

十二、重心的移動與下肢肌肉的作用

原作者：陳全壽、梁吉正

一、前言

了解以直立姿勢生活的人類下肢肌肉的付著方式、肌群的發達狀態以及各個肌肉的作用，是爲了獲知人類的身體活動，特別是步行及跑步等重要事情。直立的時候，爲了取得安定的姿勢，把身體綜合重心的重心線降到脚的稍前方就可穩定，這種方法是可由經驗得知的。這是由於背肌群（骶棘肌）、臀肌群、大腿屈肌群、下腿三頭肌等肌肉受到某種程度的緊張，也就是說以稍爲伸展的狀態，把更多由肌中知覺而來的情報不斷地提供給脊髓或上位腦而得到的結果。換句話說，保持姿勢的反射運動，使其更圓滑更敏捷的從事運動就是其目的。

又，由下肢肌群執行的動作（Locomotion）及直立時的姿勢控制，本質上由上述神經系以及其反應器的反射性活動所支配。

本研究是以觀察下肢肌肉的姿勢保持的作用爲主要目的，根據體型的差異，比較身體的綜合重心的移動軌跡以及面積的差異使之類型化也是目的之一。

被測驗者 6 名，全部都是具有運動經驗的成年健康男子，每個人的外觀具有肥滿型、無力及鬥士型的特徵，依照這種特徵，分類爲三個類型。

被測驗者是在三榮測器製品的平衡機能計的測定板上採取與肩同寬的直立姿勢，腳底盡量和測定板密接，眼睛注視水平前方的一點。測驗的內容是以被測驗者在腳不移動的條件下，隨意的把身體重心向前後、左右、或者迴轉，做最大限度的活動和在被測驗者蒙著眼睛的狀態下，由測驗者施加外力，使重心動搖的兩個方法進行。重心的移動透過坐標變換裝置，而用筆尖記錄計記錄下來。肌電圖是使用表面電極，在一側下肢 5 條肌肉：股直肌、腓骨長肌、脛骨前肌、腓腸肌、比目魚肌的肌腹上，使用標準 EMG 誘導記錄法，以日本個電製品的多用途生體記錄監視裝置一式（增幅器 R 8 - 5），在同記錄紙上記錄重心移動的軌跡。（參照 Fig. 1）

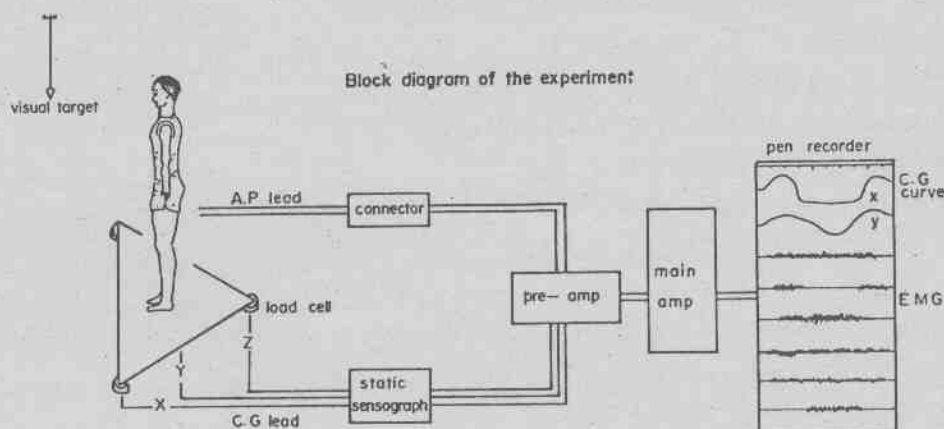


Fig. 1

二、結果

直立時，重心沒有顯著的向前後方向動搖時，支持體重通常是有一定的振幅，而持續性放電的肌肉，就只有被誘導的五條肌肉中的比目魚肌而已。（參照 Fig. 2 Fig. 3）比目魚肌是起

