配速策略，將會對於最後成績不盡理想。如果前 200 公尺跑的過慢，在後 200 公尺仍然可以感覺到還有多餘的體力去跑 (Fukuba & Whipp, 1999)；過程中也可能因為加速得太晚，而無法追趕上領先的運動員；此外，本研究發現 f 和 h 運動員採用的自覺配速策略接近 200_{MAX} 的 96% 配速，類似世界級運動員的配速方式 (Gajer et al., 2007; Hanon & Gajer, 2009)，但這兩位運動員的前後 200 公尺分段時間差距相當大，f 運動員為 3.58 秒，h 運動員為 3.67 秒，在最後 400 公尺時間都比他們採用 200_{MAX} 93% 配速的時間慢，林智偉、張立羣、陶武訓 (2015) 研究世界田徑錦標賽及奧運會男女 400 公尺決賽運動員的配速策略發現，男性運動員大多數在第三分段 (即 200m-300m 階段)，達到最高平均速度，現今世界紀錄保持者 Wayde van Niekerk 也是在第三分段達到最高平均速度，而女性運動員則多數在 100m-200m 階段達到最高平均速度；本研究大多數運動員在這兩種配速策略上都是在第二段 (即 100m-200m 階段) 的平均速度達到最快，之後分段的平均速度則持續下降，這和世界級男性運動員並不相同，表示 f 與 h 運動員並不適合使用世界級運動員的配速策略；從上述研究發現可以說明配速策略的選擇對於 400 公尺運動員是多麼的重要，且個別運動員會有不同配速方式的選擇。

本研究結果發現兩種配速策略的前 200 公尺時間無顯著差異，顯示其運動強度十分接近，使用兩種配速策略在測驗後的最大血乳酸值也無顯著差異；Hollman 與 Liesen (1973) 指出，血乳酸的產生是依據運動時間、運

動強度有關；對 400 公尺運動員來說，400 公尺前段速度相對過快會影響無氧醣酵解系統的能量供能，進而造成運動成績不理想；過去研究顯示，男子 400 公尺分段時間對運動成績的影響及血乳酸值的變化呈非線性關係，速度越快，血乳酸上升坡度越大，反之亦小（楊奎生, 1998），在 200m_{MAX 93%}配速及自覺配速最大的血乳酸值分別是 21 ± 3.3 及 19.24 ± 2.23 ，與過去研究結果類似（Hanon, Lepretre, Bishop, & Thomas, 2010; Saraslanidis et al., 2009）；雖然兩種配速策略的 400 公尺成績無顯著差異，但本研究 6 位運動員在使用 200m_{MAX 93%}配速的 400 公尺成績是比較好的，在實際競技運動場中運動員只要快 0.01 秒都是勝利。

兩種配速策略結果中，發現只有 2 位運動員是使用較快速的前 200 公尺配速策略，但最終結果並不理想，大多數運動員則使用 200_{MAX 93%}配速策略，相較於運動員的自覺配速在成績及分段速度上也是較為好的，本研究兩配速策略的最大血乳酸值及分段速度可做為日後建議運動員配速上參考及作訓練的依據，但運動員還是必須找到最適合自己的配速方式。

伍、 結論與建議

運動員的自覺配速與本研究所訓練的 200_{MAX 93%}配速相當接近，導致分段時間、速度及最大血乳酸值都沒差異，但個別運動員的分段速度中發現，前 200 公尺速度若過於快速可能導致運動員的不適應且能量供給方面消耗過於快速，進而演變成前後 200 公尺秒數差距過大，導致最終成績不理想；若使用前段太慢的配速策略，即使前後分段速度下降情形不高，但由於速度過慢，使得無法趕上跑得更快的運動員，這兩種狀況的最終都會導致成績的不理想，從本次研究結果也可以瞭解 400 公尺的配速策略仍是十分重要，運動員因從平時訓練中找到適合自己的配速策略；建議運動員於平時訓練中，教練或運動員本身能夠找出適合運動員的特質與個人表現的配速策略。

參考文獻

- 林智偉、張立羣、陶武訓 (2015, 12 月)。世界級田徑 400 公尺運動員比賽配速分析(摘要)。2015 體育運動學術團體聯合年會暨學術研討會，臺中市。
- 郭子淵 (2001)。應用生理生化指標對備戰第九屆全運會散打運動員賽前運動訓練控制的研究。《安徽體育科技》，92(4)，64-69。
- 楊奎生 (1998)。不同速度中長距離跑時血乳酸的拐點和酸減平衡。《國家體委科研所學報》，1，4-6。
- 楊國華 (2002)。400 公尺賽跑的技術與配速。《大專體育》，59，131-135。
- Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance. *Sports Medicine*, 36(4), 279-291.
- Fukuba, Y., & Whipp, B. J. (1999). A metabolic limit on the ability to make up for lost time in endurance events. *Journal of Applied Physiology*, 87(2), 853-861.
- Gajer, B., Hanon, C., & Thepaut-Mathieu, C. (2007). Velocity and stride parameters in the 400 metres. *New Studies in Athletics*, 22(3), 39-46.
- Green, J. M., Sapp, A. L., Pritchett, R. C., & Bishop, P. A. (2010). Pacing accuracy in collegiate and recreational runners. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 567-572.
- Hanon, C., & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 524-531.
- Hanon, C., Lepretre, P., Bishop, D., & Thomas, C. (2010). Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 233-240.
- Hart, C. (2000). 400 metres. In: J. L. Rogers (Ed.), USA track and field coaching manual (pp. 51-61), Champaign, IL: USA Track and Field, Human Kinetics.
- Hill, D. W. (1999). Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17(6), 477-483.
- Hollmann, W., & Liesen, H. (1973). Über die Bewertbarkeit des Lactats in der Leistungsdiagnostik. *Sportarzt Sportmed*, 8, 175.
- Holloszy, J. O. (1982). Muscle metabolism during exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 63(5), 231-234.
- Nummela, A., & Rusko, H. (1995). Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 16(8), 522-527.

- Saraslanidis, P. J., Manetzis, C. G., Tsalis, G. A., Zafeiridis, A. S., Mougios, V. G., & Kellis, S. E. (2009). Biochemical evaluation of running workouts used in training for the 400-m sprint. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2266-2271.
- Saraslanidis, P. J., Panoutsakopoulos, V., Tsalis, G. A., & Kyprianou, E. (2011). The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-m sprint. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8), 1579-1590.
- Singh, A., & Mandal, S. K. (2003). Velocity curves of competitive male and female sprinters at inter-university level. *Research Bi-Annual for Movement*, 19(2), 30-37.
- Van Schenau, G. J. I., De Koning, J. J., & De Groot. (1994). Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Medicine*, 17(4), 259-275.

主要聯絡者：張立羣

E-mail : lichun@ntupes.edu.tw