

百公尺跑不同加速期的運動學分析

李昭慶¹、林淑惠²、王慶堂³

淡江大學¹

國立台灣師範大學²

國立台灣體育學院³

摘要

本研究主要是評估百公尺跑中，起跑加速與途中加速兩階段下肢運動協調的差異。兩台 DV 攝影機用來拍攝十二位受試者跑過 30 與 50 公尺的動作影像，二度空間分析方法用來定量下肢關節的運動學資料。結果顯示不同的加速階段在一個步態周期中呈現不同的大腿-膝關節角度相對模式。這似乎意味著跑者會不同的加速階段調整短跑技術的策略來增加速度或步幅，跑者在 30 公尺加速階段的支撐期，會利用膝關節的調節與下肢的蹬伸來加速，而 50 公尺高速維持階段中，跑者會增加騰空擺動時的下肢關節運動幅度以增加步幅來維持高速。本研究也用這種方法以定性分析診斷技術佳與技術劣的受試者，他們在短跑技術上的差異，進而提供建議給予修正。

關鍵字: 大腿-膝關節角度相對模式、二度空間分析、加速階段

壹、緒 論

一、問題背景

百公尺跑的技術，一般可分為起跑、起跑後加速跑、途中跑及衝線等四個階段。其中加速跑是指選手在起跑後加速至最大速度的階段，而百公尺跑的成績表現與加速階段的速度有密切的關係(周鐵民、袁榮凱、陳曉婉和吳亞存，2002；李昭慶，2003)。百公尺跑的加速過程，有研究者認為大致可分為兩個階段。第一部分是起跑後至三十公尺處，第二部分是從三十公尺到最大速度前的加速階段(許健、張豐，1997；申偉華，1998)，也有學者將加速過程分為三個階段(許樹淵，1978)。就目前短距離跑的訓練理論而言，百公尺的加速過程，應可分為起跑後加速階段及途中加速階段，且對百公尺跑的成績表現有著決定性的影響。

跑的動力主要是靠支撐階段下肢向後推蹬所獲得的反作用力，而身體重心在支撐推蹬後隨之進入騰空階段，推蹬的作用也同時決定重心飛行的軌跡。要發展選手跑的速度，需有效的提升步頻及步幅的能力。有人認為百公尺跑在起跑後加速階段(前30公尺)，應同時增大步幅、步頻來提高速度，途中加速階段則應以增加步頻來提高途中的加速度(鄒克寧，1995)。也有學者的研究認為不同水準選手的個別差異，在步頻及步幅的比例都有其獨特性，其運動學上的特徵也會不同(Donati，1995；石宏，1997)。因此，欲以最佳的步頻與步幅比率，提高加速過程的速度，對於下肢關節推蹬在跑動的過程中，支撐腿的推蹬及擺動腿的擺動技術在運動學的分析，瞭解不同技術水準的選手在加速期的動作差異，作為教學及指導上的依據。

二、研究目的

本研究主要分析百公尺跑在不同的加速階段，起跑後加速階段(start-accelerated phase)與途中加速階段(midway-accelerated phase)的步頻、步幅的變化，探討兩參數與速度間的關係。再者，本研究將利用下肢關節的相對運動模式來探討不同加速階段中，短跑技術的策略與下肢關節的調節。

貳、研究方法與步驟

一、研究對象

本研究以經常運動的國立台灣師範大學體育學系男生13名參與本研究實驗。本研究受試者基本資料及百公尺跑的成績如表2-1：

表 2-1、受試者基本資料(n=13)

	身高(公分)	體重(公斤)	年齡(歲)	100M(秒)
平均數	175.15	67.85	19.38	12.14
標準差	3.08	3.91	1.04	0.46

二、實驗時間與地點

(一) 實驗時間：民國九十一年十二月底。

(二) 實驗地點：國立師範大學校本部田徑場

三、實驗步驟與方法

受試者穿著釘鞋，以起跑架採蹲踞式起跑，進行 100 公尺跑測驗，其中一台 DV 數位攝影機置於垂直跑道距離起跑點後 30 公尺跑道內側之位置，作為起跑後加速期的擷取點。而另一架 DV 數位攝影機則以相同架設置於起跑點後 50 公尺的位置作為途中加速期的擷取點。在關節標記(landmark)方面，本研究根據關節定義在受試者下肢髌關節、膝關節、踝關節與第五蹠指關節貼上標記點以利於分析，比例尺則採用自製比例板位於影像畫面後方，本實驗觀察受試者矢狀面二度空間之活動。

