

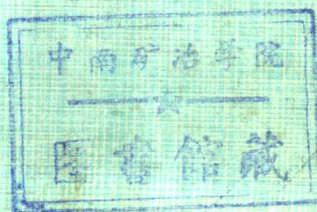
454905

運動科學講座

第三冊

運動生理

著者：猪飼道夫
廣田公一
譯者：齊沛林
校者：王復旦



教育部國民體育委員會出版
維新書局印行

運動科學講座・3・運動生理

編著者・猪飼道夫

廣田公一

譯者・齊沛林

校者・王復旦

教育部國民體育委員會出版
維新書局印行

第一章 運動生理總論

一、運動的機轉	1
二、恒定性與適應	3
三、能及其使用方法	4

第二章 運動與肌肉

一、肌肉的構成	5
(一) 肌肉的種類	5
(二) 肌肉的構造	5
(三) 運動單位	8
二、肌肉的收縮	9
三、肌肉的性質	12
四、肌肉收縮三態	13
五、肌肉的彈性	14
六、肌肉發生的熱量	15
七、肌肉活動的能量	17
(一) 組成肌肉的物質	17
(二) 肌肉所釋放的能	19
八、肌肉的補給路線	21
九、肌力	28
(一) 肌力的發達	28
(二) 影響肌力的因素	28
(三) 運動選手的肌力	31

2 運動生理

(四) 肌力與槓桿	32
(五) 肌力與關節的角度	33
十、肌肉的動力	34
十一、肌肉的耐力	37
(一) 肌耐力	37
(二) 肌耐力測量法	39
(三) 肌耐力鍛鍊的試驗	42
十二、肌肉的發電——肌電圖	49

第三章 運動與神經

一、心與身	54
二、心的構造	54
三、神經系統的發達	56
四、腦的組成	60
五、中樞神經與末梢神經	62
(一) 中樞神經系統的組成	62
(二) 激發運動的腦	63
(三) 腦的抑制功能——抑制帶	64
(四) 運動神經的路徑——錐體路	65
(五) 腦接受訊息的功能——肌體感覺區	66
(六) 腦連合訊息的功能——連合區	66
(七) 訊息之關——間腦	66
(八) 本能之源——大腦邊緣系統	66
(九) 腦中的地方分權——腦核	68
(十) 維持生命的條件——腦幹	69
(十一) 清晰的心情與模糊的心情——腦幹網狀體	70
六、心與身的交誼——丘腦和下丘腦	72
(一) 丘腦——隱藏心底秘密的腦	73
(二) 下丘——支配內藏的腦	74
七、小腦——司理身體的平衡	76

八、延腦——掌握生命之鍵	76
九、脊髓——自中散放出來的神經	76
十、末梢神經系統的組織	77
(一) 腦神經	78
(二) 脊髓神經	79
十一、肌梭——肌肉中的偵察網	79
十二、自主神經系統	81
(一) 交感神經與副交感神經的組成——互相對 立的兩大勢力	81
(二) 交感神經的功能——具有促進作用的神經	81
(三) 副交感神經的功能——具有抑制作用的神經	83
(四) 自主神經性的反射——自動制約的反射	84
(五) 藥物對於自主神經系統的作用——對藥物發生反應的 神經	86
(六) 交感神經與副交感神經的平衡——身體情況良好	87
(七) 自主神經與緊急反應	89
十三、皮膚所顯示的心的狀態——皮膚的電反應（反射）	91
十四、神經系統和姿勢——維繫身體姿勢的神經	91
十五、運動的發達——與動物相比較的人類的運動。	95
十六、腦波——反映腦活動的腦發電	100
(一) 清醒時的腦波——覺醒時腦的情況	101
(二) 睡眠時的腦波——睡眠時腦的情況	101
(三) 運動家的腦波——運動家在想什麼	102
(四) 影響腦波的生理條件	104
(五) 腦活動的生化學——心也不過是一個物質的結合體	106
十七、自體力的立場觀察神經	106
(一) 敏捷性	106
(二) 平衡性	114
(三) 協調性	116
十八、從學習的觀點觀察神經	117
(一) 運動的學習——其一：由神經細胞觀察運動的學習	117

