

影響短距離起跑之生物力學分析

翁梓林*

摘要

本研究係採用以文獻探討的方式，將影響短距離起跑中有關生物力學(運動學與動因學)常用研究主題的參數作一比較研究，並作有系統化整理，予以歸納出研究結果，提供教練與研究人員作為日後研究方向的參考與建議。經文獻的整理與討論得知，影響短距離起跑的生物力學表現如下：

一、起跑架相關位置與短距離起跑之表現而言，發現到短式起跑法(bunch start)在重心接近起跑線、反應時間上較有利；中式起跑法(medium start)在身體平衡狀態較有利；長跑起跑法(elongated start)則在雙腳推蹬力及身體放鬆狀態較有利。

二、受 SSC 之機轉影響，對短距離起跑推蹬階段的肌肉群而言，以股直肌、比目魚肌及腓腸肌影響最鉅。

三、短距離起跑推蹬階段之前、後腳膝關節角度應為 90~110 度及 130~140 度；且關節傾斜角度與體型無關。

四、短距離起跑推蹬階段之身體重量分配到雙手之比例小於 50%；且身體重心位置至地面高度平均為 60~66 公分。

五、世界一流的短距離選手，後腳的推蹬力量比前腳推蹬力量來的大；但垂直方向的推蹬總衝量則前腳比後腳大。

關鍵字：「伸展—縮短循環」；運動學；動因學；身體重心位置；中式起跑法；煞車力量；短距離起跑

*翁梓林：體育學系講師

影響短距離起跑之生物力學分析

翁梓林*

壹、研究動機

短距離跑(the sprint start race)乃是透過起跑姿勢(start position)，把處在靜止的人體，在最短暫的時間內產生最快的速度。而田徑比賽中 100m、200m 及 400m 的短距離跑項目，是田徑運動的根本；所以，短距離跑的選手必須具備有速度(speed)、肌力(strength)、肌耐力(muscle endurance)、瞬發力(power)、平衡(balance)、協調性(coordination)及敏捷(agility)等運動能力。從技術的觀點來說，選手應注重起跑、加速跑、等速跑、速度性的耐力及衝線等基本技術。而短距離賽跑的起跑(start)技巧，對選手而言是相當重要的一環，亦是獲得最好表現的主要來源。Tellez & Doolittle(1984)研究指出，從起跑架推蹬的時間，約為 100 公尺賽跑所花時間的 5%。無論如何，要成為一位優秀短跑選手，應在起跑時儘可能減少其推蹬的時間。

從過去有關研究短距離起跑表現有三個主要焦點：起跑架距起跑線的距離，前腳膝關節角度及雙手支撐身體質量的比例(Mendoza, L. & Scholthorn, w., 1993)。從短距離起跑的運動方式文獻裏，可發現大部份研究者建議採用蹲踞式起跑(Crouching start)裏的中式(Medium start)起跑法。這種中式起跑法的步伐應用，所強調的前腳與後腳的膝關節角度儘可能維持適當角度，讓髖關節與地面保持適當的高度，使起跑者必須有足夠能力，透過身體各關節及肌肉的變化，來組合最大的力量，進而去發展較大的力量，特別是水平方向的變化。一般而言，選手在聽到槍響聲後，對起跑技術的掌握，就是要有足夠的加速度產生，並利用力學的原理，尋找出起跑架的適當比例位置。儘管大多數田徑教練同意，短距離跑的比賽，良好的起跑技巧是贏得勝利的主要指標，但對起跑技術這個課題，如何運用生物力學的變數，去修正並改善技巧較差的選手，一直是待克服的問題。是故，從以上這些問題背景說明，

*翁梓林：體育學系講師

有關起跑相關研究文獻必須要進一步整理，並建立其資料之可靠性。其重要性不只在瞭解世界一流男女選手的動作特徵；亦將所得之資料提供教練與選手在訓練上的參考依據。

貳、研究目的

本研究目的共六點分一、就起跑架的相關位置與起跑表現的分析；二、SSC 機轉在短距離起跑應用；三為推蹬階段的運動學分析；四為推蹬階段的動因學分析；五為起跑後的運動學分析；六為起跑後的動因學分析。

參、研究方法與內容

本研究係採文獻研究法方式，將短距離起跑相關文獻，依運動生物力學的主要範疇予以分類，並加以討論。

一、起跑架位置與短距離起跑之表現(Block Positioning and Sprint Start Performance)

初起跑架的位置(Inter-Block Distance)

初學短距離起跑而言，對起跑架的最佳距離位置(optimal block position)比任何有關起跑概念來得重要(Dohearty, 1985)；從過去的文獻記載，根據前後腳(anteroposterior)的關係，來定義起跑架的距離；通常起跑的運動方式有三種分別為：1、短式起跑法(bunch start；小於 30 公分)；2、中式起跑法(medium start；30 至 50 公分)及 3、長式起跑法(elongated start；大於 50 公分)見表 1。

