

高中短距離選手 100 公尺 速度、反應與下肢力量分析

陳德盛¹、王月琪²、蔡宗晏³
張嘉澤¹、陳佳慧^{2*}

¹ 國立體育大學競技與教練科學研究所

² 運動能力診斷與訓練調整研究中心

³ 國立中山大學通識教育中心

摘 要

目的：探討高中短跑選手 100 公尺分段速度、起跑反應時間 (reaction time, RT) 與下肢力量關係，並分析 100 公尺衝刺結束後之血乳酸值 (lactate, La)，及提供檢測分析模式，以提供教練及選手於訓練上應用。方法：9 名高中短距離運動員參與本次實驗，檢測下蹲跳 (countermove jump, CMJ)、起跑反應時間、100 公尺分段速度測驗並採集 100 公尺衝刺前和衝刺後之乳酸值，所有測試設定在專項期-I 實施。以重複量數單因子變異數及皮爾遜積差相關進行分析與考驗。結果：100 公尺最高速度出現於 30-40 公尺區間 (9.00 ± 0.26 m/s)，並維持 30 公尺後持續下降至終點；CMJ (44.94 ± 4.34 cm) 與 RT (0.19 ± 0.02 sec) 皆與 100 公尺表現 (12.14 ± 0.30 sec) 無相關；100 公尺結束後 La 於第五與第七分鐘呈現最高值 (9.67 ± 1.07 mmol/l)。結論：本研究對象下蹲跳與反應時間與 100 公尺表現無相關，100 公尺最高速度出現在 30-40m 階段，較國際選手早，且高速穩定距離亦較短，可能是由於能量代謝短缺、下肢力量不足與技術不穩定所致。

關鍵詞：無氧運動、跳躍、衝刺、運動診斷

* 通訊作者：陳佳慧；運動能力診斷與訓練調整研究中心；E-mail: mandy-0209@yahoo.com.tw

Analysis of 100m Performance, Start Reaction and Lower-limb Power in High School Sprinters

Te-Sheng Chen¹ Yueh-Chi Wang² Zong-Yan Cai³
Jia-Tzer Jang¹ Chia-Hui Chen^{2*}

¹ Graduate Institute of Athletics and Coaching Science,
National Taiwan Sport University

² Sport Performance Diagnostic Institute

³ Center for General Education, National Sun Yat-sen University

Abstract

Purpose: To investigate the relationship between the split velocity of 100-meter dash, reaction time (RT) and lower limb strength in senior high school sprinters. In addition, to analyze blood lactate (LA) concentration after sprint 100 meter to provide practical applications for coaches and athletes. **Methods:** Nine senior high school sprinters participated in this experiment. Countermove jump (CMJ), RT, the split velocity of 100-meter dash were tested, and the blood LA were collected before and after sprinting. All tested were performed during the specific phase I of training. One-way ANOVA with repeated measure and Pearson's product correlations were used for statistical analysis. **Results:** The peak speed was hit during 30-40 meter, and maintained this the way to 60 meter, then the speed was gradually reduced until 100 meter. Neither CMJ (44.94 ± 4.34 cm) nor the RT (0.19 ± 0.02 sec) were correlated with 100-meter dash; The peak blood LA concentration (9.67 ± 1.07 mmol/l) were observed at 5 and 7 min after sprinting. **Conclusion:** No correlation were found between CMJ and RT on speed performance, and the participants reach their top end speed a bit earlier, and maintain their way shorter than the international sprinters. The reason were probably due to the metabolic shortage, insufficient lower limb strength and were not sophisticated skill.

Keywords: anaerobic exercise, jump, dash, Leistungsdiagnose

* Corresponding author: Chia-Hui Chen; Sport Performance Diagnostic Institute; E-mail: mandy-0209@yahoo.com.tw

壹、緒論

速度為全身或身體的任一部位透過空間從一位置移動至另一位置快慢的能力。徑賽中，「速度」被認為是最重要且最具代表性的基礎能力 (Cronin & Hansen, 2005)，無論個人或是團隊運動項目中，高速度的展現通常代表較高的競技水平 (Barbero-Alvarez, Coutts, Granda, Barbero-Alvarez, & Castagna, 2010; Rampinini, Bishop, Marcora, Ferrari Bravo, Sassi, & Impellizzeri, 2007)。其中，徑賽的 100 公尺是最刺激的比賽，也被公認最具速度代表性的項目。百公尺項目內涵除了技術性動作外，依距離階段的運動表現可分成起跑、加速度、最高速度與高速度維持這些階段，這些階段的表現對選手成績具有重大的影響，因此也是訓練重點 (Sheppard & Young, 2006)。100 公尺衝刺各階段中，加速期、最高速度與維持期、速度下降／減速期之判斷方式，可由從過去研究獲得。因此本研究以田徑團隊的專項訓練階段，透過分段速度的運動診斷，觀察其速度曲線的變化。