- (二) 運動的學習——其二：由突觸觀察運動的學習……117
- (三) 運動的學習——其三：由條件反射觀察運動的學習118

第四章 運動與循環

一、鳥瞰	122
(一) 神經的調節	122
(二) 化學的調節	123
(三) 血液分配的調節	124
二、脈搏數（心跳次數）	124
(一) 測量的方法	125
(二) 年齡性別與脈搏數	126
(三) 測量條件與脈搏數	127
(四) 運動與脈搏數	128
(五) 運動中止後脈搏數的恢復	131
(六) 訓練與脈搏數	135
三、心臟輸送血液量	135
(一) 心輸出量的測量	136
(二) 心輸出量指數	137
(三) 安靜時心輸出量	139
(四) 運動與心輸出量	139
(五) 每跳輸出量	141
(六) 心輸出量與脈搏數	144
四、氧脈	144
五、肌血流量	147
(一) 肌血流量的訓練效果	150
六、血壓	151
(一) 身體姿勢的血壓反射	155
七、心臟的訓練效果	156
八、運動家的心電圖	158

第五章 運動與血液——內部環境的維持——

一、紅血球	159
二、白血球與血小板	162
三、血液的酸度 (血液 PH)	162
四、血液的粘度	164
五 血糖	165
六、血液中的乳酸	166

第六章 運動與呼吸——氧——

一、呼吸機能的構成	170
二、呼吸調節的結構	171
(一) 神經反射的呼吸調節	171
(二) 血液與呼吸的調節	172
(三) 運動時呼吸的調節	173
三、身體內部的呼吸	174
(一) 外呼吸與內呼吸	174
四、肺換氣	178
(一) 呼吸次數、換氣量、死腔	178
(二) 肺活量	180
(三) 安靜時的換氣量	181
(四) 安靜時最大換氣量	182
(五) 一定運動負荷時的換氣量	184
五、氧攝取率	185
六、運動與氧的攝取、氧債	186
(一) 運動過程中氧的攝取與氧債	186
(二) 速度與氧需要量	189
(三) 氧需要量與運動強度	191
(四) 最大氧攝取量與最大氧債	192
(五) 最大氧攝取量、最大氧債的正常值與訓練的效果	195
(六) 影響氧最大攝取量的因子	197

七、呼吸商 R. Q. (Respiratory Quotient)	198
八、再生力 (Second Wind)	199
九、停止呼吸 (Breath Holding)	201
(一) 安靜時無努責吸氣形的停止呼吸	201
(二) 運動後吸氣形的停止呼吸與安靜時努責的停止呼吸	204
(三) 停止呼吸時循環系統的變化	204
十、動作與呼吸調整	204

第七章 運動與消化、排泄——論汗與尿

一、運動與消化	206
二、運動與排泄	207
(一) 運動與汗	208
(二) 運動與尿	213

第八章 運動與激動素

一、腦垂體激動素	219
(一) 生長素	219
(二) 甲狀腺促進素	219
(三) 生殖腺促進素	219
二、甲狀腺素	221
三、副甲狀腺素	224
四、腎上腺激動素	224
(一) 腎上腺素	224
(二) 腎上腺皮素	224
五、性激動素	226
(一) 動情素	226
(二) 助孕素	228
(三) 雄性素	228
(四) 性激動素與運動適應	228