四、資料處理

本研究主要的重要變數包含：跑步著地與騰空階段身體重心與下肢踝關節、膝關節與髌關節之原始位置、位移、角度與速度，擷取本實驗所得的影像資料(速度為 60 張/秒，快門 1/250 秒)。利用擷取軟、硬體將類比影像資料，將受試者跑步周期的影像資料，進行線性轉換與各項參數的運算。

參、結果與討論

一、步幅、步頻與速度

從表 3-1 的結果發現 50 公尺的途中加速階段平均步幅(2.09 ± 0.17 公尺)大於 30 公尺起跑後加速階段的步幅結果(1.98 ± 0.12 公尺)。而步頻的分析結果，30 公尺的平均步頻(4.36 ± 0.19 步/秒)大於 50 公尺的平均步頻(4.30 ± 0.21 步/秒)。在步頻與步幅交互作用的結果之下，兩加速期的平均速度以 50 公尺加速階段的平均速度較快。

30 與 50 公尺前後為短跑過程中加速與最高速階段(馬湘君, 2000; 蔡於儒, 2001; 陶武訓, 2002)，兩個階段途中跑的技術優劣對百公尺的成績影響很大，其中步幅與步頻為決定跑速的兩大因素。結果指出 30 公尺加速階段的步幅雖然小於 50 公尺途中跑的步幅結果，但跑者似乎藉著加快步頻來彌補步幅的不足，

以求在短時間內增加速度，這也是此階段的主要目的，即“加速”。而 50 公尺最高速階段的特徵，即是以維持高速為主要目的。跑者似乎增加其步幅，並調節步頻來維持高跑速的條件。申偉華(2002)對世界優秀男子短跑選手 100 公尺分段速度及步頻與步幅等參數的分析中發現，在加速階段中(0~30 公尺)，跑速增加幅度大小似乎由步頻來決定，而步幅的持續增加，將有助於 30 公尺之後高速跑階段的增加與維持。

表 3-1 不同加速階段平均步幅、步頻與速度比較表

參數	30 公尺	50 公尺	t 值
步幅 (公尺/步)	1.98±0.12	2.09±0.17	-9.895*
步頻 (步/秒)	4.36±0.19	4.30±0.21	1.689
速度 (公尺/秒)	8.79±0.49	9.28±0.49	-7.556*