百公尺項目亦須考慮高速度維持能力，即短距離速度耐力 (Saltin, 1987)，而高速度的維持，必須仰賴充足的能量系統供應供應 (Hautier et al., 1994)。100 公尺主要能量路徑為 ATP-PC 系統，其次為無氧醣酵解系統，並伴隨代謝產物—乳酸，乳酸生成是先由肌肉產生再擴散至血液中，此時血液酸性會上升因而會使中樞神經對肌肉驅動力的下降 (Cairns, 2006)，進一步限制運動表現。

高強度運動過程中，高乳酸濃度可能直接使運動表現受限，然而百公尺這種極短時間通常在運動結束後，乳酸才會逐漸上升反應，實際上也必須在結束後才能被觀察。有藉於此，Neumann (1991) 提出在運動結束後血液乳酸分析曲線的診斷，指出最佳乳酸的曲線，於第 10 與 15 分鐘呈現最大值為最佳，目的在於表示運動結束當下並未產生高乳酸，這可能隱含著運動中的乳酸生成可能尚未限制運動表現的意義，而在運動結束後才逐漸上升。以比賽的角度而言，賽後的高乳酸的延遲上升相較於比賽時的高乳酸值來得有競技上的效益。因此，本研究於 100 公尺運動結束後乳酸堆積情況判斷其能量路徑供應是否有可能影響速度維持能力。

「起跑」動作表現仰賴瞬發力與快速的反應時間；研究指出百公尺徑賽項目，就頂尖選手而言，若有 0.01 秒的優勢，可能超前 1.2 公尺的距離，因此掌握關鍵的零點幾秒，便能在競賽中勝出 (Alston, 1993)。徑賽起始階段須透過鳴槍才算開始，而鳴槍至運動選手反應出發的時間，稱反應時間。反應時間流程為：聲刺激

→接受時間→傳入時間→聽皮層→聽動整合時間→動作皮層→心動流程時間→動作時間→心動時間→傳出時間→後腿肌肉收縮時間→後腿離板動作時間→反應完成 (許樹淵、廖貴地, 1996)。肌肉動作的傳導是由大腦的皮質區為始, 透過聯合皮質區分成基底神經結與小腦兩部分, 行思考及快速動作的計畫, 通過視丘到運動皮質區, 再下傳至脊髓神經元進行脊髓協調, 最後到達骨骼肌, 產生肌肉收縮。徑賽一百至四百公尺項目, 皆以蹲踞式起跑為起始動作, 即運動員聽到槍聲後, 在最短時間內以最大力量轉變成動態動作進入到加速度階段, 因此由靜態姿勢到出發有賴神經連結與下肢力量的配合。其動力由支撐腿、擺動腿、骨盆運轉等各環節的肌肉快速收縮, 產生肌力作用於地面 (蔡孟霖、陳咨琳、黃韻靜, 2003), 使身體重心在支撐推蹬後隨即進入騰空階段, 推蹬的作用亦同時決定了重心飛行的軌跡, 顯示下肢肌肉強度對短距離田徑項目表現有重要的影響 (Harland & Steele, 1997)。Gordon and Matiu (2004) 研究發現肌肉收縮能力與跳躍瞬發力, 將使短距離起跑與加速度表現提高、強壯的下肢力量能提高起跑表現 (Sands et al., 2005)。Schmidtbleicher (1992)、Potteiger et al. (1999) 指出跳躍能力可以做為下肢力量爆發力的指標, 其中下蹲跳 (counter movement jump, CMJ) 檢測亦可作為下肢動力的指標 (Sands et al., 2005)。因此, 在速度與下肢力量相關研究, Smirniotou et al. (2008) 研究力量參數對速度表現之關係, 研究利用多元迴歸分析發現, 46.5 % 的力量參數會影響 100 公尺速度表現, 並表示下蹲跳對 100 公尺選手能力具極佳的代表性; 其他研究亦指出下蹲跳 (CMJ) 與短距離衝刺 (30 公尺) 具有高度相關性 (陳佳慧、黃雅陵、張嘉澤, 2010; Mouelhi et al., 2007; Bosco et al., 1995)。Delalija and Babic (2008) 觀察 2004 年雅典奧運短距離競賽項目的 250 位女性運動員和 360 位男性運動員, 發現女性運動員在 100 公尺跨欄項目及男性 100 公尺與 110 公尺跨欄項目運動員的反應時間與運動表現有顯著相關。李相如 (1988) 根據第二屆世界田徑錦標賽, 分析當時最佳的兩位 100 公尺選手之起跑時間和分段成績進行分析發現, 起跑至 30 公尺階段兩人相差了 0.12 秒, 兩人在 30 公尺到 100 公尺間的速度只相差了 0.02 秒, 更重要的是, Ben Johnson 的起跑反應時間較 Carl Lewis 快 0.057 秒, 占總成績差距的 57%, 這也是勝負的關鍵。Tønnessen, Haugen, and Shalfawi (2013) 針對 1319 名男性與女性 100 公尺跑者的研究表示, 反應時間與 100 公尺表現佔有一成左右的決定因素。綜合上述得知, 短距離分段速度能判斷運動員速度表現曲線與能力區間, 而運動負荷的乳酸堆積情況能判斷期能量供應與個人能力的差異, 再者, 下肢力量與反應對徑賽選手也是速度表現能力的觀察指標。