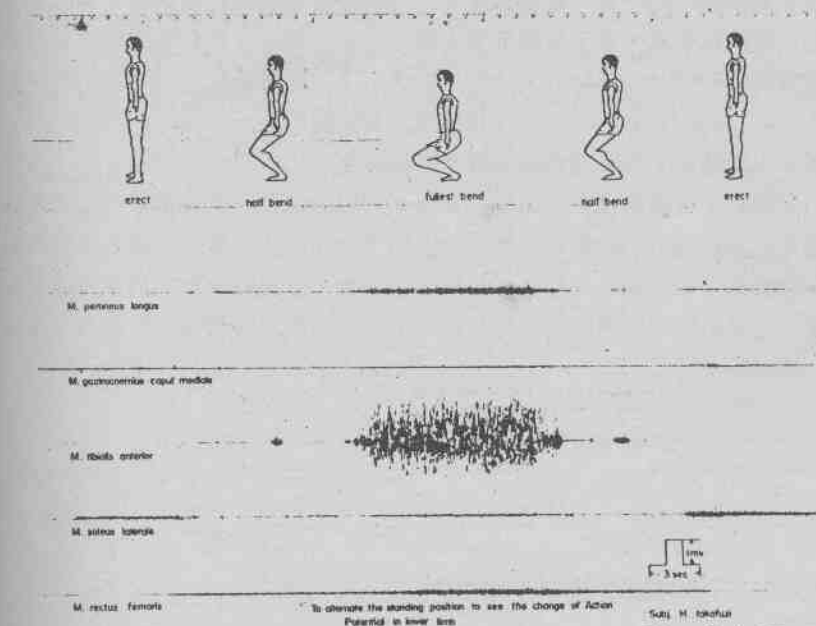


Fig. 2

Fig. 2, 3: There is a intimately relationship between lower extrimitities muscles in performing a downword motion from the erect position to knee bent position. At erect position discharge of muscles could be found but M. soleus, it kepted in discharge with a low amplitude while there was no shaking of centro-gravity reco- red. No sooner than the knee begin to bend the discharge of Soleus go out sharply, and M. rectus femoris begin to fire. From approxi- mately half bend of the knee to the fullest bending M. tibialis anterior recruited with a big amplitude, the other muscles of lower extrimitities also partici- pated at a time to keep the knee in bending position as a kind of Isometric contraction in manner.

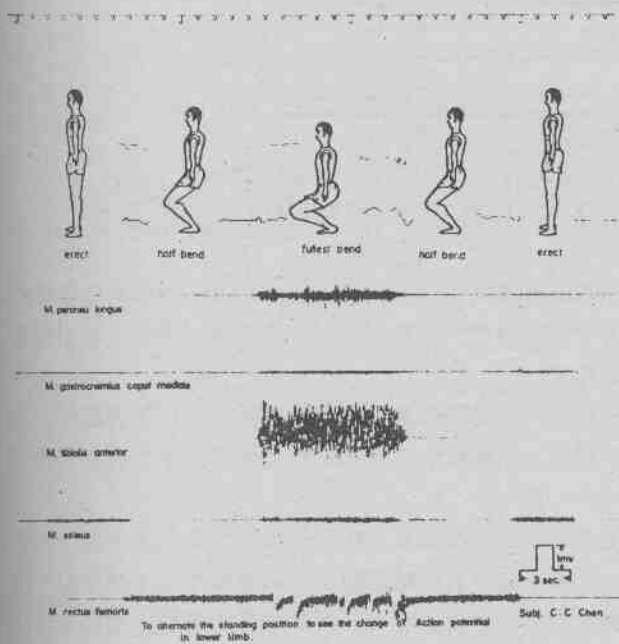


Fig. 3

自腓骨頭後面和腓骨骨幹的上部 $\frac{1}{3}$ ，腓骨的內側緣 $\frac{1}{3}$ ，脛骨和腓骨之間的腓弓，而沿著跟腱付著於踵骨，這條肌肉的支配神經是內側膝窩神經，一般認為具有收縮時踝關節的底屈（Panter flex）以及固定小腿的機能。近年來關於 Soleus 的組織化學性質的研究很多，即把此肌肉做為紅肌纖維較多的肌標本使用。本研究也是由表面電極探討其緩肌纖維的特性。如 Fig. 2