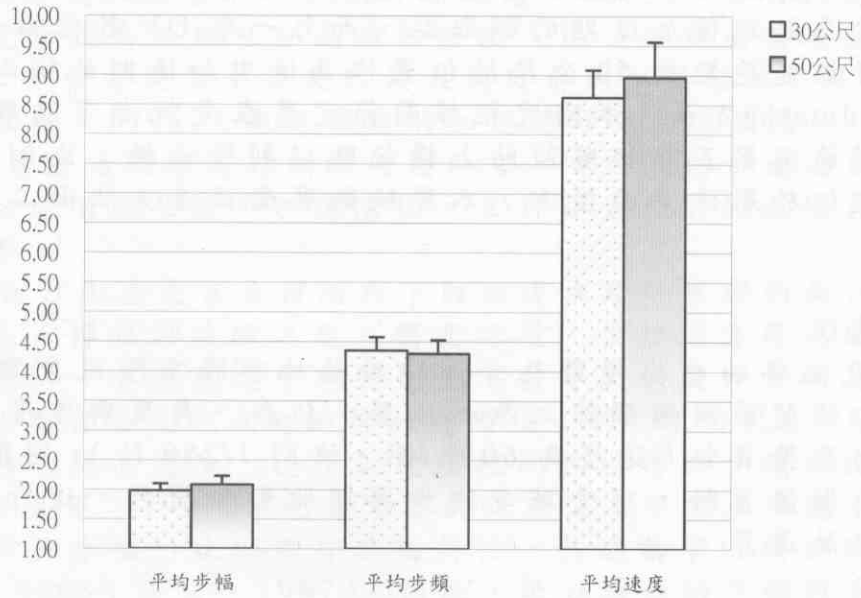


圖 3-1、十三位受試者兩個加速階段的平均步幅、步頻與速度。

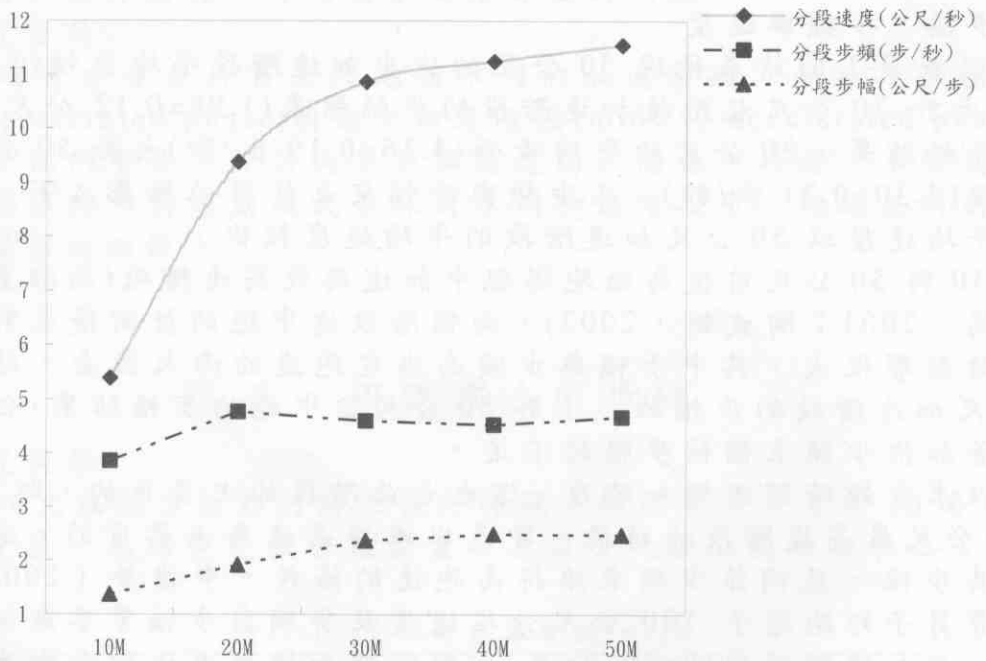


圖 3-2、世界優秀男子短跑選手 100 公尺，前 50 公尺分段速度及步頻與步幅等參數的趨勢圖。(資料來源：申偉華，1998，優秀運動員百公尺短跑加速模式及因子分析)

Donati (1995) 針對短跑的步頻與步幅的最佳組合作相關的研究中發現，縮小步幅、加快步頻或刻意加大步幅，導致步頻變慢，均會使成績表現不佳。然而，一位優秀的短距離選手，想要在百公尺跑中以最佳的步頻與步幅比率組合，將比追求最大速度來的重要，而途中跑的技術關係著步頻與步幅合理的組合。因此，本研究將以不同加速階段中，步幅與步頻的結果為基礎，來探討下肢跑動的過程，其各項運動學參數對步頻、步幅可能產生的影響，進而了解加速跑階段的技術與策略。

二、大腿與膝關節角度相對圖

對跑步或短跑而言，下肢關節的角度會隨著選手的等級與跑速而有所不同，其最大或最小的峰值並不十分重要(Novacheck, 1998)，其關節變化曲線出現的時機對於觀察不同階段的加速技術顯得格外重要。

由圖 3-1 的結果發現，50 公尺途中加速階段的步幅大於 30 公尺起跑後加速階段的步幅。而步幅的增加是透過下肢關節或肢段間的活動來決定，這種改變可由關節角度的活動範圍與關節間位移模式來評估得知，如圖 3-3 大腿與膝關節的角度相對圖所示，從 a 點至 b 點為一步週期中的支撐階段，其餘部分皆為騰空擺動階段。在支撐期中膝關節開始屈曲，大腿從前向後伸展，直至膝關節屈曲至 c 點的關節角度時，我們稱此階段為“制動期”(a 點至 c 點)。隨後膝關節隨著大腿同時盡最大地能力伸展，我們稱之為“推蹬期”(c 點至 b 點)。在跑步騰空擺動階段，下肢在蹬離地面瞬間，大腿從蹬伸快速往前帶動，膝關節在通過與地面的垂直線後屈曲至最小值，我們稱此階段為“收縮折疊期”(b 點至 d 點)。大腿持續往前帶動至最小角度，膝關節漸漸伸展至足部著地，此階段稱之為“前擺下壓期”(d 點至 a 點)。此四個階段構成了跑步周期中下肢關節的運動模式，同時也決定了跑步的步幅大小。此種跑步下肢角度相對圖除了可以更明確的區分跑步周期的四個階段之外，更有利於比較短跑不同加速階段條件(30 與 50 公尺)跑步的技術差異以及跑者間的協調能力(Enoka, 2002)。