由於科技進步與訓練模式與環境的改善，促競技水平日益提高。不過透過高科技或實驗室器材來判斷運動員能力的對象，目前主要局限在層級較高的選手（國家代表隊或甲組選手），因此限制運動診斷對象的普及與擴大。就基層教練而言，若能透過科學化運動診斷，提早得到具體性的運動判斷數據，從而調整改善訓練計劃，對於訓練效果是非常重要的。再者，實際訓練現場與實驗性研究具有一定性的差異，譬如無法以相同訓練內容進行比較，因為訓練是一持續進行的過程。因此本文以實際應用角度，探討高中短距離選手 100 公尺的起跑反應時間、下肢力量與 100 公尺速度能力之間關係，及利用 100 公尺運動結束後乳酸堆積與分段速度分析判斷可能因素；並應用過去理論與生理機制為基礎，透過訓練研究文獻提出訓練內容建議與調整。

貳、研究方法

一、研究對象

9 名男性高中短距離 100 公尺選手（身高： 171.82 ± 4.88 公分；體重： 64.33 ± 4.66 公斤；年齡： 16.67 ± 1.00 年；訓練年數： 3.44 ± 1.67 年）參與本次專項運動診斷，並在診斷前告知選手與教練運動診斷內容後，徵得同意後填寫受試者同意書，運動診斷過程中屬於運動員年度運動訓練周期的專項期 I，並在前後皆維持規律之正常訓練。註：設定專項期 I 目的與理由：1、已具備準備期的力量與耐力的訓練的能力基礎；2、發展年度訓練中第一場比賽該具備的專項技術與體能；3、基礎期轉專項期之能力檢測，協助訓練調整（張嘉澤，2013；Bompa & Buzzichelli, 2014）。

二、診斷方式

本研究檢測分為基礎能力與專項能力二部分，本研究之基礎能力指下肢動力，專項能力為 100 公尺分段、起跑反應與運動負荷後之乳酸，所有檢測依序為：

（一）下蹲跳（counter movement jump, CMJ）：

檢測前會先說明檢測流程與跳躍方式，並讓每位參與者試跳一次，待選手練習完畢後，休息 60 秒後站至測力板上，以個人最大努力執行兩次下蹲跳。流程如下所述，選手進入測力板（Fusion Sport Smart Speed System, Australia）後先以直立姿勢，雙手插腰，共進行兩回，四次跳躍，每跳間間隔 5 秒，每回間之間隔為 5 分

鐘，以個人體重與騰空時間及落地力量數據分析計算出跳躍高度，測驗前會輸入個人體重、騰空時間與落地力量透過軟體計算獲得數據，測驗模式依據 (Bosco et al., 1983) 實施。

(二) 專項速度與起跑反應時間診斷：

本研究以 100 公尺為速度診斷的距離，以單人測驗方式，透過電子式鳴槍與起跑反應時間測定器 (Lynx System Developers Inc, USA) 與分段速度計時器 (New Test-Power Timer System 300 Series, Oulu, Finland) 記錄每十公尺的個人速度表現。

(三) 乳酸：

於 100 公尺速度測試進行，以耳垂採血方式透過毛細管採集 (10 μ l) 安靜值、100 公尺測試結束後之第 1、3、5、7、10、15 分鐘 (運動後時間點以 E1, E3, E5, E7, E10, E15 表示) 的乳酸值 (Biosen C line, EKF Diagnostic, Germany)，藉此檢測最大值乳酸以及出現時間點。

三、資料處理

將所測得之數據以平均數與標準差呈現，並藉分段計時紀錄之時間計算出每 10 公尺分段速度，以 Sigma Plot 8.0 軟體進行圖形製作分析；以重複量數單因子變異數分析 100 公尺分段速度差異以及 100 公尺結束後各時間點乳酸值之差異；再以皮爾遜積差相關分別考驗下蹲跳、起跑反應時間及 100 公尺總時間之關係，統計考驗水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