Dickinson(1934)研究報告，在 25 碼(22.9m)起跑中，發現短式起跑法的速度與時間較優於中式起跑法及長式起跑法；相反的，Kistler(1934)亦發現推蹬力量方面，以長式起跑法優於中式起跑法；而短式起跑法較無法產生足夠力量來推蹬。Henry(1952)報告指出短式起跑法對離開起跑架的反應時間較短，此論點與 Dickinson 所提報告是符合的。然而，一旦起跑距離達到 50 碼(46.72 公尺)時，短式起跑法在時間上掌握，就不是最好起跑方式。Henry(1952) & Stock(1962)就研究指出，在起跑距離 20 碼(18.29m)與 50 碼(46.72 公尺)所花的時間上，最好的起跑表現為中式起跑法。而三種起跑姿勢之特性比較見表 2。

表 1 蹲踞式起跑基本類型

足部關係 起跑的姿勢	前 腳		後 腳	
	前腳至起跑線的距離	使用方法	後腳與前腳之間隔	使用方法
短式起跑(bunch start) (11 吋)	45 公分	一腳長加一手掌	小於 30 公分	站立時後腳尖在前腳踵側
中式起跑(media start) (16 吋)	35 公分	一腳掌半的距離	30~50 公分	後腳膝蓋置於前腳尖之旁
長式起跑(elongated start) (21 吋)	30 公分	一手掌半的距離	大於 50 公分	後腳膝蓋置於前腳踵旁

表 2 三種起跑姿勢之特性比較(A、B、C 表示有利順序)

起跑姿勢 特性	短式起跑(bunch start)	中式起跑(media start)	長式起跑(elongated start)
重心接近起跑線	A	B	C
反應時間	A	B	C
身體平衡狀態		A	
保持身體放鬆起跑狀態	C	B	A
雙腳推蹬力	C	B	A
雙手負荷情形	C		

理論上，採用中式起跑法的姿勢，較能夠讓起跑時，身體的肌肉群完全發揮反射動作的伸展作用(Stock, 1962)。進一步說，中式起跑法的姿勢，能夠有較快的加速度產生，而使後腳的下方肌肉肢體產生足夠的力量來推蹬及肌群上的快速恢復。

物推蹬時傾斜角度(Block Obliquity)

在選手起跑前，影響肌肉的工作型態(muscle activity)及起跑表現，端視身體改變傾斜的角度多寡而定。Guissard et al(1992)發現選手未離開起跑架前在水平方向的身體傾斜角度從 70 度遞減至 50 度及 30 度，而起跑的速度也由 2.37→2.80→2.94m/sec 的遞增及加速度 7.46→8.36→9.03m/sec² 顯著的遞增。為了能有效改進身體傾斜的角度，應藉由肌肉活動的離心收縮及向心收縮結合，而完成肌肉的自然機能，讓衝力提早出現(Komi, 1992)。因為在起跑的預備姿勢中肌肉因受外力的作用而被拉長，此時肌肉首先作離心收縮，然後作向心收縮，這種方式的循環稱作

Stretch-Shortening-Cycle(SSC)。Komi(1984)、Bosco(1982)與 Gollhofer(1987)進一步指出 SSC 不僅是離心與向心收縮簡單的結合，而是一種相對獨立的運動機能。所以，對於肌肉的「縮短前伸展」及預先伸展，是可以增加肌肉的收縮力量，進而結合速度並有效釋放出爆發力。

肌肉的「縮短前伸展」以及「預先伸展」訓練，是可以增加肌肉收縮力量(黃彬彬 & 林正常，1984；蔡崇濱，1987)。而 SSC 的瞬發肌力反應了神經肌肉有機體通過離心動作，在有限的時間裏，儘可能產生向心收縮衝量的能力，這個運動過程常被稱為反射性運動(Reactive Movement)。在短跑的推蹬階段，就屬於短時間的 SSC；短時間的 SSC 的瞬發力建立在幾種機制共同作用的基礎上，以下肢肌肉為例，推蹬前，伸肌的活動受中樞神經的控制(Dietz, 1981)，肌肉相應的肌球蛋白的橫橋加固了肌肉的彈性硬度，以便減少肌肉在著地之初階段的被動拉長(劉宇等人，1996)，同時在離心收縮階段，由於牽張反射加大了肌肉力量，所以大部份的彈性能可以儲存在肌腱與肌肉的彈性組織內，這樣的結果可以在向心工作階段產生更強大的力量，所以推蹬的傾斜角度所造成肌肉的機轉是相當重要的。

二、SSC 機轉在起跑推蹬之應用

正如前面所述，SSC 機轉在起跑推蹬階段扮演角色是相當重要的。Hay(1997)曾對短距離起跑者，以三度空間模型來計算六塊主要肌肉的肌腱長度，分別為臀大肌(gluteus maximus)，腿後腱肌群(hamstrings)，股肌(vasti)，股直肌(rectus femoris)，比目魚肌(soleus)和腓腸肌(gastrocnemius)，實驗結果由影片數位化後的資料來判定這些肌肉群在起跑推蹬時肌肉活動情形，研究發現了肌肉長度與時間關係如下：(一)臀大肌在起跑時肌肉的長度幾乎保持不變然後變短；(二)腿後腱肌群在整個起跑期間變短，股直肌在整個起跑期間變長，而股肌-比目魚肌-腓腸肌經歷了 SSC 機轉伸展-縮短的動作順序特性。研究亦發現所有受試者的曲線前後是一致的，換言之，當整個起跑腳推蹬時，顯示三頭肌群在肌肉長度與時間曲線中，肌肉在剛開始時是縮短的，之後變長然後再次縮短。當股四頭-比目魚肌-和腓腸肌伸展的越短，會獲得越大的水平速度；而離開踏板推蹬時，對比目魚肌而言，會有一段距離快速的伸展及縮短，對於產生較大的水平速度效果是一樣的。