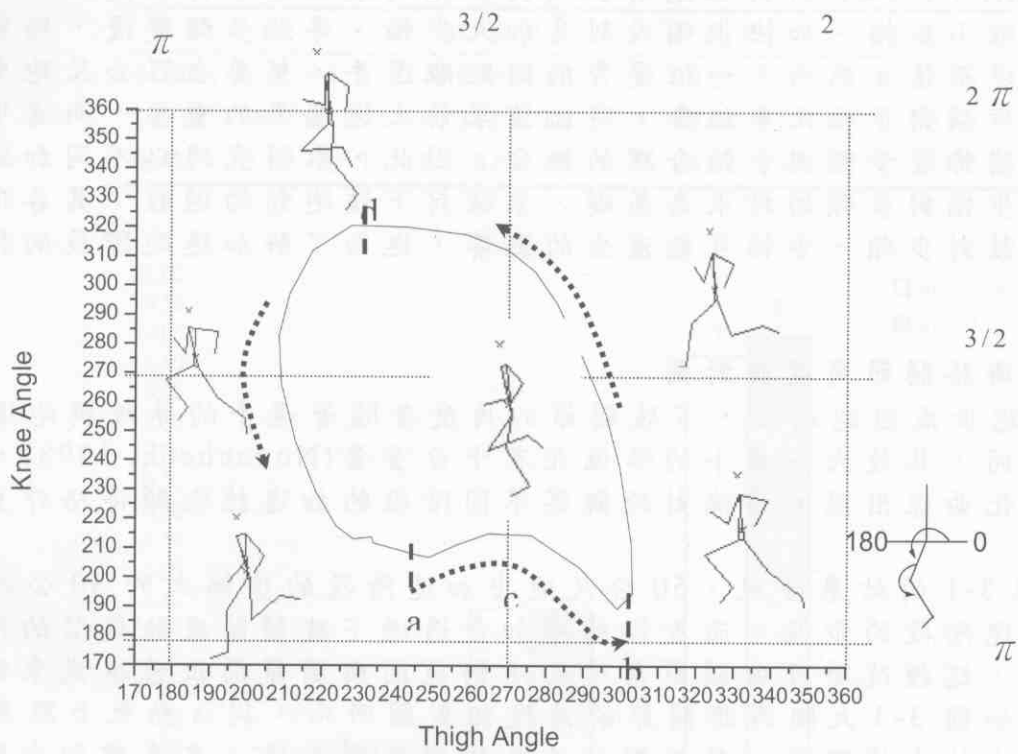
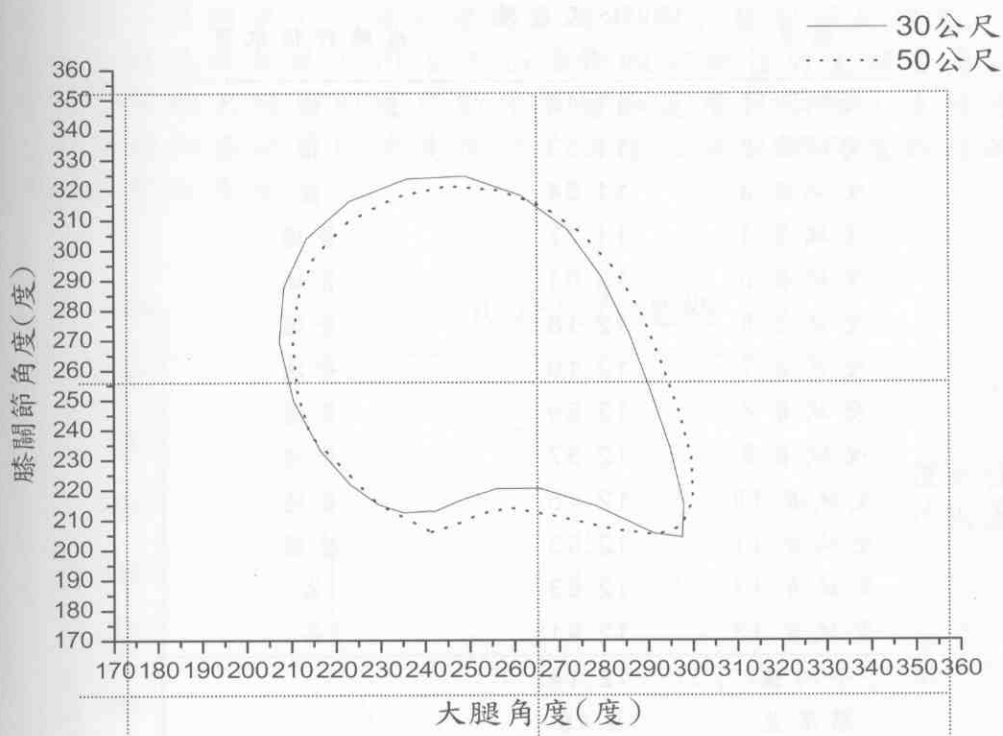