一、下蹲跳、起跑反應時間及 100 公尺總時間分析

表 1 為本研究下蹲跳、起跑反應時間及 100 公尺總時間之平均數與標準差。在下蹲跳與起跑反應時間表現此兩變數之皮爾遜積差相關係數為 $r = .024$ ， $p = .951$ ，兩變數未達顯著關係；而起跑反應時間與 100 公尺總時間之兩變數皮爾遜簡單相關係數為 $r = .055$ ， $p = .888$ ，兩變數未達顯著關係。下蹲跳與 100 公尺總時間之兩變數皮爾遜簡單相關係數為 $r = .461$ ， $p = .211$ ，可知兩變數未達顯著關係，如表 2 所示。

表 1 下蹲跳、起跑反應時間和 100 公尺總時間平均數與標準差彙整

參數	下蹲跳	起跑反應時間	100 公尺總時間
單 位	(公分)	(秒)	(秒)
平均數	44.94	0.19	12.14
標準差	4.34	0.02	0.30

表 2 下蹲跳、起跑反應時間和 100 公尺總時間之皮爾森簡單相關係數

	<i>r</i>	<i>p</i>
下蹲跳與起跑反應時間	.024	.951
起跑反應時間與 100 公尺總時間	.055	.888
下蹲跳與 100 公尺總時間	.461	.211

二、100 公尺分段速度與最大乳酸值分析

表 3 為 100 公尺每 10 公尺分段速度，由 0-10 公尺分段以平均 5.57 ± 0.33 m/s 起跑加速，於 30-40 公尺分段達到最高速度平均 9.00 ± 0.26 m/s，與 40-50 公尺、50-60 公尺、60-70 公尺分段速度未達顯著差異，但與其他分段均達顯著差異 ($p < .05$)。100 公尺結束後，乳酸平均值 9.67 ± 1.07 mmol/l，最高與最低分別為 11.54 和 8.50 mmol/l，100 公尺分段速度趨勢如圖 1 所示。100 公尺測試中個人最快成績為 11.68 秒、其最大乳酸值為 11.54 mmol/l，於測試結束後第 7 分鐘 (E7) 出現；最慢完成之成績為 12.62 秒、其最大乳酸值為 8.83 mmol/l，於測試結束後第 5 分鐘 (E5) 出現，如表 4 所示。

表 3 100 公尺每 10 公尺分段速度之平均數、最大與最小值彙整表

距離	平均數±標準差 (m/s)	最大值	最小值
0-10 m	5.57±0.33	6.25	5.30
10-20 m	8.07±0.12 ^a	8.37	7.96
20-30 m	8.71±0.25 ^{ab}	9.28	8.42
30-40 m	9.00±0.26 ^{abc}	9.38	8.55
40-50 m	8.95±0.27 ^{abc}	9.29	8.49
50-60 m	8.95±0.29 ^{abc}	9.62	8.62
60-70 m	8.88±0.31 ^{ab}	9.38	8.47
70-80 m	8.64±0.27 ^{abdefg}	8.97	8.17
80-90 m	8.72±0.34 ^{abdefg}	9.10	8.14
90-100 m	8.53±0.23 ^{abdefgh}	8.73	8.10

註：a,b,c,d,e,f,g,h 分別表示與 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m, 30-40 m, 40-50 m, 50-60 m, 60-70 m, 70-80 m 有顯著差異 ($p < .05$)。

表 4 100 公尺個人成績、最大乳酸值與出現時間點

No.	100 m (s)	La-max (mmol/l)	La-max time (min)
1	12.55	9.56	E5
2	11.74	8.75	E5
3	12.10	8.50	E5
4	12.17	8.88	E5
5	12.04	10.30	E5
6	11.68	11.54	E7
7	12.05	9.69	E5
8	12.31	10.98	E7
9	12.62	8.83	E5
M±SD	12.14±0.30	9.67±1.07	