、3 所見的一樣，在膝蓋彎曲，重心向後移動時可觀察到電位減少或放電急速的消失，膝關節從 180° 的直立姿勢彎曲到 175° ~ 145° 的時候，可記錄到 Soleus 的放電即告停止，而股直肌於是代替其放電。膝蓋保持半彎曲姿勢的時候，股直肌就由中等程度做微弱的持續放電，顯示膝關節的固定和重力的伸展對抗的放電模式。甚至於膝蓋最大彎曲程度的時候，五條肌肉就一起作用，其電位大小的順序是脛骨前肌 (M. Tibialis anterior)、腓骨長肌 (M. Peroneus longus)、股直肌 (M. Rectus femoris)、比目魚肌及腓腸肌 (M. Gastrocnemius)，特別是脛骨前肌，顯示出超過 1MV 的強烈持續放電。被測驗者 K UMENO (Fig. 2) 的股直肌，由半蹲到全蹲，由全蹲到半蹲的過程中，出現 0.5 sec 的短電位和其他被測驗者比起來為其特徵。直立時，將身體重心以右前方→右側方→後方→左側方→左前方→前方→直立姿勢的順序，隨意的做迴轉運動的時候 (Fig. 3、4) 重心往前方移動時，腓腸肌以及比目魚肌就發生作用，對這兩條肌肉來說，呈現紡錘形的腓腸肌較具活動性，電位的出現和消失也較敏銳。腓腸

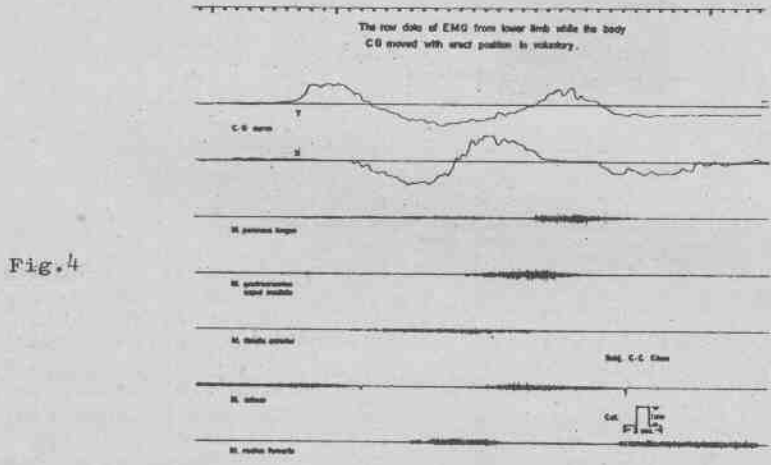


Fig. 4,5: Raw data from two subjects the upper line shows the locus of centro-gravity on anteroposterior plane, next of it is the locus of centro-gravity on both side, the others are EMG from lower extremities muscles.

肌在體肢肌中是特別發達的肌肉，由於和上肢的長掌肌 (Palmaris longus) 肌肉的形態以及肌腱的聯接方式非常相似，所以比較被人重視和研究，人類由於以直立營生，所以上肢只有接受選擇重力，長掌肌或許因此而致退化的過程。

腓腸肌起自大腿骨內、外顆和其隣接部位以及膝蓋關節囊，而和比目魚肌一起沿著跟腱附著於跟骨，具有使腳掌底屈以及膝關節彎屈的機能，其纖維的性質和比目魚肌不同，是自肌纖維較多的「速肌」。

重心向後方移動的時候，脛骨前肌是主要的作用，股直肌也顯示著持續性微弱的放電。特別是脛骨前肌，起自脛骨外側顆，脛骨外側面上部，脛腓骨的骨間膜、深肌膜和外側肌間中隔，經過長肌腱，而付著於第一楔狀骨內側及底側面和第一中足骨底，接受深腓骨神經枝的支配，由於具有底屈腳掌，及內翻或內旋作用，所以足球及滑雪選手特別發達。

腓骨長肌向體重的左右方向移動時和向前方移動時發生作用，而在負重力的時候，可記錄到較高振幅電位的出現。腓骨長肌是在脛骨前肌的更外側，受肌皮神經的支配。長短兩腓骨肌都收縮時，為引起踝關節的底屈以及外翻運動和旋內運動的肌肉，因為經過較長肌腱從腳底外側往內側斜走，而停止於第一中足骨底 (腓骨長肌)，所以具有保持腳底橫弓的任務。

又，將被測驗者矇上眼睛，在大約是身體的總合重心的高度上，加以不使腳移動的程度的外力，使重心向前後左右不隨意的動搖的時候，下肢各肌的作用在隨意性重心的移動時，顯示和所看見的下肢肌的放電模式相同的特徵，也就是說，和地面接觸的腳在不移動的範圍內，下肢肌對於外力的反應通常是反射性的，引起伸展的作用。