圖 3-3、圖為受試者右腿大腿與膝關節的相對圖。圖中曲線 a 點至 b 點為短跑右腿支撐期，其他範圍則為短跑右腳騰空階段。

圖 3-4 為兩個不同加速階段的下肢角度相對變化圖。在步態支撐階段內，30 公尺加速的制動期與蹬離期的膝關節角度活動範圍(range of motion)均較 50 公尺高速階段有明顯變化且彎曲角度也較 50 公尺大，大腿在支撐階段的活動範圍與角度大小也與膝關節有相似的结果。在騰空擺動階段，50 公尺高速階段在收縮折疊期膝關節的彎曲程度較 30 公尺加速來的大。而在前擺下壓期中，50 公尺的大腿與膝關節似乎以較快且較大的伸展來進行下壓的動作。

如上節所述，30 公尺階段是以加速為主要訴求，而 50 公尺階段是以維持高速為主要目的。30 公尺步態支撐階段的結果似乎說明了，跑者需要透過膝關節的屈曲(制動期)以及大腿較完全的蹬伸動作(推蹬期)來促使下肢伸肌肌群進行更強大的收縮，產生較快的速度。而 50 公尺支撐期的關節角度變化結果(膝關節適當地變化)，會使重心平穩地向前移動，避免不必要的能量耗損，這也說明膝關節緩衝幅度過大會造成支撐時間過長，進而影響此階段高速度的維持(張慶文、王保成和曹之剛，2000)，這種膝關節較“硬”的策略，在跑步與走路的重心變化中也獲得驗證。



圖

3-4、百公尺跑 30 與 50 公尺加速期大腿與膝關節的角度相對圖。其中實線為 30 公尺加速期的相對曲線圖，而虛線則為 50 公尺高速期的相對曲線圖。

而在步態的騰空擺動階段中，50 公尺加速階段下肢的動作策略便是利用較明顯的膝關節後勾(收縮折疊期)與伸展動作(前擺下壓期)的動作來增加步幅長度。閔凡亭和李武緒(2002)指出 50 公尺途中跑較佳的下扒技術能減少支撐階段抑制期中地面反作用力的減速作用，有利於最高速度的維持，而下扒技術便是由較佳的腿後勾技術與前擺下壓動作所組成。而在 30 公尺步態的騰空擺動階段中，結果比較傾向於在前擺下壓期時大腿的前抬與膝關節稍大的彎曲，這種策略將可使跑者有更充分的空間，在前擺下壓期時用力抓地來加速。

三、技術優劣選手的差異

本研究為了評估短跑加速階段的技術優劣，將受試者的 100 公尺成績、各加速期階段的速度、步頻與步幅加以綜合分析，結果如下表 3-2 與 3-3 所示。成績評估方式以整體平均值上下一個標準差的範圍來區分成績”佳”與”劣”兩層級，而平均值上下標準差之間的範圍評定為成績”普通”。十三位選手中有三位受試者的 100 公尺成績是屬於較佳的，有兩位受試者屬於 100 公尺成績較劣的受試者。再者，各加速期的步幅與平均速度的結果發現，100 公尺總成績佳的選手在步幅與平均速度上，30 公尺加速階段的步頻雖然相同，但是步幅卻明顯大於的成績劣的選手。50 公尺加速階段的上述參數成績佳的受試者便均大於成績劣的受試者。