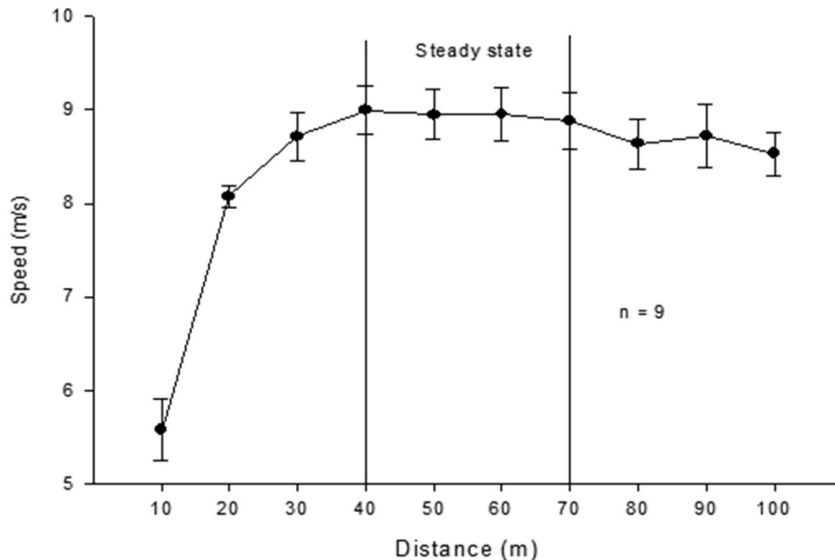


圖 1 100 公尺分段速度趨勢之分析

肆、討論

一、下蹲跳、起跑反應時間及 100 公尺總時間

起跑反應時間 (reaction time) 被定義為當個體聽到槍響後直到產生肌肉力量瞬間稱之 (Mero & Komi, 1990)。2013 年針對 1319 名男性與女性 100 公尺跑者的研究表示，男女平均起跑反應時間分別為 0.166 ± 0.030 及 0.176 ± 0.034 秒，隨著預賽、複賽與決賽間強度的提高，選手的起跑反應時間可能會縮短，男子與女子選手可能到達 0.142 與 0.153 秒；起跑反應時間與 100 公尺表現佔有一成的決定因素 (Tønnessen et al., 2013)。Pilianidis, Kasabalis, Mantzouranis, and Mavvidis (2012) 研究 2000 年雪梨、2004 年雅典和 2008 年北京奧運短距離徑賽項目之男、女生選手，發現 2008 年男生於決賽 100 公尺完成時間平均 9.89 秒起跑反應時間平均為 0.146 秒。據 2009 國際田徑總會之報告中男子預賽 58 人資料分析發現，100 公尺選手反應時間約 0.153 ± 0.016 秒。男選手起跑反應愈佳者 100 公尺成績越好，女性則不完全呈現相同現象。這可能表示，短跑各距離階段 (起跑至加速期、最高速度與維持期、速度下降／減速期)，男選手各階段動作輸出能力較穩定；女選手在起跑反應

階段的表現可能不是絕對影響最終表現的關鍵因素。Aerenhouts et al. (2012) 比較不同年齡階層短跑運動員發現成年男子因具有較高的肌肉質量與力量，並有較佳的起跑技巧，因此相較青少年選手有較短的起跑反應時間與加速度表現，並建議青少年選手應增加力量與起跑技術訓練，以利專項能力轉換。因此，本研究對象起跑反應時間較長，且與最終速度表現呈現不一致，可能是由於下肢力量與起跑技巧不足，以及各階段動作輸出較不穩定導致。

垂直跳的能力是許多運動項目中重要的能力，其中以 CMJ 及落下跳 (DJ) 最為普遍，教練與訓練人員也藉此評估個體能力 (Bobbert, Mackay, Schinkelshoek, Huijing, & van Ingen Schenau, 1986; Garstecki, Latin, & Cuppett, 2004; Lockie, Schultz, Callaghan, & Jeffriess, 2012; Lockie, Schultz, Callaghan, Jeffriess, & Luczo, 2014)。Kale, Aşçi, Bayrak, and Açıkada (2009) CMJ 相較於水平式跳躍具有較佳的最高速度預測性，其中，該研究對象 100 公尺水準 10.80-11.39 秒之間，CMJ 為 48.20 ± 4.4 公分。本研究對象表現介於 11.68-12.55 秒，CMJ 為 44.94 ± 4.34 公分表現皆低於前述文獻。本研究速度與下肢力量兩者相關性與過去文獻呈現不一致，可能原因為較低的下肢力量致使跑步時觸地的時間增加、降低步頻、縮短步幅距離及較短的滯空時間 (Faccioni, 1996)，進而導致速度表現較低，而使得本研究與過去研究不同。Cormie, McBride, and McCaulley (2009) 指出 CMJ 能反應出個體瞬間的動力/力量 (force/power)、速度與位移—時間 (displacement-time) 變化，與個體肌肉活性與神經肌肉適應的功能性。Lockie et al. (2014) 發現也證實垂直性與水平性跳躍測試對速度表現具有高度相關，但也表示速度展現或多方向速度能力與下肢水平和垂直跳躍力量仍有其相關性的差異存在。綜合上述，本研究對象之下蹲跳、反應時間較低，可能原因在於下肢力量較低、另外也可能與本研究對象垂直跳躍和水平速度轉換尚未熟練，表現在技術與神經連結能力表現上能力的不足，可能間接影響起跑後加速表現的缺乏，與高速度階段動作輸出不穩定，這可能是與過去研究不符的原因。

二、100 公尺分段速度與運動結束後最大乳酸值觀察

本研究對象從起跑至最高速度呈現於第 40 公尺，速度為 9.00 ± 0.26 m/s，該速度維持穩定持續約 30 公尺，但呈下降趨勢。70 公尺速度為 8.88 ± 0.31 m/s，隨後持續下降至終點 8.53 ± 0.23 m/s。以世界田徑錦標賽男子第一輪與該屆世界前三名選手 (Bolt Usain, Gay Tyson, Powell Asafa) 共 27 筆分段速度後發現 (圖 2 所示)，世