由於 SSC 機轉的加強，如果能延長肌肉長度與速度的話，此將可合理地去預測，當增加腳踝蹠部的伸展並對地面施加水平力量時，力量的增加將會獲得較大的水平速度。

總而言之，股肌與股三頭肌在起跑的推蹬階段上有以下重要的結果：

杖在起跑推蹬時這些肌肉越短，接著肌肉被拉長的距離就越大。

机肌肉拉長的距離越長，會使拉長的速度越快。

杈拉長速度越快，會有越大的力量產生(F-V 的關係)。

柁獲得越大的力量，就會有越大的水平速度產生。

籽最後，經由增大這些肌肉的伸展—收縮的循環，對水平速度的產生有顯著的貢獻。

三、推蹬階段的運動學分析(Block Phase Kinematics)

切關節的位置(The Set Position)

杖軀幹與膝關節角度(Trunk and Knee Alignment)：

在起跑的推蹬階段，軀幹與膝關節角度，有大多數研究指出應於量化，這些研究結果見表 3。Borzov(1980)指出對技巧好的起跑者而言，關節傾斜角度的最佳化(Optimal)與體型是無關的。

表 3 起跑推蹬階段軀幹與膝關節角度

關節角度(。)	前腳膝關節角度	後腳膝關節角度	軀幹傾斜角度
研究者			
Borzov(1980)	100(92-105)	129(115-138)	-14(-8 to -22)
Atwater(1982)	89(56-112)	118(90-154)	-23(-9 to -34)
Mero 等人(1983)	111	134	-29
Tellez Doolittle(1984)	90	135	無
Mero(1988)	96	126	-21
Mero & Komi(1990)	99	136	-21

註：軀幹傾斜角度係為從水平方向髖關節至耳朵之直線

Mero & Komi(1983)進一步說明強壯的起跑者對各關節傾斜角度之影響，指出強壯的起跑者，當離開起跑架時，較能運用較大關節伸展的範圍，去獲得較多的推蹬速度。但 Ben Johnson(其肌肉伸展水準較大多數 100 公尺選手來的大)這位選手的膝關節傾斜角度在前、後腳分別為 104 與 130 度 (Francis & Coplon, 1991)。與表二對照下角度的變化是相似的。所以，更能證明關節傾斜角度與體型是無關的。Mero & Komi(1983)研究優秀的短跑選手(10.8sec)與普通的短跑選手(11.5sec)指出在關節傾斜角度方面兩者是無顯著的。

机髖關節角度(Hip Joint Alignment)：

髖關節角度方面，對於優秀短跑選手與普通短跑選手而言，兩者有顯著的不同。有研究指出前腳的下方肌肉肢體髖關節角度方面，優秀的短跑選手約為 41 度，而普通短跑選手約為 52 度(Mero & Komi, 1983)。相對的，後腳的下方肌肉肢體髖關節角度方面，優秀的短跑選手約為 80 度，而普通短跑選手約為 89 度。兩個不同等級選手髖關節角度顯著不同(Mero & Komi, 1983)。從以上研究可發現起跑技術好的選手身體的位置，往往在髖關節伸展(stretch)狀況，會比起跑技術較差的選手來的理想。這種髖關節伸展情形，較容易獲得較大的力量產生，因為肌肉在外力拉長時，離心階段的肌肉的張力狀態，能承受較大的長度變化，同時又因肌鍵可以儲存能量，讓最後向心收縮的階段釋放相應較大的力量(Houk)。無論如何，文獻所報告在髖關節角度的減少，相對增加關節肌肉方面的載重力量，需藉由移動身體重心位置(TBCG)與關節軸的關係而定(Hoster & May, 1979)。然而，如果髖關節角度太小，會因增加手臂負荷距離拉長，而來導致髖關節的肌肉輸出功率降低(Hoster & May, 1979)。

全身重心位置(Total Body Center of Gravity Position)

大多數的田徑專家，都認為短距離起跑時，身體重心位置儘可能靠近起跑線(Start line)，這種觀念對起跑技巧好的人來說，愈能預期離終點線愈近，而且在推蹬起跑架時，選手必須將身體重心位置往前移，來減少實際跑的距離(Dickinson, 1934)。但是起跑者身體重心位置，如愈靠近支撐基礎面(Base of Support, BOS)，其所形成的位置就相對構成極不穩固(Instability)的狀態，所以雙手此時應讓身體重心位置拉到 BOS 之外，讓重心不穩情形降低(Sandstrom, 1983)。一般說來，選手一聽到槍聲後，此時雙手不在是基礎面的一部份，因雙手支撐後離開地面大約只有 0.15 至 0.20 秒的時間(Atwater, 1982 ; Ozolin, 1988)。所以，在反應時間方面，起跑熟練的選手約為 0.12~0.18 秒(Mero, 1988 ; Bruggemann & Glad, 1990)，當選手在推蹬力量產生後，雙手還是為基礎面的一部份，這段時間是相當短暫。而選手雙手離開地面後，僅有雙腳是基礎面的範圍內。因此，欲依賴雙手的支撐去改善身體位置的穩定是不適合的。