第一章 運動生理總論

一、運動的機轉

幸福的蜈蚣像撥動船槳似地划動它那美麗的兩排腿，自遠處走來。頑皮的青蛙看到蜈蚣走路的情形便問道：

「蜈蚣先生，請問你這些腿是怎樣一個一個地走路呢？」

「真怪呀！我的腳是怎樣走路的呢！」蜈蚣在思索這個問題的時候，由於自亂腳步便掉在溝裏去了。

上面是英國一本運動醫學書中所記載的一段話。據說這是一種「分析的失調」。

就運動生理來說，如果像頑皮的青蛙那樣向運動家們發問「你出右腿之後，是右臂前擺呢還是左臂前擺」，運動家們未必不因之掉在溝中。但是在另一方面，如果我們對於運動比賽加以科學的以及生理學的分析，有時也可以使那些模糊不清的問題得到解決。英國曾獲諾貝爾獎金的生理學家希爾 (A. V. Hill) 教授寫過一篇論文「運動比賽紀錄的生理學根據」。使一般人體會出以生理學的觀點分析運動比賽將更富於情趣。東龍太郎博士於1925年參加在英國南普郭所舉行之「英國科學發展協會」年會時，曾聆聽希爾教授的演講。東龍太郎說「由那次演講使我獲知運動與生理學的密切關係」。

由此可知，隨賽跑時間和距離的增加，平均速度亦降低，實為必然的事實。各不同距離的比賽記錄實為當時運動家的體力與比賽相互配合的結果。在圖1中，連結各記錄的坐標點，如記錄在所連曲線之下方時，即表示仍有改進的可能。又如記錄在曲線的上方時，即表示其附近的記錄仍可改進。因此若進一步分析這個問題時，所謂平均速度的決定，主要目的在瞭解體內的能量以

及如何在限定的時間內產生較多的能量等問題。這些均與肌肉能量 (Energy) 的蓄積量或補給量有關。再進一步即成為氧化過程的機轉問題，而進入生理學的領域。這些決不是個人運動的“要領”或“經驗”所能解決的問題。此外為維持此種機轉，呼吸與循環即成為唯一的補給路線；此處則與心肺臟的機能有關。

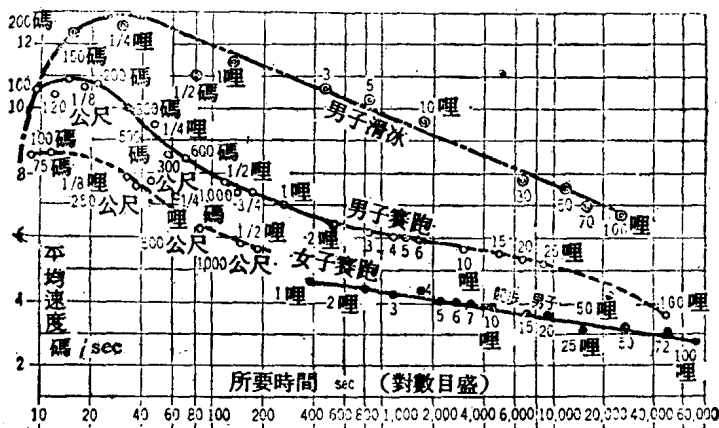


圖 1. 比賽所需時間與平均速度的關係 (A. V. Hill 1925)

美國的約克爾 (E. Jokl) 教授亦曾就相當有趣的觀察加以敘述。大致情形是這樣。……當個人還是醫科的學生時，在德國田徑賽大會曾以主將的身份參加大學一英哩接力比賽，在極度危險的情形下，扭轉頹勢獲得勝利。但是勝利後的歡欣沒有多久，即開始感覺噁心、頭痛，四肢無力，繼之開始嘔吐。這種現象繼續約十五分鐘始行復原。……後來雖然利用各種機會請教教授，翻閱圖書，仍然無法了解形成這種現象的原因。……這種症狀因為與所謂“山岳病” (Mountain Sickness) 相似，故可以稱之為“運動病” (Athlete's Sickness) 或“過度努力病” (Effort Sickness)。就症狀來說，“因過度努力之後所感覺的不舒適” (Effort Sickness) 與“急性高山病”無法區別。在高原地區的中等強度運動與平地極劇烈的運動，具有相同的痛苦感覺。

根據前述一連串的事實——盡最大努力完成運動比賽後的痛苦，不舒適的程度，高山病，在高原地區運動比賽時痛苦的感覺等，均需要以生理學觀點加以解釋。因之運動與生理學乃密切地結合在一起。