在腳不移動的條件下，使重心隨意地做最大限度的迴轉時，所描繪出的迴轉軌跡（面積）和各被測驗者的體型特徵具有密切的相關（圖 Fig, 6、7、8）。三種類型中，鬥士型者移動的

Fig.5

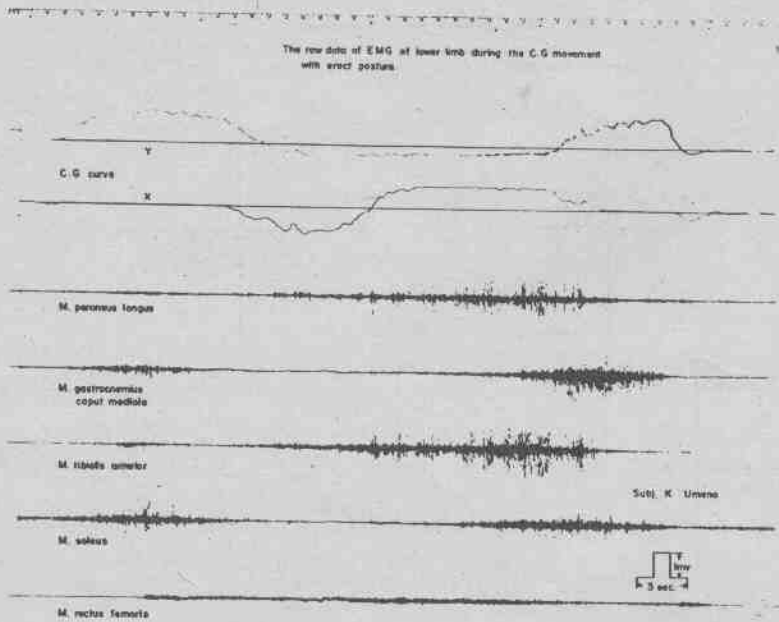
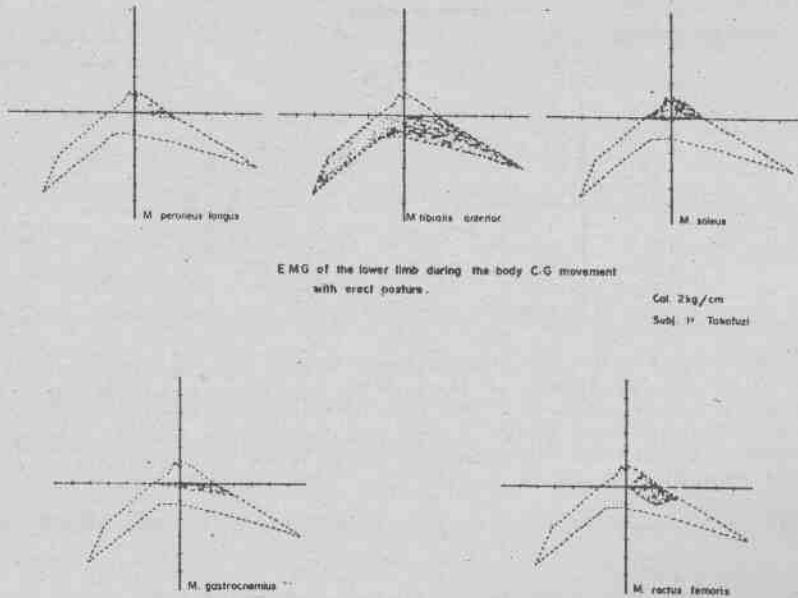


Fig.6



面積較大，身體重心向前後左右移動的方向大致是均等的，但肥滿型者移動的面積就比較小，向前後方向移動的範圍，與其他二者比起來，顯得特別狹小，顯示它具有較易向左右前方移動的特