Tellez & Doolittle(1984)研究指出，如果選手對軀幹傾斜角度太過於強調，將會增加雙手支撐的負荷，應該要避免。Tellez 等進一步建議指出，為了減少雙手的負荷，選手的身體少部份重量儘可能加諸在雙手上(Stock, 1962)，但如果身體重量傳遞太靠進於身體脊椎(vertebral)前面，將使髖關節伸展角度過長，而造成雙手支撐的負荷，形成起跑的效率大大折扣(Hoster & May, 1979)；Korehemny(1992)研究指出應該要讓身體重量平均分配於前後腳之支撐及雙手上。

Bumann(1976)研究發現增加身體重心位置至起跑線水平距離，會影響運動員表現水準；所以在這篇研究結果發現在速度快的一組，這段距離為 16 公分；速度中等的這一組為 20 公分及速度較慢的一組為 27 公分。另外，用相同的水準比較在雙手減輕負荷方面，快 中 慢等三組不同速度，其所佔百分比分別為 73-82%，62-75% 及 52-67%。不過，Mero 等人(1953)針對身體重量分配到雙手上，比較不同起跑速度(分成三組)的差異，結果發現這方面三組是不顯著的。Mero 等人亦進一步發現重量分配到雙手上所佔的比例，任何一組都一致小於 50%(快 42.6%；慢 40.5%)。

雖然有多數的變量(variations)被探討有關身體重量分配到雙腳及雙手的適當比例，但從文獻裏，似乎可瞭解短距離起跑者，身體重心位置至相類似位置的距離，其相關變數的平均值是一致的(表 4)。Atwater(1982)研究世界一流的選手(100m 時間低於 10.40s)發現重心位置至地面高度從 0.48~0.66m 及重心至起跑線距離為 0.12~0.20m。從以上研究結果可支持優秀的短跑選手，會充分利用其身體適當的位置(前後腳及雙手)，讓起跑的表現而不會造成負面影響，並可能藉由特殊的身體能力去彌補不好的起跑技術(Francis & Coplon, 1991)。

表 4 短距離起跑者身體重心位置表

研究者	100m 時間 (sec)	人數 (N)	重心位置至地 面高度(m)	重心至起跑線 距離(m)
Vagenas & Hoshizaki(1986)	Group1 10.35	12	0.66	0.16
	Group2 11.11	8	0.60	0.20
	Group3 11.85	10	0.63	0.27
Atwater(1982)	<10.40	8	0.61	0.17
Mero & Komi(1983)	Group1 10.80	8	0.605	0.189
	Group2 10.80	9	0.621	0.180
	Group3 11.50	8	0.610	0.166
Mero(1988)	10.79	8	0.57	0.29
Mero & Komi(1990)	Group1 10.76	4	0.59	0.28
	Group2 10.82	4	0.55	0.31

物推蹬之技術(Block Technique)

當起跑者離開起跑架時，選手必需移動原來起跑姿勢，進入不對稱的平衡狀態，所以儘可能以較快的跑步動作來調整其平衡 (Vagenas & Hoshizaki, 1986)。除非有足夠垂直分力去克服重力，否則必需創造出較大水平分量向前傳遞，及快速恢復其肢體的推進力(propulsive)，產生較有利跑步狀態。

選手在推蹬時可能會面對下列窘境的情形：無論使用較長的後腳(Rear extremity)在推蹬起跑架(恢復肢體的時間較遲)，還是用較少的推蹬力量(恢復肢體的時間較早)，都會讓開始跑的動作提早發生。所以，為了出現身體平衡於力量的持續及推蹬的後腳肢體快速恢復，可藉由中式起跑法的姿勢，來獲得以上最好的選擇(Hoster & May, 1979)。總而言之，大部分的文獻皆一致認為，一個快速的起跑技術特徵，就是讓雙腳在推蹬時獲得較大的爆發力及能夠維持身體較低的角度，去獲得最大的水平分力。

四、起跑後的運動學分析(Post-Block Kinematics)

切身體重心位置水平位置(Horizontal Positioning of the TBCG)

短距離選手一旦離開起跑架後，接下來的要務就是要讓雙腳準備與地面接觸後，產生最大的起跑速度。如果後腳推蹬(Rear block foot)以後，第一步的腳趾與地面的接觸，是在身體重心位置之後，這起跑者立即在身體後方會有最大的水平分力可應用。然而，推蹬後第一步的腳趾與地面接觸時，是在身體重心位置之前，此時將會有像煞車般的最大水平分力(Horizontal braking force)產生，一直到這力量將身體重心位置傳遞至與地面接觸為止(Mero & Komi, 1983; Mero, 1988)。所以，起跑者所要強調的觀念就是儘可能在第一步腳接觸地面後，身體重心位置還能留在前面，讓煞車的水平分力能較早發生(Mero & Komi, 1983; Schot & Knutzen, 1992)。

對優秀短距離選手而言，在推蹬後前、後腳的位置，至身體重心的水平距離分別為 0.131m 及 0.037m；進一步來說，當前後腳分別接觸到地面後，身體重心位置與地面所形成的角度，分別由後腳將離開的起跑架的角度 43 度，改變至第一步腳趾與接觸地面時所夾的角度為 50 度及第二步腳趾與接觸地面時所夾的角度為 53 度(Mero & Komi, 1983)。Schot & Knutzen(1992)進一步研究發現，在起跑的四種運動方式裏，沒有一種是在第一步接觸地面後，腳趾留在身體重心位置之後。