二、恆定性與適應

人體可以說是被兩個環境所包圍。一為外界，亦即被空氣所包圍。此種空氣具有溫度、氣壓、濕度以及風和雨。通常稱之為外部環境。在另一方面，身體須盡量保持內部一定的狀態。亦即當外部氣溫降低時，防止體溫喪失的機轉即行工作以避免體溫下降。此外體內熱量的產生亦同時升高。當外界溫度升高時，體內散熱機轉即行工作以防止體溫上昇，此外體內熱量的產生亦同時降低。吾人進至含氧較少的高原地區時，體內氧的需要量並不因之減少。故身體必須設法自稀薄的空氣中獲得足夠的氧。事實上亦係如此。因此外部的環境雖然變化，體內仍能保持一定的狀態，通常稱之為恆定性 (Homeostasis)。什麼是體內的狀態。它所掌管的是血液和組織液。因此所謂恆定性，其功能即在保持一定的內部環境。

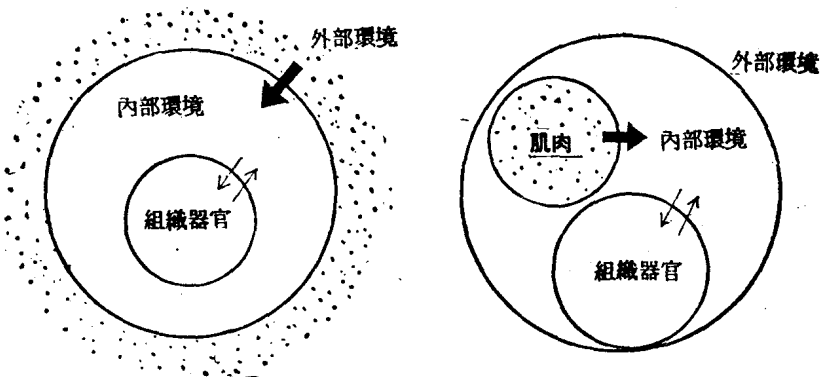


圖 2. 外部環境和內部環境以及恆定性的保持 (豬飼)

左: 外界狀況變化時, 恆定性的維持

右: 肌肉運動時, 恆定性的維持

在運動時亦係如此。如附圖 2，當肌運動時，肌肉的代謝產物即流至內部環境。同時肌肉自內部環境攝取活動所需要的物質。其間使內部環境保持一定狀態的機轉即從事活動。血液本身即具有此種機轉，呼吸、循環等即以神經系統或激動素及化學物質等為媒介而進行其活動。

如此順應外界環境的變化而保持一定的內部環境，或順應肌肉運動所發生的身體內部的變化，以保持一定內部環境的機轉即為恒定性。由於重複此種動作，其能力即因之提高。亦即恒定性的保持比較容易。故亦具有適應 (Adaption) 的機能。所謂適應就是“習慣於”，因此“習慣於”也可以說是鍛鍊的基本。

運動生理又可稱之為適應生理學。為什麼藉鍛鍊可以提高能力，為什麼進至高原地區可以忍受氧氣不足的環境，都是生理學所能解釋的問題。

三、能及其使用方法

所謂運動，就力學的觀點言，必須具有產生運動的能。這些能並不是從那裏借來的，而是產生自人體。碩大的身體，對運動有利或不利，是身體矮小的日本人極關心的問題。就能的觀點言，身體大者比較有利。因為能的蓄積較多。關於能量的使用應整個付出或一份一份地付出，是因時間及場合而異的，又依比賽項目及比賽進行情形而各不相同的。在解釋這些問題時，應利用生理學的知識。這些是與神經有關係的，自頭腦的使用方法言，這些都是屬於「運動神經學習效果」的問題。運動生理學就是由身體所遭遇的現實問題而加以研究的一門學問。對於運動生理學的建立有貢獻者，大多為英國生理學家。例如希爾 (A.V. Hill)，陶格拉斯 (C. G. Douglas)，赫敦 (J. S. Haldane) 等進先。此外義大利之毛梭 (A. Mosso)，法國之馬瑞 (E. J. Marey) 等亦均有相當貢獻。日本在這方面的研究，則較其他各國略晚。東京世運會時，日本主辦“國際運動科學會議”曾獲得與會各國一致的讚許。