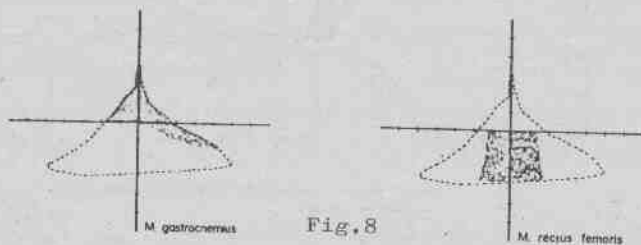
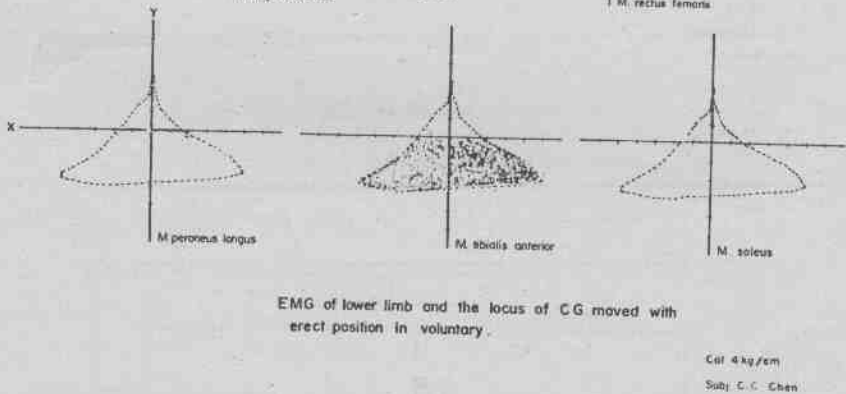
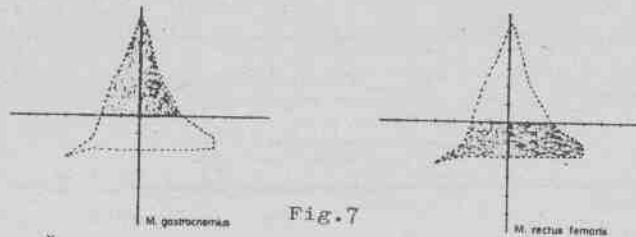
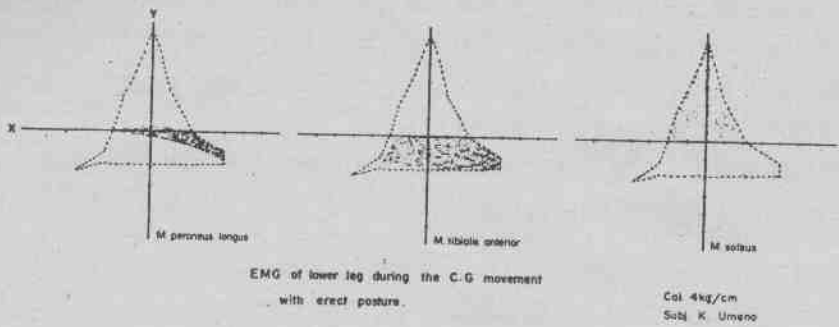


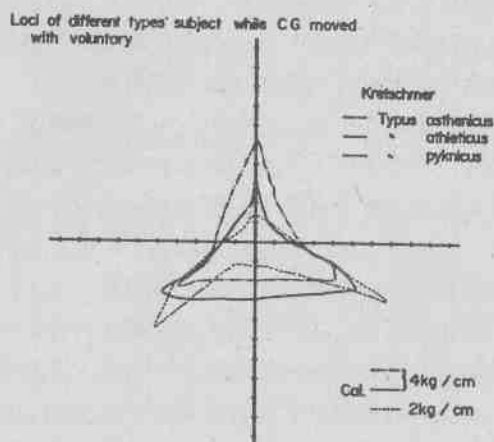
Fig. 6,7,8:

These figures show the different body types of subjects performed a maximum rotation movement of their own centro-gravity with voluntary. The centro-gravity area and the EMG of lower extremities during the moving is schematically shown by an oblique line. Muscles have its own function in timing and spacing which were characterized by the moving of gravity in erect posture.