推蹬後前、後腳之步幅(Step Length)

Korchemny(1992)指出要成為短距離起跑技術中，最佳化表現的一部份，就應增加起跑後第一步的步幅。Atwater(1982)對美國 10 位短距離選手研究指出，第一步的平均步幅為 1.02m(0.98~1.20m)。但亦有研究指出第一步的步幅過長，可能會阻礙起跑後的動作連貫性，而且身體後方的煞車力量所聯結第一步與地面接觸點之前的重心位置，發現並沒有明顯比步幅較短的高(Schot & Knutzn, 1992)。Schot & Knutznu 亦發現，長式起跑法比短式起跑法(Crowded start)明顯在第一步著地後有較

長的步幅(約為 6%)；換言之，不管是長式起跑法(減少第一步幅的 2%)，或則是短式起跑法(增加第一步幅的 3%)，其身體往前的傾斜(forward lean)角度程度，都會影響第一步的步幅。

犴地面接觸時間&飛行的時間(Ground Contact and Flight time)

對優秀短距離起跑的男選手而言，在第一步著地時間範圍為 160~194 毫秒(Atwater, 1982；Mero & Komi, 1990；Mero, 1988；Balsevich, 1989)；而第二步著地時間範圍為 150~181 毫秒(Atwater, 1982；Coppendale, Delecluse & Goris, 1990)。而第一、二步與地面接觸時間是全部腳著地時間(接觸時間+飛行時間)的 82% 和 76%(Atwater, 1982)。在飛行時間方面，對優秀短距離選手第一步著地的飛行時間是 60~70 毫秒；第二步著地的飛行時間是 44~90 毫秒(Atwater, 1982；Mero & Komi, 1990)。所以，兩步所用的時間來說，在飛行階段所使用的時間較著地所費的時間少。

(四)地面支撐階段，身體重心的垂直位移(Vertical Displacement)

對起跑技術較好的男選手而言，在腳推蹬起跑架後，腳與地面接觸階段的開始，其身體重心位置是垂直下降的，之所以身體重心位置要垂直下降，是因為增加與地面的接觸時間及利用身體往內轉身的動作來減少其速度(Mero & Komi, 1983)。Mero & Komi(1983)研究發現起跑較快的選手，在第一步的離心階段，其身體重心垂直下降為 $0.017 \pm 0.016\text{m}$ ；而起跑較慢的選手為 $0.027 \pm 0.014\text{m}$ ；這樣研究結果顯示起跑技術較差的選手，較不能夠有效率地利用身體重心下降方向的反轉(reverse)動作；也就是說，起跑技術好的選手，比較能夠運用肢體下方的肌肉伸展彈力，來達到起跑的效果(Mero & Komi, 1983)。

玆身體重心的水平速度(Horizontal Velocity of the TBCG)

通常，對起跑技術較好的男選手而言，在腳推蹬起跑架後，第一步腳趾著地後，其身體重心的水平速度為 4.65~5.16m/sec(Mero, 1983；Mero & Komi, 1990；Schot & Knutzen, 1992)。而 Mero 等人(1983)研究亦指出，起跑技術好的男選手，在推蹬起跑架後，第二步腳趾著地後，其平均重心水平速度為 5.7m/sec。Mero 等人(1983)進一步發現起跑技術好的選手，在第一步著地開始的煞車階段(braking phase)，其重心水平速度減少百分比約為 3.5%；而起跑技術較差的選手，其重心水平速度減少百分比約為 11.3%；同樣的道理，當第二步著地的開始，其重心水平速度減少百分比，在優秀的起跑選手與較差的起跑選手分別為 3.7%、8.8%。

(六)軀幹的角度(Trunk Alignment)

有不少的研究發現，當前腳推蹬起跑架後與地面接觸時，其軀幹的角度約為 45 度角(Atwater, 1982; Mero, 1988)；然而，亦有研究指出，Ben Johnson 這位選手所採用的起跑方式為俗稱(termed)的跳躍式起跑法(Jump start)。這種技術，就是兩塊起跑架的前後距離小於 28cm，讓前腳推蹬起跑架後，與地面接觸時，能藉著軀幹角度(約為 65 度)的提高來獲得較大槓桿效能(Lever Effect)(Francis & Coplon, 1991)。所以，在這種跳躍式起跑的技術，可以使選手在推蹬時較容易利用髖關節的伸展力量，去獲得較多加速度(Mero & Komi, 1990)。

五、推蹬階段的動因學分析(Block Phase Kinetics)

一位優秀短距離跑的選手最主要特色，就是能善用較大的力量，應用到水平方向(Baumann, 1976)。而影響短距離起跑的動因學參數(Parameter)中，似乎可決定其選手起跑的表現。

切肌肉預前伸展(Pre-Tension)