(豬飼)

第二章 運動與肌肉

一、肌肉的構成

(一) 肌肉的種類

人體的活動，包括運動在內，均須仰賴肌肉的收縮始能達成。因此瞭解肌肉的構造和它的功能，對於研習人體運動者極為重要。

自運動的觀點來說，肌肉可分為隨意肌 (Voluntary Muscle) 和不隨意肌 (involuntary Muscle) 兩類。所謂隨意肌，因其兩端附着於骨骼上，故又稱為骨骼肌。當肌肉收縮時，肌肉本身即以關節為支點而工作，結果乃發生人體運動。不隨意肌則司理心臟、胃腸等內臟的運動及血管與內分泌腺體的功能。

骨骼肌的肌纖維較長，且有橫紋；不隨意肌的肌纖維較短，且無橫紋。心臟的肌肉雖屬於不隨意肌，但有骨骼肌所具有的橫紋。因此就肌肉構造的觀點來說，肌肉又可分為橫紋肌，平滑肌及心肌三大類。

隨意肌受起自脊髓前根（或稱腹根）之運動神經所支配。因為運動神經通常係接受來自大腦皮層運動區的命令，故隨意肌可依個人的意志而運動。不隨意肌係受自主神經系統的支配，因為它是接受起自間腦自主中樞之交感神經或副交感神經傳來之命令，故其活動為與大腦無關的一種不隨意的活動。

(二) 肌肉的構造

骨骼肌是由許多肌纖維 (Muscle Fiber) 組成的。十個以上的肌纖維藉結締組織形成一束，是為肌束。數個肌束彙集在一起，即構成骨骼肌。肌之外面為肌膜所包被，藉以約束肌束。

肌纖維表面為一薄膜所包被是為肌纖維鞘 (Sarcolemma) 每一肌纖維的直徑由10至100微米 (Microns) 不等（一個微米等於10.001mm）。其長度由數毫米或稱公釐 (mm) 到10公分 (cm)。