微。無力型的被測者，其全面積是介於兩者之間，但是也可觀察到向正前方移動的面積較大（Fig. 9）。

又，由不隨意的使重心動搖之後到停止動搖所費的時間之觀察結果，發現各個被測驗者之間有顯著的差異，隨著重心動搖的肌肉電位的出現經常是被動性的作用，有過度補償控制（over-compensatory Control）的現象。本實驗因為被測驗者較少，關於這一點不加深入的探討，假如，對於刺激的反應過程取得正確時間的話，是可能製出某種神經肌的機能檢查法的。

Fig. 9



從動搖到靜止（重心的前後動搖時所見者），肌肉的過度補償收縮乃是對於其他生理現象也能見到的刺激之適應過程的合乎目的的修正。

三、討論

人體是和其他四腳的脊髓動物一樣具有分節構造（Segmental Structure）。其構造的基幹是由大小約 200 塊骨骼和 600 條肌肉所形成，佔身體質量的大半。特別是由肌肉系統及骨骼系統所形成的運動器官是我們最重要的研究領域，聖喬治說「運動是人類最主要的生命現象」，就是強調其重要性。藉著這些運動器官的作用，人類才能以直立姿勢在三次元的立體空間裏從事生活。因此，雙手被解放，祇能接受選擇重力的雙手，不僅說明能夠創造文明而且身體的感覺器官毫無偏頗的全力發揮作用，以致從祇能見到一部分的世界觀看到全體以及認識的可能性，這些或許由於空間概念及時間概念的發達，對於獲得今天的人類的地位是最重要之事。換言之，由於人類的立位生活是使得教育的可能性增進千萬倍的主要原因。

但是，小孩子固不待言，即使是大人以狹小的雙腳的支持面積來測量身體的安定，甚至於執行運動是不容易的。站立，是穩健的踏出一步的先決條件，所以，觀察安定站立的下肢肌肉的作用，是研究步行或跑步所不可或缺的資料。

本世紀初期，因 Sherrington 提出有關步行及姿勢反射系的構成，姿勢反射或有關姿勢的研究即急速的增加，E. DU Bois-Reymond (1903) 研究了人體採取直立姿勢的時候，身體的總合重心線是通過腳的某一部位的測定方法。依照 Bois-Reymond 的測定法，有很多人主張認為，人體直立時的重心線是距離踝關節中心前 5 公分的地方。然而 Asmussen (1959) 曾指出同一個被測驗者，具有自中心由 + 5 cm 至 - 3 cm 為止的變動範圍。但是，直立姿勢未必就是直立不動，因為經常動搖，所以重心線也就隨著移動。測定值只不過是在動搖的時間系列裏一個單位時間內所取得的重心線而已。其他觀察姿勢動搖的方法還有很多，例如，以頭頂動搖描記法取得的動搖圖等，反正都是以許多的反射經路來控制，對於觀察分節構造的人類直立姿勢的保持是不夠充分的。

還有，關於肌肉的作用，小片 (1951)，Asmussen (1959)，Floyd 和 Silver (1955) 他們把維持直立姿勢的肌肉的作用，用肌電圖法研究腹肌、背肌以及下肢肌肉的活

動狀態。依據小片的研究，採取直立姿勢的時候，由下肢的活動狀態可觀察到三個不同類型的活動式樣，即正常型，緊張型和弛緩型。Asmussen 則研究採取直立姿勢時，軀幹部肌群的作用。依其所見，多數的情形，是骹棘肌在活動，腹肌在維持直立姿勢並無參加。

本研究，因為是將重心的移動和肌肉的作用，使用沒有時間誤差的同期記錄，所以比起前等人的實驗結果更為客觀，更易把握。小片 Asmussen 等人的意見，也就是說，所察覺到直立時保持姿勢的下肢肌及軀幹肌作用的不同，不是肌肉本身或者是支配肌肉的神經系構造上或機能上的不同，而是為了取得更安定的姿勢而介入了隨意運動，幼兒由於不知道藉著前傾來安定姿勢，所以其腹肌也加入了活動。特別是下肢肌肉經常按照重力的變化而作用。本實驗在重心沒有激烈動搖的範圍內，觀察下肢五條肌肉中出現電位的肌肉，就只 Soleus 一肌而已。反觀其他的肌肉，經常要為適應重力的變化而做合目的的活動，而支配其作用的就是伸展反射。

最近數年間，關於重力或運動對於肌肉的影響的研究很多，觀察後肢固定化的動物之組織化學變化的研究也有，總之下肢肌肉的機能分化及發達等均得到受重力或運動影響的實驗結果。若無幼兒初期直立時重心所呈現激烈的動搖時期的話，可能無法得知幼兒到何時才能安穩的站立吧。因為姿勢動搖是對支配下肢肌的反射徑路給予刺激及增加條件的緣故。