Baumann(1976)將「突然出現的張力(Spring tension)」的定義在推蹬起跑架後，將身體重心位置後方的轉移力量，應用到起跑時雙腳的推蹬力量。Van Coppenolle 等人(1989)認為肌肉預前伸展(Pre-Tension)，被視為是一種離心收縮的方式，目的是降低下肢體肌肉的負荷，使肌肉容易行向心收縮，來獲得較大力量(Guissard, Duchateau & Hainaut, 1992)。有相關研究發現(Van Coppenolle 等人, 1989)，對起跑優秀的男選手而言，在前腳推蹬時，肌肉預前伸展的力量為 20~88N；而後腳推蹬時，肌肉預前伸展的力量為 80~102N。

物最大力量(Peak Force Activity)

對後腳推蹬起跑架(起跑階段)而言，優秀的短距離選手，比不好的起跑選手較能夠有適當的推進力(Gagnon, 1978)。大部份研究一致認為，起跑的力量來源，不管是從前、後腳與起跑架的推蹬(起跑階段)，或到單獨的水平分力、垂直分力與合力等三個變數，其優秀起跑選手在這三個方向的分力分別為，1186~1224N；766~958N 及 1426~1555N(Mero & Komi, 1983; 1990)。Kistler(1934)、Hoster & May(1979)研究指出，優秀的起跑男選手，在前腳推蹬時之合力為 874~1230N；亦有研究發現前腳推蹬時之水平分力為 1062N(Van Coppenolle 等人, 1989)。相對地，在後腳推蹬時的最大合力為 535~1785N(Kistler, 1934)；Van Coppenolle 等人(1989)對世界冠軍的短距離起跑選手研究發現，其後腳推蹬時之水平分力為 1285~1487N。由以上研究數據可瞭解到，熟練的起跑選手通常在前腳推蹬的最大力量較後腳推蹬

力量來的少，而且後腳推蹬的力量比較容易迅速傳遞身體向前的水平力量。

犴推蹬起跑架的時間(Block time)

推蹬起跑架的時間的定義是，前後腳的任何一腳，推蹬力量開始產生後，到該點(point)沒有進一步力量發生為止，所花的總時間稱之(Mero, Luhtanen & Komi, 1983)。有研究指出前、後腳推蹬力量開始時，力量是同時發生的；但亦有少數研究報導其前、後腳推蹬時的力量是獨立的(Mero 等人, 1983; Mero & Komi, 1990; Payne & Blader, 1971)。然而，前腳推蹬時所花的時間是極為短暫，大約為 0.02~0.047sec(Henery, 1952; Baumann, 1976; Van Coppenolle 等人, 1990)。所以，當一位起跑技術有瑕疵的選手時，其推蹬時間的延遲，就是評估起跑表現的主要依據(Van Coppenolle 等人, 1990)。而有關推蹬的時間所做的研究結果如表 5：

表 5 優秀起跑者之推蹬時間

作者	100 公尺 (sec)	樣本 (人)	前腳推蹬時間 (sec)	後腳推蹬時間 (sec)
Henry (1953)	12.05	18	0.344	0.163
Pame & Blader (1971)	世界級選手	17	0.327~0.330	0.123~0.182
Baumann (1976)	10.35	12	0.369	No
	11.85	10	0.391	No
Mero & Komi (1983)	10.80	8	0.361	No
Mero (1988)	10.79	8	0.342	No
Gagnon (1978)	10.21	3	0.310	0.16
Van Coppenolle (1990)	10.96(Female)	4	0.323	0.163
Mero & Komi (1990)	10.78	8	0.345	0.153
Hafez, Roberts & Seireg(1985)	10.60	8	0.340~0.360	No

由表 5 所示可發現，起跑技術熟練的選手，前腳推蹬的平均時間約為 0.31~0.37sec；後腳推蹬的平均時間約為 0.12~0.18sec。所以，好的起跑選手之推蹬

時間明顯快於較差的選手。

犖衝量(Impulse)

衝量的定義為推蹬的時間乘上推蹬的力量；而起跑者的衝量為雙腳離開起跑架後，其力量曲線相對於時間的積分(integrating)。

$$\int F \cdot dt = m(v_1 - v_0) = m(\Delta v)$$

Payne & Blader(1971)認為起跑技術好的選手(100m 為 10.8sec)，其評估起跑的表現，應該儘可能獲得較大的水平衝量為依據；而在水平衝量方面其值為 233~234 N-Sec；垂直衝量為 172~231N-Sec。而選手起跑較不成熟者，水平衝量其值為 195 N-Sec、垂直衝量為 178 N-Sec(Mero 等人，1983；Mero，1988)。Baumann(1976)亦研究發現起跑速度較快的選手，在水平方向能獲得較大的衝量(約 263 N-Sec)；而差的選手衝量約為 214 N-Sec。Baumann(1976)進一步指出兩類不同水準的選手，在推蹬時間上的差異是不明顯的。

Van Coppenolle 等人(1989)曾對兩名 100 公尺優秀短距離跑的男選手(10.02 與 10.22sec)研究發現在推蹬時總衝量分別為 308N-sec 及 301N-sec。然而，這兩名選手在前、後腳推蹬時的總衝量分別為(209 與 155 N-sec；99 與 146 N-sec)，顯然這樣的結果是非常不一樣的，通常以肌肉肢段觀點而言，前肢段比後肢段有兩倍長之推蹬力量，所以縱使後腳的肢段有較大平均力量輸出，但前腳推蹬時還是有較大的總衝量。

玳推蹬速度(Block Velocity)