表 4-1、受試者 100 公尺成績與評估水準評估

姓名	100 公尺成績 (秒)	成績評估水準
受試者 1	11.44	佳
受試者 2	11.53	佳
受試者 3	11.54	佳
受試者 4	11.77	普通
受試者 5	12.01	普通
受試者 6	12.18	普通
受試者 7	12.19	普通
受試者 8	12.29	普通
受試者 9	12.37	普通
受試者 10	12.46	普通
受試者 11	12.53	普通
受試者 12	12.63	劣
受試者 13	12.91	劣
平均值	12.14	
標準差	0.46	

表 4-2、成績水準佳與劣受試者在不同加速階段的運動學參數

運動學參數		成績佳	成績劣
30 公尺平均步幅 (公尺/步)	平均值	2.03	1.84
	標準差	0.14	0.03
30 公尺平均步頻 (步/秒)	平均值	4.61	4.61
	標準差	0.23	0.22
30 公尺平均速度 (公尺/秒)	平均值	8.77	8.29
	標準差	0.32	0.06
50 公尺平均步幅 (公尺/步)	平均值	2.11	1.96
	標準差	0.24	0.001
50 公尺平均步頻 (步/秒)	平均值	4.52	4.49
	標準差	0.23	0.23
50 公尺平均速度 (公尺/秒)	平均值	8.82	8.54
	標準差	0.35	0.19

跑速為步頻乘以步幅，當步頻相同時，步幅便決定了跑速。在 30 公尺加速階段中，成績佳的受試者步幅大於成績劣的受試者。從圖 3-5 顯示，在支撐階段的制動期中，成績劣者膝關節有不正常的屈曲動作，相較之下，成績佳的受試者制動期膝關節變化平緩，並沒有明顯的緩衝現象。而在支撐階段推蹬期中，成績佳的受試者下肢能充分地推蹬並伸展大腿與膝關節，成績劣的受試者在此階段並沒有相似的動作，且動作範圍比技術佳的受試者小得許多。在騰空階段中，成績佳的受

試者在收縮折疊期的大腿後勾與夾腿的動作幅度較成績劣的受試者大。而前擺下壓期中，成績劣者則有過度伸展膝關節的現象。

由以上的結果發現，30公尺加速階段成績佳的受試者是以較充分的下肢推蹬與較大幅度的後勾動作來增加速度與步幅。成績劣的受試者須加強蹬離期各關節的伸展推蹬，並修正騰空階段擺動腿的後勾技術與膝關節著地角度。