Fig. 10 為步行和跑步時，推想由膝腱反射及跟腱反射的發動，形成模式化。步行和跑步

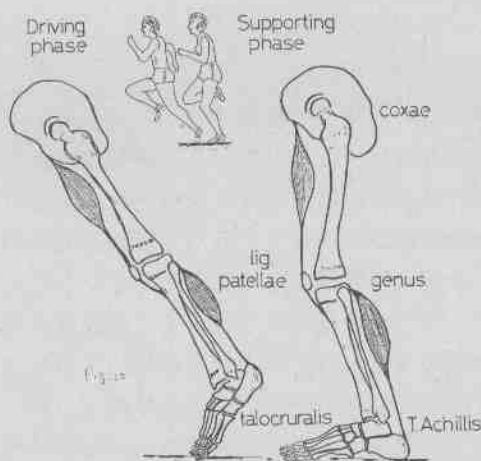


Fig.10: Two phases in a cycle of running can be explained by the mechanism of stretch reflex. One is supporting phase in which the centro-gravity just come through on the above of the supporting leg, at that time the joints of knee and foot are bent extensively, Gastrocnemius and Rectus femoris were stretched to induce a stretch reflex. The other one is the phase at the end of driving where the shortening of Gastrocnemius induced planter flex of foot, and Rectus femoris contracted to straighten the knee. Both action are synchronized in a cycle of walking and running.

之際，能迅速的察覺到立足點的情況、速度、重力、及下肢各關節的角度變化等，若非向上位提供訊息，或許只能發生沒有變化的模式化運動。在肌肉間、肌腱間、關節和皮膚上的感覺受納器為訊息的提供者，且為完成合乎目的的動作的末梢性控制機構。上圖只不過列舉臨床上常用的下肢肌機能檢查之膝腱反射，跟腱反射為代表。

本岡氏等人認為「伸展反射為受外力伸展的肌肉立即發生收縮的反射，完成自動調節作用的肌運動」。跑步中重力到達著地時腳的正上方時，膝關節及踝關節極大彎曲。在此瞬間，膝腱與跟腱伸展。由於伸展反射的發動，股四頭肌收縮，膝關節伸展，小腿也同樣跟腱伸展，因反射使

小腿三頭肌往足底彎曲。上述兩種反射活動幾乎同時發生，跑步運動的週期，亦即自支持相（ Supporting Phase ）往推進相（ Dirving Phase ）的移轉為圓滑進行的重要反射路徑。當然，上述的兩種腱反射均以來自肌梭 Ia 群纖維所發生的上行性衝動（ impulse ）為其訊息提供者。

11 圖 為本研究為了易於明白直立時隨著重心移動的下肢肌的作用所描繪者。重心往前方移

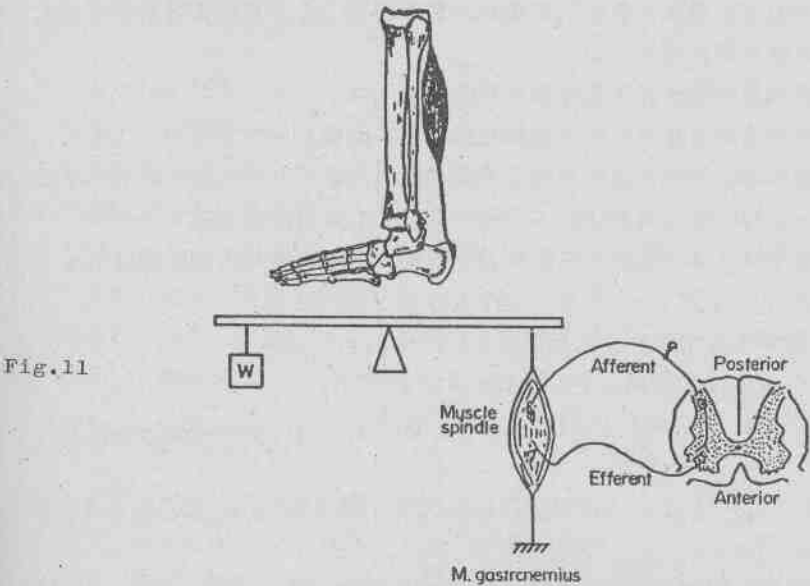


Fig. 11

動時，跟腱伸展，重心因反射的發動而回縮。反之重心向後方移動時，伸肌群—脛骨前肌、伸姆長肌（ extensor hallucis longus ），伸趾長肌（ extensor digitorum longus ）伸展。因伸展反射使上述肌群收縮，重心向前方回縮。