選子在起跑時前腳推蹬後，腳與地面接觸時，其推蹬的合速度，就是所謂的推蹬速度，抑是離開起跑架的速度(Kistler，1934)。對於優秀的選手而言(100 公尺為 10.02~10.79sec)，其推蹬的速度範圍為 3.46~3.94m/sec(Mero，1988；Mero & Komi，1990；Bauman，1976；Van Coppindle，1990)；相對地，較差的選手(100 公尺為 11.5~11.85sec)，其推蹬速度為 2.94~2.95m/sec(Mero，1983；Baumann，1976)。然而，就推蹬後的水平速度而言，Mendoza & Schollhorn(1993)研究發現其該變項的值範圍為 2.7~3.9m/sec，但 Mendoza & Schollhorn 進一步指出推蹬的水平速度，不足以判斷是否為良好起跑的參考指標。

用推蹬加速度(Block Acceleration)

加速度為速度對時間的微分(derivative)。因此，要增加加速度，就要增加速度，

減少所費的時間。對優秀起跑者其推蹬加速度，如表 6：

表 6 推蹬加速度(優秀起跑選手)

研究者	100m (sec)	樣本 (人數)	推蹬加速度 (m/sec ²)
Baumann (1976)	10.35	12	8.68
	11.85	10	7.55
Mero 等人 (1983)	10.80	8	8.68
	11.50	8	6.83
Mero 等人 (1988)	10.79	8	10.12
Van Coppenolle 等 (1989)	10.21	3	10.77
Mero & Komi (1990)	10.78	8	10.03

乂力量應用方向(Direction of Force Application)

Baumann(1976)指出一個良好起跑特徵，是身體能運用較大的力量於水平方向。亦有研究發現要影響良好起跑的變數中，其身體重心位置合速度的實際量度(magnitude)，這個變數是不顯著的(Hafez, Roberts & Seireg, 1985)。當然，身體力量應用的方向，儘可能維持在水平方向；而對較快速的起跑而言，其身體重心位置的水平速度，可被引用到像「臨界的要素(critical element)」一般。基本上，優秀選手的起跑，其身體重心位置的關節點至與地面接觸的前腳趾的直線，和水平方向所形成的角度範圍為 32~42 度角(Mero 等人, 1983; Mero, 1988);而 Hoster & May(1979)則認為，在推蹬階段中，這個角度範圍應維持更低較好。類似的情形，Payne & Blader(1971)進一步說明，為了起跑後不致於影響接下來的跑步連貫性，在推蹬的起跑期間，儘可能讓力量產生的身體角度，能直接的水平化。有關在水平方向的力量應用角度方面，亦有研究發現，從推蹬後的 43 度到第一步腳趾著地的 50 度；及同樣地從推蹬後的 43 度到第二步腳趾著地的 53 度，在在顯示力量應用方向的重要性(Mero 等人, 1983)。

六、起跑後力量來源的分析(Post-Block Force Production)

表 7 起跑後各階段力量表

變數 \ 階段	煞車階段	推蹬階段
水平分力(N)	-153	526
垂直分力(N)	148	431
水平衝量 N-Sec	-3	90
垂直衝量 N-Sec	3	74

儘管在推蹬將結束，第一步與地面接觸時，身體重心所在的位置，會出現一個負值(negative)的水平分力(Braking Phase, 煞車階段)(Mero, 1983; Schot & Knutzen, 1992)。Mero(1983)研究發現(如表 7)在煞車階段的第一步，在水平與垂直分力是比較小的，平均值約為-153 與 148N；而在水平衝量與垂直衝量方面分別為-3 與 3 N-Sec。而在第一步的推蹬階段(Propulsion Phase)，在水平與垂直分力是比較大的，其平均值約為 526 與 431N；而在水平衝量與垂直衝量方面分別為 90 與 74 N-Sec。所以，可進一步發現在煞車階段的水平分力與垂直分力，是第一步離開起跑架後與地面接觸時所產生分力的 11%與 44%，如此才能在煞車階段有較大的起跑速度產生(Mero 等人, 1987)。然而，Mero(1988)進一步指出在第一步與地面接觸時的推進力，是接觸地面時最大速度所產生相同力量的 46%。整體而言，最重要的是在起跑的加速度階段期間，選手須使用較高水平的離心伸張，來產生有效的力量。而 Mero(1988)亦研究發現，在第一步接觸時產生的垂直推進力與起跑最大速度所產生的垂直推進力，幾近有相同的量度。

肆、結語

不容置疑的，一位成功的短距離選手，如要在起跑上有能力獲得較大的水平分力，不僅推蹬技術要熟練，而且在推蹬後第一、二步伐的連貫都是相當重要的。為期在水平方向獲得較大的力量，其身體重心位置(TBCG)皆能在推蹬後第一、二步腳趾之前。另外，在起跑位置為了能達到推蹬後向量上的合力，其起跑架與第一步或第二步伐的角度應成 45 度角或更小。經本研究蒐集資料，予以分類並討論、分析後所得結論如下：

一、起跑架相關位置與短距離起跑之表現而言，發現到短式起跑法(bunch start)在重心接進起跑線、反應時間上較有利；中式起跑法(medium start)在身體平衡狀態較有利；長跑起跑法(elongated start)則在雙腳推蹬力及身體放鬆狀態較有利。