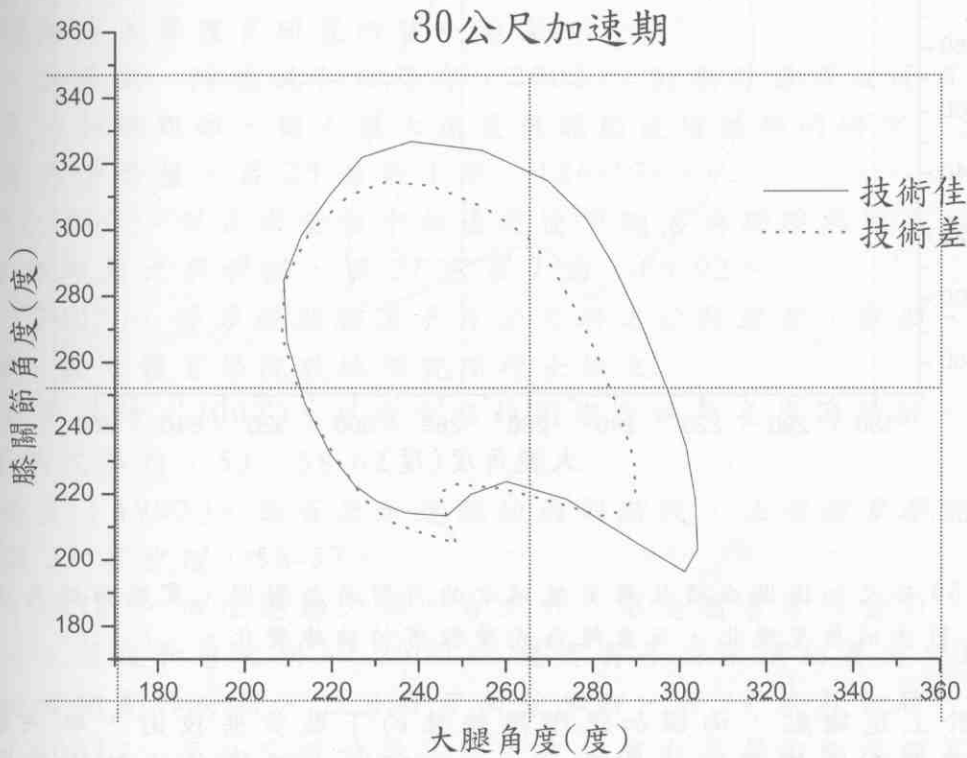
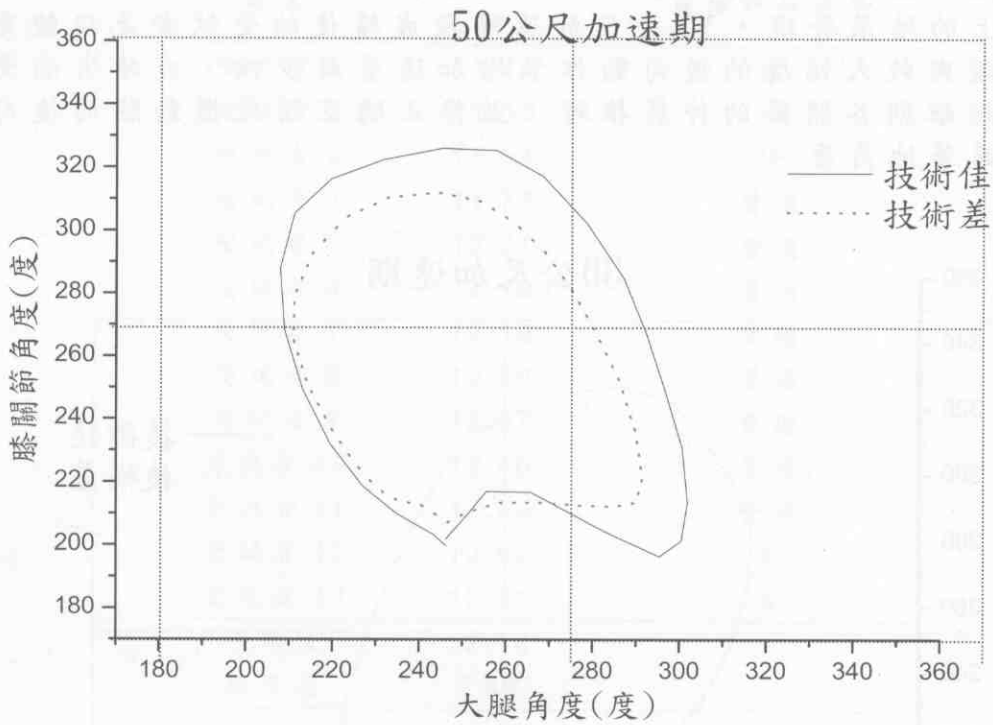


圖 3-5、為 30 公尺加速期成績佳與劣受試者的角對角相對圖。實線曲線為成績較佳的角度變化，而虛線為成績較劣的曲線變化。

而 50 公尺加速階段，成績佳的受試者不僅在步幅上大於成績劣的受試者，步頻上的優勢也是導致 50 公尺平均速度較快的原因之一。有趣的是，成績佳的受試者在騰空階段不僅有較大的後勾動作之外，相對於成績劣的受試者，成績佳的受試者大腿前擺下壓的動作更是明顯(如圖 3-6)。再者，有關於支撐階段的膝關節角度變化情形，成績佳的受試者可能因為較快的跑速與運動強度，其膝關節屈曲角度較大。這意味者成績佳的受試者依然必須因運動的高強度而採取膝關節緩衝的策略，以換取蹬離期較有效的利用下肢肌肉的彈性能，進而產生更大的推蹬力量與下肢伸展動作。相對於此，成績劣者在跑步支撐階段制動期中，膝關節幾乎沒變化，而蹬離期大腿與膝關節也沒有充分的伸展，這使得推蹬力量驟減，相對地速度也就無法維持。