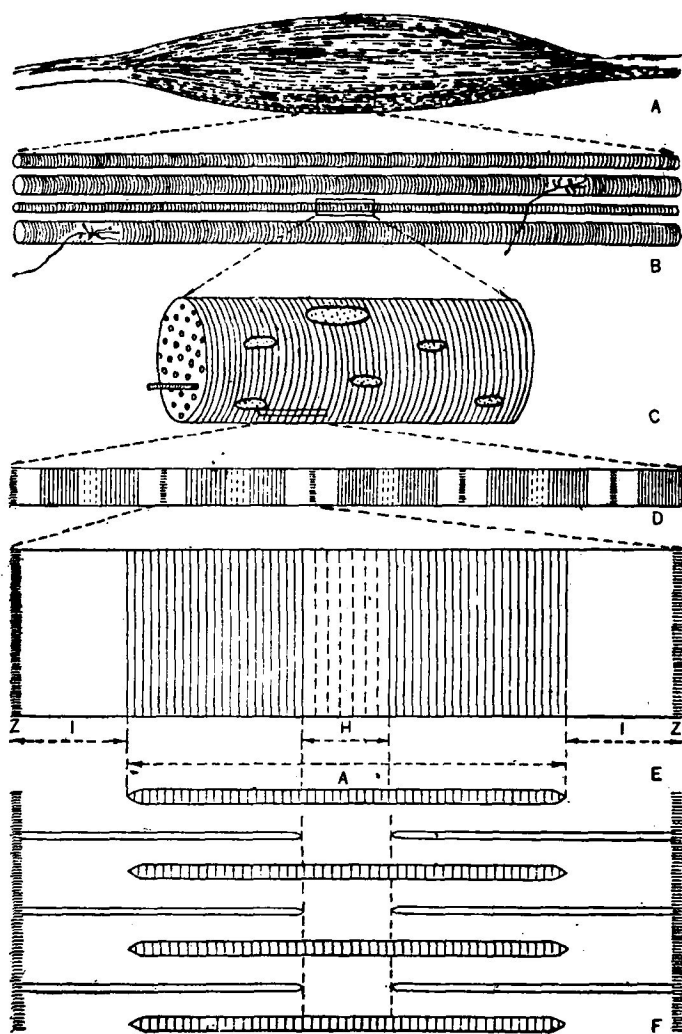


圖3 A: 肌束 B: 四條肌纖維 C: 一條肌纖維 D: 一條肌原纖維
E: 放大的肌原纖維 [A: A (暗帶) I: I帶 (明帶) Z: Z線
H: H帶] F: 自側面觀察肌原纖維 (Huxley)

每一肌纖維是由許多纖細的肌原纖維 (Myofibril) 組成。肌原纖維的厚度約為一微米，兩端伸向肌腱並與骨骼結合在一起。各肌原纖維之間充滿半流動性之原生質，是為肌漿 (Sarcoplasm) 赫克斯萊 (Huxley) 利用電子顯微鏡發現是由更纖細的纖維所組成，稱微細纖維 (Filament)。

將肌原纖維取出加以分析，發現肌原纖維具有與纖維方向成直角之橫紋。根據前述，除心肌外，不隨意肌均無此種橫紋。將橫紋放大，即如附圖 3 所示：

橫紋計分明帶 (I)，和暗帶 (A) 兩種微細纖維，在暗帶中央，有一明亮的中區稱為 H 帶。在明帶 (I) 的中央有一暗線，稱為 Z 線 (Z Line)。兩條 Z 線之間即形成一個構造單位。如附圖 4 譯者註：此構造單位通常稱為肌節 (Sarcomere)

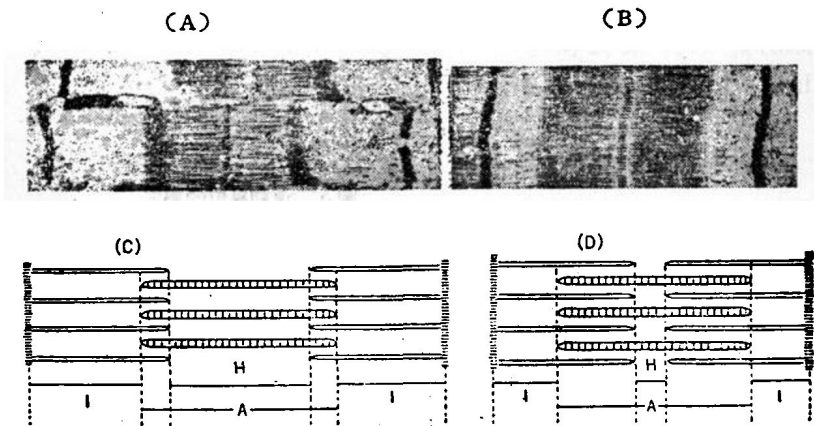


圖 4 以電子顯微鏡觀察肌原纖維 (A. B.) 及構造模型圖 (C. D)

A 與 C 為放鬆的肌原纖維 (等質部延長，不等質部不變)

B 與 D 為縮短的肌原纖維 (等質部縮短，不等質部不變) (Huxley)

由圖 4 可以看出，有兩種微細纖維互相重疊；當肌肉收縮時，此兩種微細纖維即互相從旁滑過而靠近，當放鬆時，即向外滑而遠遠離開。位於明帶的微細纖維稱為肌動蛋白 (Actin)，位於暗

帶者稱為肌蛋白 (Myosin)。二者相合在一起稱為肌動肌凝蛋白 (Actomyosin)。

(三) 運動單位

肌肉的收縮是受運動神經控制的。神經纖維最初成束狀，向末稍延伸時，即依次分枝而成為一條神經纖維。每一神經纖維再分為數個分枝，分別與肌纖維相連接。一條神經纖維和它所支配的肌纖維構成一個單位，稱為運動單位 (Motor Unit) 或稱為神經肌單位 (Neuromuscular Unit, NMU)。普通一個運動單位含有一百條以上的肌纖維，此運動單位為肌肉運動最基本的單位。肌纖維與運動神經連接的處所稱為運動終板 (Motor End Plate)。參閱附圖 6。