界級選手之最高速度較國內高中選手延後 (80m vs. 40m)；速度穩定期較長 (40-100 m vs. 40-70 m)。該研究可獲知兩個訓練思考面向，其一為最高速度能力的需再提高，第二為高速穩定的距離需要延長。最大強度運動的 ATP-PCr 與糖酵解 (glycolysis) 會因運動時間而有比例上的不同，小於 5 秒的最高強度以 ATP-PCr 比例最高，當時間延長，無氧糖酵解供能比例會略高於 ATP-PCr，當時間延長至 20 秒無氧糖酵解供能會占最多的供能比例 (Maughan, Gleeson, & Greenhaff, 1997)。

當運動強度增加至需要以無氧糖酵解分解合成三磷酸腺苷時，動作肌將產生大量的乳酸；當乳酸的生成高於清除時便造成乳酸堆積 (Gasser and Brooks, 1984)。因此，可藉運動結束後乳酸最高值的時間曲線來判斷 (Neumann, 1991)；當運動結束呈現最高乳酸值，表示於運動過程中的負荷使個體提早進入無氧糖酵解分解與產能的路徑，而產生大量乳酸。反之，於運動結束後越晚出現最大乳酸值時，可表示在此運動過程中，強度負荷增加但個體尚未完全進入無氧糖酵解分解路徑，可能減少因酸化而干擾運動表現的現象發生。本研究運動結束後最大乳酸堆積與出現時間點觀察顯示，100 公尺完成時間最快者，其結束後乳酸為最高值；完成時間最慢者則乳酸為最低值，推測可能與運動強度有關。Hautier et al. (1994) 以 9 名國家級短跑員之 100 與 200 公尺速度對照乳酸指出，乳酸值約 8.5-10.3 mmol/l 之間。值得注意的是大約 5~15% 總乳酸的量是在運動結束後產生 (Mader, Heck, Liesen, & Hollmann, 1983)，並同時快速的磷酸肌酸被組成，間接可知大部分的乳酸在運動過程中即已產生。Neumann (1990) 指出肌肉產生乳酸因素，主要是在於運動負荷的關係，運動負荷在本研究是指 100 公尺完成時間。本研究對象間的差異，再以運動結束後最大乳酸出現時間點分析，本研究發現有 2 位參與者於運動結束後第 7 (E7) 分鐘出現，7 位參與者於運動結束後第 5 (E5) 分鐘出現，可能表示在極短的運動過程中即已經產生高乳酸值。相較 Neumann (1991) 所判斷的時間點，本研究對象更為提早，推估運動過程可能為高乳酸值，並限制高速度穩定的能力。

綜合上述，100 公尺速度表現不穩定可能與無氧糖酵解能力不足有關。100 公尺分段速度、運動結束後乳酸以及乳酸堆積之個別分析，2、6 號選手速度在同組中尚可但高速度維持的能力不足，1、3、4、5、7、8、9 號七位選手其最高速度與高速度維持的能力均需要加強。因此本研究依據測試結果與訓練學理論基礎 (張嘉澤, 2013; 林正常等, 2011)，建議本研究男子 100 公尺選手症狀呈現速度能力差者，先以 ATP-CP 系統之短距離 30 公尺衝刺提升最高速度，再利用 80 公尺衝刺

的重覆或間歇性訓練增加高速度穩定的能力，每週至少三次，藉以穩定 40-80 公尺速度與提升 80-100 公尺最後衝刺的續航力，而這種衝刺性訓練目的也能促進無氧糖酵解效率的改善 (Ross & Leveritt, 2001)。另外，速度能力尚可者，利用 100 公尺最佳成績的 90% 作為訓練強度，於高速跑步機或下坡跑進行 20 秒的高速練習，增加穩定高速度能力，每週至少三次 (Mitchell & Hauschildt, 2010; Ross, Ratamess, Hoffman, Faigenbaum, Kang, & Chilakos, 2009)。在肌肉力量、神經反應及神經連結的特性從訓練層面而言，需藉由多元訓練模式輔助提升該三種能力，因此，訓練可搭配神經肌肉連結特性之內容，除了短距離專項訓練外，可加入協調 (coordination)、敏捷 (agility) 訓練 (Sporiš, et al., 2010)，以提高神經靈敏性並改善運動表現。