圖

3-6、為 50 公尺加速期成績佳與劣受試者的角對角相對圖。實線曲線為成績較佳的角度變化，而虛線為成績較劣的曲線變化。

基於上述論點，兩個加速階段較佳的下肢步態技術，取決於支撐階段推蹬期下肢推蹬的延展度 → 騰空期小腿後勾的動作範圍 → 大腿前抬的幅度以及支撐階段制動期膝關節因應運動強度所做的調節。這些因素串聯起來便產生較大的步幅，也是較佳的跑步技術！

肆、結 論

30 公尺加速階段是利用加快步頻在短時間獲得速度，而 50 公尺高速階段則是以增加步幅來維持高速。兩個加速階段的步態差異在於 30 公尺加速階段跑者會在支撐階段利用膝關節的調節，使大腿與膝關節在推蹬期時能充分蹬伸，增加速度；而 50 公尺高速維持階段，跑者則是在騰空擺動階段加大下肢收縮折疊與前擺下壓的動作幅度來增加步幅，而膝關節的調節似乎確保了 50 公尺階段重心的向前，避免垂直方向的能量消耗，以求高速的維持。對於技術而言，充分的下肢蹬伸、避免過度膝關節的緩衝是受試群中成績劣者在 30 公尺加速階段需要加以修正的，而在 50 公尺高速階段步態的騰空部分，下肢動作幅度的增加，則是技術佳受試者能增加步幅的關鍵之一。本研究利用關節角度相對圖來評估不同加速的階段與技術的優劣，對於短跑的研究與指導上均有其定量與定性方面的價值。

參考文獻

- 石宏 (1997)。短跑步長、步頻及其派生指標的運用。《中國學校體育》，第3期，43-44。
- 申偉華 (1998)。優秀運動員百米短跑加速模式及因子分析。《體育學刊》，第一期，11-15。
- 李昭慶 (2003)。著釘鞋與不著釘鞋百公尺途中跑之動學分析。國立台灣師範大學體育研究所碩士論文。
- 周鐵民、袁榮凱、陳曉婉和吳亞存 (2002)。對國外優秀女子百米運動員的加速距離、個人最大速度與運動成績關係的研究。《北京體育大學學報》，第25卷第1期，126-128。
- 馬湘君。(2000)。對百米全程中加速跑途中跑名稱距離與強度的探討。《首都師範大學學報》，第21卷第1期，88-92。
- 陶武訓 (2002)。優秀短距離選手百公尺跑之分段速度、步頻、步幅分析。國立體育學院教練研究所碩士論文。
- 閔凡亭和李武緒 (2002)。短跑全程技術變化的內在原因淺析。《山東體育學院學報》，53，58-62。
- 許健和張豐 (1997)。西百米加速跑的兩個階段。《上海體育學院學報》，第21卷增刊，56-57。
- 許樹淵 (1978)。《田徑運動力學》。台北市：協進圖書有限公司。
- 張慶文、王保成和曹之剛。(2000)。優秀男子百米運動員途中跑支撐腿緩衝動作分析。《上海體育學院學報》，第24卷第1期，50-52。
- 蔡於儒 (2001)。百公尺跑地面反作用力的控制與技術動作研究。國立台灣師範大學體育研究所碩士論文。
- 鄒克寧 (1995)。從劉易斯與鄭晨步頻步幅對比看中外運動員100m跑的技术差距。《湖北體育科技》，第55期，19-20。
- Donati, A. (1995). The development of stride length and stride frequency in sprinting. *International Amateur Athletic Federation*.
- Enoka, R. M. (2002). *Neurmechanics of Human Movement*. 179~185
- Novacheck Tom F. (1998). The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 7, 77-95.

The Kinematical Analysis of Sprinting in Different Accelerated Phase

Chao-Ching Lee¹, Shu-Hui Lin², Ching-Tang Wang³

Tamkang University¹

National Taiwan Normal University²

National Taiwan College of Physical education³

Abstract

The purpose of this study was to investigate the difference of lower extremity coordination between the start-accelerated and mid-accelerated phase in 100 meter sprint. Two cameras were set to capture film images of twelve subjects' action when they sprinted through the line of 30 and 50 meters, and two dimensional analysis was used to quantify kinematical data of lower extremity. The results showed that the different accelerated phase represented the different patterns of thigh-knee diagrams in a stride gait circle, and it revealed that sprinters might adjust the strategy of sprinting skill to increase running speed or stride length in different phases. The methods was also used to diagnose the difference between skilled and unskilled subjects qualitatively who participated in this study.

Key Words : thigh-knee diagram, two dimensional analysis, accelerated phase