二、受 SSC 之機轉影響，對短距離起跑推蹬階段的肌肉群而言，以股直肌、比目魚肌及腓腸肌影響最鉅。

三、短距離起跑推蹬階段之前、後腳膝關節角度應為 90~110 度及 130~140 度；且關節傾斜角度與體型無關。

四、短距離起跑推蹬階段之身體重量分配到雙手之比例小於 50%；且身體重心位置至地面高度平均為 60~66 公分。

五、世界一流的短距離選手，後腳的推蹬力量比前腳推蹬力量來的大；但垂直方向的推蹬總衝量則前腳比後腳大。

參考文獻

- 王金成等人(民 80)。不同足間距離對蹲距式與摩威式之生物力學分析。中華民國大專院校體育學術研討會，533-546。
- 許樹淵(民 68)。不同起跑跑法的力學分析。中華民國體育學報，2，167-177。
- 許樹淵(民 77)。運動技術教學法。偉彬體育研究社，561-570。
- Atwater, A.E.(1982). Kinematic analyses of sprinting. *Track Field Q Rev*, 82(2), 12-16.
- Borzov, V. (1980). Optimal starting position. *Mod Athlete Coach*, 18(1), 4-5.
- Dickinson, A.D.(1934). The effect of foot spacing on the starting time and speed in sprinting and the relation of physical measurements to foot spacing. *Res.Q*, 5(1), 9-12.
- Gussard, N., Duchateau, J. & Hainaut, K. (1992). EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block oblique. *Medicine Science Sport Exercise*, 24(11), 1257-1263.
- Harland, M.J. & Steele, J.R. (1997). Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23(1), 11-20.
- Henry, M.F.(1952). Force-time characteristics of the sprint start. *Res.Q*, 23(3), 301-318.
- Hoster, M. & May, E. (1979). Notes on the biomechanics of the sprint start. *Athletics Coach*, 13(2), 2-7.
- Kistler, J.W.(1934). Study of the distribution of the force exerted upon the blocks in starting the sprint from various starting positions. *Res.Q*, 5(1), 27-32.
- Korchemny, R. (1992). A new concept for sprint start and acceleration training. *New Studies*

- Athletics*, 7(4), 65-72.
- Levchenko, A. (1988). 100 meters in 9.83 : the birth of a record. *Soviet Sport Rev*, 24(4), 182-187.
- Mendoza, L. & Schollhorn, W. (1993). Training of the sprint start technique with biomechanical feedback. *J Sport Sci*, 11, 25-29
- Mero, A. (1988). Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprintint . *Res Q Exerc Sport*, 94(2), 94-98.
- Mero, A. & Komi, P.V.(1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start . *Eur J Appl Physiol*, 61(2), 73-80.
- Mero, A., Komi, P.V. & Ruskho, H. (1987). Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *International Journal Sports Medicine*, 8(1), 55-60.
- Mero, A. , Luhtanen , P. & Komi, P.V.(1983). A biomechanical study of the sprint start. *Scand Journal Sport Science*, 5(1), 20-28.
- Ozolin, E.(1988). The technique of a sprint start. *Mod Athlete Coach*, 26(3), 38-39.
- Schot, P.K. & Knutzen, K.M. (1992). A biomechanica; and analysis of four sprint start positions. *Res Q Exerc Sport*, 63(2), 137-147.
- Stock, M. (1962). Influences of various track starting positions on speed. *Res.Q*, 33(4), 607-614.
- Tellez, T. & Doolittle, D. (1984). Sprinting from start to finish. *Track Technique*, 88, 2802-2805.
- Vagenas, G. & Hoshizaki, T.B. (1986). Optimization of an asymmetrical motor skill. *International Journal Sport Biomechanics*, 2, 29-40.
- Van Coppenolle et al. (1989). Technology and development of speed : evaluation of the start sprint and body composition of Pavoni, Cooman & Desruelles. *Athletics Coach*, 23(1), 82-89.
- Van Coppenolle et al. (1990). Evaluation of the start action for world class female sprinters .*Track Technique*, 112, 3581-3582.

Biomechanics Analysis of the Sprint Start of the Elite World Athlete

*Tzu-lin Won**

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the biomechanic's parameters of sprint start. The subject of the research adopted content analysis and the parameters of the influenced the sprint start were compared, and do systematic inductiveness in the data. The result was of importance not only in understanding the characteristics of the athlete, but also in providing references and suggestions to coaches and researchers in their future research. The findings are as follows:

杖 In the block positioning and sprint start performance, the bunch start advantaged with both C.G near start line and reaction time.

机 The muscle's group contributed to soleus, rectus femoris, and gastrocnemius with respect to the block phase of sprint start in the SSC.

杈 The block phase of the sprint start was 90~110 degrees and 130~140 degrees in knee's degree of the interposter- foot.

杷 The body weight distributed to two-hands in proportion was less than 50%, and the average distance was 66~66cm from total body center of gravity position to ground.

籽 On the elite world sprinter, rear foot was larger than front foot in the block force, but rear foot was smaller than front foot in the vertical impulse.

Key words : SSC ; Pre-Tension ; Kinematics ; Kinetics ; TBCG ; Medium start ; Braking force ; Sprint start

*Tzu-lin Won: Lecturer, Department of physical Education