根據本間氏等人的另一報告指出，肌肉成三角波狀伸展達到某種臨界水準（ Critical level ），即發生 EPSP，運動神經元（ motor neurone ）引起興奮，發生動作電位。但身體運動時，因為興奮性和抑制性經常成交互作用，故條件更為複雜。像下圖（ 12 圖 ）為自接受刺激至引起反應為止的一連串變化。這些電流信號的傳達乃是人類運動的基本反射的決定者。

Fig 12: Diagrammatic representation of the mechanism of monosynaptic reflex. On stretch reflex the sense organ could be a group Ia fiber of muscle spindle which generate potential from the stimulus of stretch than send it to spinal cord to produce a reflex action.

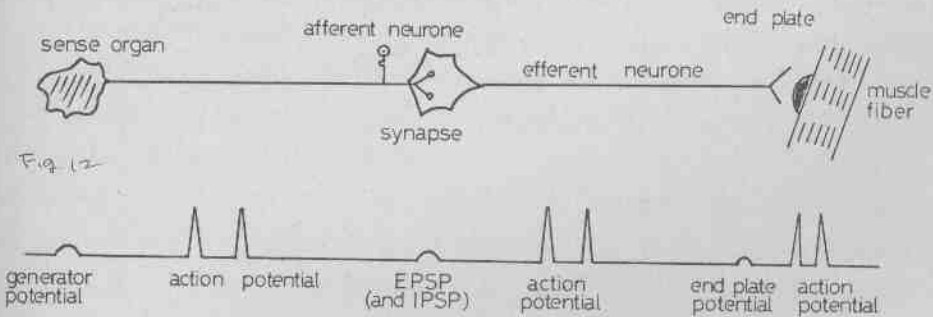


Fig 12

本研究的另一課題爲有關體型和重心移動軌跡及面積，今後尚有必須增加被測驗人數的問題，有待詳細討論。再者，因時間上的關係，有幾個實驗結果未及整理，不完整之處有2、3點，特別在討論一節， r -系統對伸展反射的影響，上位腦，尤其來自錐體外系統的影響等。在概念上不明確部分，係因筆者才淺所致，尚請斧正。

四、摘要

直立時，重力和重心的動搖對下肢肌的作用受到重要影響，尤其是維持姿勢的下肢肌群的作用有關的事項，根據實驗結果開列如下：

- (1) 直立時下肢肌的作用按照重力變化被動的發生作用。
- (2) 體型的差異與綜合重心的移動面積、移動軌跡有密切關係。
- (3) 重心動搖時所出現的下肢肌收縮形態常是過度補償的支配 (Over-compensatory Control)，自伸展而至引起收縮的反射活動，乃是保持姿勢的重要控制機轉。

(編者按：本篇原係以日文刊載於日本中京大學學報，由陳相榮、吳永裕譯爲中文)

五、參考文獻

1. 森於菟 (1969) 解剖學 1、2 卷 金原出版。
2. 猪飼道夫 (1974) 生體の運動機構とその制御。
3. Sherrington, C.S. (1931) Studies on the flexor reflex, proc. Roy. Soc. B, 109, 91;
4. Asmussen, E. (1962) Form and function of the erect human spine, Clin. Orthop., 25, 55-63。
5. 時實利彦 (1953) 姿勢，動作そ筋肉の働き方一筋電圖の Kinesiology への應用，科學，23，135。
6. 佐藤泰司 陳全壽 (1974) ヒトの胎兒および成人の長腓骨筋腱についへ，解剖學雜誌 (1) 80-81。
7. 佐藤泰司 陳全壽 (1974) 長掌筋の知見補遺，解剖學雜誌 (5) 318-319。
8. Flemming Bonde-petetrsen (1976) Sports injuries of the knee Ligaments; Their diagnosis, treatment, Rehabilitation and prevention, Medicine and science in sports Vol.8, No.3 PP133-144。
- D.L. Costill (1976) Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male male and female track athletes Journal of Applied physiology Vol.40 No.2, PP149-153。
- Fred Wiet and Tom Ecker (1970) Internatinal track and field coaching Encyclopedia, parker publishing Compang N.Y.