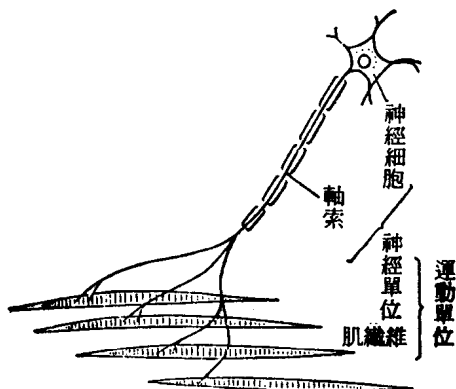


圖 5 運動單位的構成

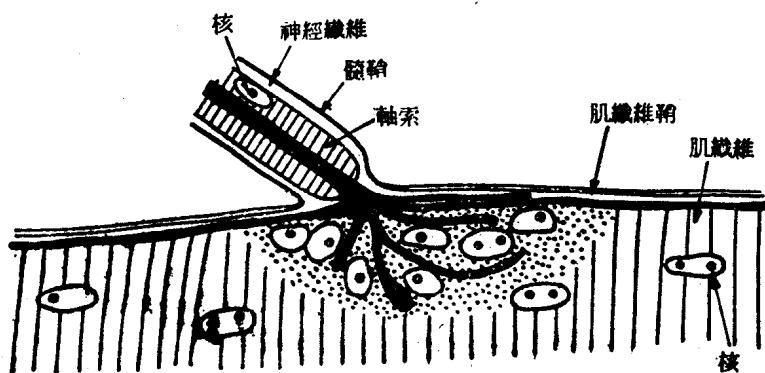


圖 6 運動終板的構造，運動神經纖維和肌纖維的連絡

二、肌肉的收縮

所謂肌肉的活動就是肌肉收縮。當肌肉收縮時，如肌的長度不變，則肌的緊張性即行增加。此種緊張性通常稱之為張力。此時我們可以察覺肌肉變硬、變大，亦即肌肉產生一種力量。在很久以前，我們就已經知道利用記紋器 (Kymograph) 測量肌肉的收縮。取動物的離體肌肉，一端固定，他端與槓桿相連接。當利用電震刺激使肌肉收縮時，槓桿的位置隨之移動，槓桿他端即將肌肉收縮的大小及經過記錄於記紋器上。

如將肌肉的兩端固定，使肌肉的長度不變，如使肌肉收縮時，亦可觀察其所發生的張力 (肌力)。此種肌肉長度不變的收縮稱為等長收縮 (Isometric Contraction)。在肌肉上繫一重物，當肌肉收縮時，即將重物舉起。此種力量不變，肌肉長度發生變化的收縮稱為等張收縮 (Isotonic Contraction)。茲以具體的身體動作，說明此二種收縮方法；例如兩臂伸直，俯臥撐於地面上，此時兩臂肌肉的收縮即為等長收縮。又如單槓引體向上動作，即為等張收縮。

當肌肉作等張收縮時，例如將重物自地面搬至車上時，肌肉即完成一定的工作 (Work)。但在等長收縮時，例如以手提一重物，因肌肉的長度未變，以物理學的觀點言，肌肉並未完成工作，但吾人確知肌肉內部消耗一定的能量 (Energy)。亦即依生理學的立場言，肌肉已完成一定的工作。由這一點即可說明，以手長時間提一重物，臂部亦感覺疲勞的原因。如此，肌肉活動的方式可以分為兩類。步行或作其他體育活動時，肌肉收縮時其長度發生變化，故完成一定的工作。保持身體直立的姿勢時，肌肉亦須收縮，但其長度不變，故未完成工作。

將肌肉的一端固定，並牽引肌肉的另一端，肌肉即因之伸展。肌肉伸展的程度愈大，所產生的抗力亦愈大。恰如橡膠繩，牽引的力量愈大，繩的抗力亦愈大。以生理學的立場言，亦即張