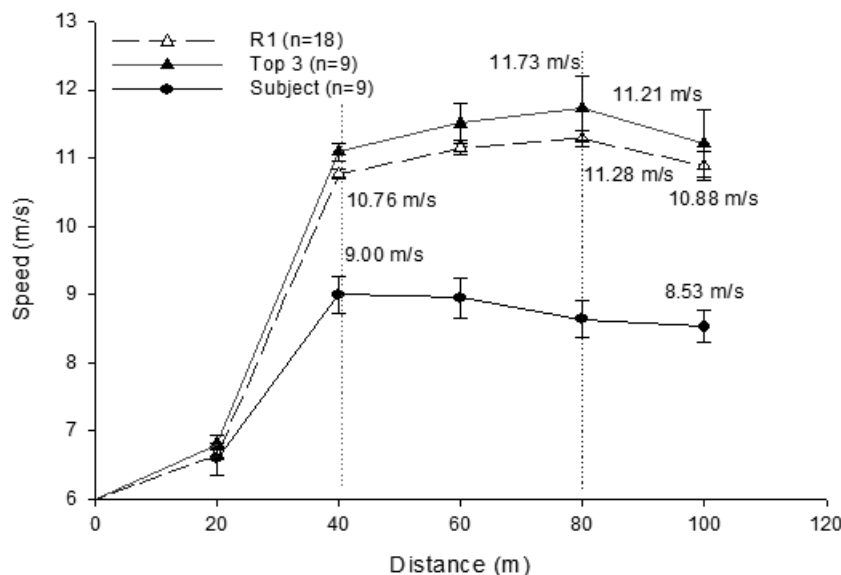


圖 2 2009 世界田徑錦標賽 100 公尺與本研究分段速度趨勢對照

△：預賽第一輪；▲：決賽前三名；●：本研究對象

伍、結論與建議

一、結論

(一) 高中男子短距離選手，起跑反應時間、下肢力量與 100 公尺總時間三者之間的關係，未呈現顯著相關，可能與個體下肢力量較低並以及專項技術能力較

不穩定 (例：起跑技巧)，影響起跑後加速度階段，而影響整體速度表現。

- (二) 高中男子短距離選手之最高速度出現時間點較國際選手早，且高速穩定距離亦較短點，可能是由於能量代謝上短缺和壓力造成動作輸出不穩定，進而限制後段速度表現。

二、建議

該隊教練與選手能針對專項表現中的起跑反應與最高速度輔以神經肌肉連結性之訓練模式進行改善，如瞬發性、敏捷與協調訓練提高肌肉與神經活性；高速穩定能力能透過高速度反覆衝刺模式進行訓練；就研究上，未來可針對垂直與水平跳躍表現，探討與速度表現之相關。本研究透過運動能力診斷方式，教練能針對高中男子徑賽 100 公尺選手個人症狀分析，以做為個人訓練調整，並能依據此模式實際應用於訓練中。

參考文獻

- 李相如 (1988)。對約翰遜和劉易斯百米跑的幾點分析。*西安體育學報*，2(5)，13-19。
- 林正常、劉立宇、吳忠芳、林政東、鄭景峰、吳柏翰、林明儒 (譯) (2011)。《運動訓練法》。臺北市：藝軒圖書。(Bompa, T. O., & Haff, G. G., 2009)
- 許樹淵、廖貴地 (1996)。百公尺跑反應時間分段時間相關之分析。*體育學報*，21，163-170。doi:10.6222/pej.0021.199606.2115
- 陳佳慧、黃雅陵、張嘉澤 (2010)。青少年女子足球選手下肢力量、速度與敏捷能力分析與相關之研究。*運動教練科學*，17，29-40。doi:10.6194/SCS.2010.17.03
- 張嘉澤 (2013)。《訓練學 (第二版)》。新北市：運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2010)。《運動能力診斷與訓練調整》。新北市：運動能力診斷協會。
- 蔡孟霖、陳咨琳、黃韻靜 (2003)。百公尺肌力訓練的方法。*文化體育學刊*，1，129-136。doi:10.6634/JPSS-CCU.200306.01.13
- Aerenhouts, D., Delecluse, C., Hagman, F., Taeymans, J., Debaere, S., Van Gheluwe, B., & Clarys, P. (2012). Comparison of anthropometric characteristics and sprint start performance between elite adolescent and adult sprint athletes. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 9-15. doi:10.1080/17461391.2010.536580
- Alston, B. (1993). Quick draw on the track reaction time and the 100 m race. *Track and*

Field Quarterly Review, 93 (1), 11-12.

Barbero-Alvarez, J.C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Alvarez, V., & Castagna, C. (2010).

The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science Medicine in Sport*, 13(2), 232-235. doi:10.1016/j.jsams.2009.02.005

Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. A. (1986). Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 54(6), 566-573. doi:10.1007/BF00943342

Bompa, T. O. and Buzzichelli, C. A. (2014). Periodization Training for Sports 3rd (pp87-99). Champaign, IL: Human Kinetics,

Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 273-282. doi:10.1007/BF00422166

Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? *Sports Medicine*, 36(4), 279-291. doi:10.2165/00007256-200636040-00001

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177-186. doi:10.1519/JSC.0b013e3181889324

Cronin, J. B. and Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 349-357. doi: 10.1519/14323.1

Delalija, A., & Babic, B. (2008). Reaction time and sprint results in athletics. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 8, 67-75.

Faccioni, A. (1996). Relationships between selected speed strength performance tests and *temporal variables of maximal running velocity*. (Unpublished Master's dissertation). University of Canberra, Canberra.

Gasser, G., & Brooks, G. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 16, 29-43. doi: 10.1249/00005768-198401000-00008

Gordon, S., & Matiu, T. (2004). The relationship between maximal Jump-squat power

- and sprint acceleration in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 46-52. doi:10.1007/s00421-003-0941-0
- Lockie, R. G., Schultz, A. B., Callaghan, S. J., Jeffriess, M. D., & Luczo, T. M. (2014). Contribution of Leg Power to Multidirectional Speed in Field Sport Athletes. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(2)16-24.
- Harland, M. J., & Steele, J. R. (1997). Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23(1), 11-20. doi:10.2165/00007256-199723010-00002
- Hautier, C. A., Wouassi, D., Arsac, L. M., Bitanga, E., Thiriet, P., & Lacour, J. R. (1994). Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *European Journal of Applied Physiology*, 68(5), 508-513. doi: 0.1007/BF00599521
- Mader, A., Heck, H., Liesen, H., Hollamnn, W. (1983). Simulative berechnungen der dynamischen Änderungen von Phos-phorylierungspotentia, Laktatbildung und Laktatverteilung beim Sprint. *Dt Z Sportmed*, 34, 14-22.
- Maughan, R., Gleeson, M., & Greenhaff, P. L. (1997). *Biochemistry of Exercise & Training*. Oxford University Press, Oxford.
- Kale, M., Aşçi, A., Bayrak, C., & Açıkada, C. (2009). Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2272-2279. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3e182
- Mero, A., & Komi, P. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*, 61(1), 73-80. doi:10.1007/BF00236697
- Mitchell, D. and Hauschildt, M. A. (2010). Integrating High-Speed Treadmills Into a Traditional Strength and Conditioning Program for Speed and Power Sports. *Strength Cond J*, 32(2), 21-32. doi:10.1519/SSC.0b013e3181cadd9
- Mouelhi, J., Dardouri, W., Gmada, N., Haj Sassi, R., Mahfoudhi, M. E., Haj Yahmed, M. (2000). Relationship between the five-jump test, 30 m sprint test and vertical jump. *Science and Sports*, 22(5), 246-247.
- Neumann, G. (1990). Die Leistungsstruktur in den ausdauersportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport*, 20, 14-20.

- Neumann, G. (1991). Zur Leistungsstruktur der Kurz-und Mittelzeitausdauer-Sportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport*, 21, 29-32.
- Potteiger, J. A., Lockwood, R. H., Haub, M. D., Dolezal, B. A., Almuzaini, K. S., Schroeder, J. M., et al. (1999). Muscle power and fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 275-279.
- Pilianidis, T., Kasabalis, A., Mantzouranis, N., & Mavvidis, A. (2012). Start reaction time and performance at the sprint events in the Olympic games. *Kinesiology*, 44(1), 67-72.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of Simple Field Tests as Indicators of Match-Related Physical Performance in Top-Level Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228-235. doi:10.1055/s-2006-924340
- Ross, A., Leveritt, M. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Medicine*, 31(15), 1063-1082. doi:10.1519/JSC.0b013e3181964a7a
- Ross, R. E., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J., & Chilakos, A. (2009). The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. *J Strength Cond Res*, 23(2), 385-394. doi:10.1519/JSC.0b013e3181964a7a
- Saltin, B. (1987). The physiological and biochemical basis of aerobic and anaerobic capacities in man; effect of training and range of adaption. In: Maehlum, et al. (Eds). An update of sports medicine. *Proceedings from the second Scandinavian Conference on Sports Medicine* (pp. 16-59), Oslo.
- Sands, W. A., Smith, L.S., Kivi, D. M., McNeal, J. R., Dorman, J. C., Stone, M. H., & Cormie, P. (2005). Anthropometric and Physical Abilities Profiles: US National Skeleton Team. *Sports Biomechanics*, 4(2), 197-214. doi:10.1080/14763140508522863
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power event. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell Scientific Publications, 381-395.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications,

training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932.

doi:10.1080/02640410500457109

Smirniotou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., & Tziortzus, S. (2008). Strength power parameters as predictors of sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 447-454.

Sporiš, G., Milanović, L., Jukić, I., Omrčen, D., & Molinuevo J.S. (2010). The effect of agility training on athletic power performance. *Kinesiology*, 42(1), 65-72.

Tønnessen, E., Haugen, T., & Shalfawi, S. A. (2013). Reaction time aspects of elite sprinters in athletic world championships. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 885-892. doi:10.1519/JSC.0b013e31826520c3

徑賽百公尺運動診斷

陳德盛、王月琪、蔡宗晏、張嘉澤、陳佳慧
