

新 中 學 文 庫

活 機 器

海 爾 著

薛 以 恆 譯

商 務 印 書 館 發 行

自然科學小叢書

活 機 器

A. V. Hill 著
薛 以 恆 譯

王雲五 周昌壽 主編

商 務 印 書 館 發 行

中華民國二十五年二月初版
中華民國三十六年一月再版

自然科學
小叢書
活機器一冊

(33469)

Living Mechanism
定價國幣叁元伍角

印刷地點外另加運費

* 版 翻
* 權 印
* 所 必
* 有 究

發 行 所	印 刷 所	發 行 人	主 編 者	譯 述 者	原 著 者
商 務 印 書 館	各 地 印 書 廠	朱 經 農	周 昌 壽	王 雲 五	薛 以 桓
		上海河南中路			

原序

當勃拉葛爵士 (Sir William Bragg) 延致著者使作此聖誕演講後，著者即集家人而徵其意見，諸人對於作答無疑辭以爲宜，可其請。願將以何者作講辭，則著者獲助殊少，惟十一齡之大衛有積極之主張。大衛或因憶及此演講係在聖誕後不久，宣述於少年人之前者，而聖誕則非但爲精神愉悅之時，且係物質豐阜之期，故以爲當演講『吾人如何嗜物』。著者未能實踐其言，良用歉然。然欲就此題作六小時之演講，其事不易，且預期對此所作試驗及表演，必致發生惡感，蓋若僅用著者家人作嗜物（其物或爲美味）之試驗，則殆將使聽衆嫉妒而致家人於疾病，苟施之於全部聽衆，則皇家學會 The Royal Institute（即延著者作演講之團體）或竟因此而有破產之虞也。

因是著者祇可自定之，乃立意演講極尋常之事物——人體之神經及肌肉。吾人如何能覺身體內外所發生之一切及以何方法而動作不息。

既已決計，而家人對其事即表示活動之興趣（著者當聲言彼等間亦同至試驗室中，『以資臂助』）。彼等最佳之提議爲八歲之建納所作，創議令著者施試驗於其身，此說立爲餘人所贊同，而試驗之結果則可以本書中見之。

於此著者慮之愈深而愈覺其佳。所施試驗，必擇其極可畏者。若苞萊（方十二歲）則吾將顯示其心之跳動且將測量其肺葉，或竟表現其骨骼，並曝其情感於銀幕。大衛則使受電力感觸，務令手中爆發火花而後已；或令其登希馬拉雅山之最高峯而於其地轉動自由車（是地有自由車可稱異事）；至於力竭；於是再與以氧氣而使立覺精神重振。建納胃臟之動作（近日少女全不知禮）將顯之銀幕以示聽衆。而七齡之毛理斯，則其心臟之聲，將使其高同於鎗砲，俾講堂中咸可得聞；或令自袋中呼吸奇異之氣體；然毛理斯不以為爲足，直至著者允其亦受電力感觸而後已。惜乎凡此種種，不能一一見諸事實，然其中固亦有可能者也。

大多數人對其自己之身體，所知極少，殊出乎常情。著者於十六歲時，有經典派之校長謂以肌肉非軟骨而爲紅色之肉；著者且因自聞其心臟跳動聲，恆幻想以爲必有疾病。是時對於『訓練』

有極滑稽之意見，謂訓練者不過竭力少飲水，不食番薯及麵點，餐後進效力偉大之藥品一匙，如是而已。吾人非特對於人體所知極少，對以其他機器亦然。具有汽車者，大都不知汽車之內容及其動作之道，具有良好之身體者，亦大都不解其機械作用及其各部份之意義及重要。在本書之六章中，著者將從事於使讀者略知人身二重要部份之工作，即使人身移動之肌肉，及佈置其移動之地方及方法之神經是也。讀者明瞭此二者，則所知已足使其欲知其他事物之一切矣。

目錄

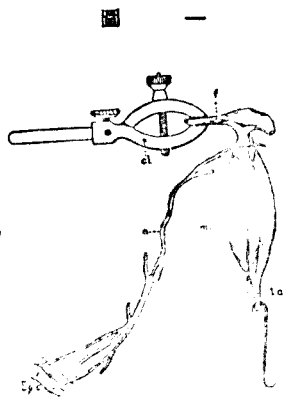
第一講	神經及其所傳之信息	一
第二講	肌肉及其動作之法	三七
第三講	心臟及其他數種肌肉	六九
第四講	肺與血液 肌肉獲得空氣及燃料之方法	一〇五
第五講	神經與肌肉之合作	一四七
第六講	速度力量及持久力	一七七
附錄一		二〇五
附錄二		二一〇

活機器

第一講 神經及其所傳之信息

吾人苟取一新死之蛙，去其皮而分裂其股上之肌肉組織，則得一白色線狀之物，自脊骨達於腓部，此卽蛙之髓神經 *sciatic nerve* 也。附圖一甲所示爲人體臂部之神經，大致亦與此同，惟較爲粗而長耳。若此蛙死尙未久，則當此髓神經受緊夾或被切斷時，蛙股猶能作蹶狀。苟將此神經留神取出，並仍使之與一部份肌肉相連（圖一），則可用以作若干時日之試驗，故吾人對此所知甚多。此髓神經尙屬『生存』且能於蛙已死之後，繼續生存若干時。或謂吾人何以能知其尙生，且何能於其主體已死之後猶生，此項問題，雖屢經學者之研究，而治生理學者尤爲努力，然因無人能知『生』與『死』之確切界說，故尙未能有完全之答覆。但吾人對於人體及一切生物，所知愈多，則

知人體實如集百萬士卒所成之軍旅，縱或因敗潰而不復成軍，其士卒固未必人人盡死於一役，大都敗後歷若干時而後死，間亦有經久而方歿者。被殺之蛙亦然，其身體各部多能繼續工作，適與蛙生時同。吾人所謂『生』，其全部意義，大略如此。故此髓神經仍能往來傳達消息，與蛙生存時深藏於肌肉中所任工作相同，然此種狀況，固不能持久不變，其所傳消息愈久而愈微弱，最後則完全停止，則此神經謂之已死。但當其未死之前，能工作若此之良好，而歷時又若此之長久，故吾人可用作試驗而所知頗多也。



蛙之神經及肌肉組合。其骨 (femur) 以一夾子 (cl.) 執持之，與骨相連之膝部肌肉 (gastrocnemius) 則有鉤貫其腱 (t.a.)，由是以測量及記錄其動作；自脊骨 (sp. c.) 而出者為髓神經 (n) 之根株，髓神經自其根株起以至進入肌肉之點止，已經剖出，惟除進入此肌肉之分株外，其餘分枝，俱已割去。(根據 Foster)

若於顯微鏡下視察神經，則可見其為數百長而極細之纖維所組成，每一纖維其粗約等於人

髮十分之一。附圖一乙爲髓神經中一束之橫斷面，一丙亦然，但放大倍數較多。在吾人用以司感覺或傳達消息至肌肉之神經中，每一纖維成分外表及內部，與絕緣之電線相同。苟循此等纖維而上，則可見其經歷神經之全部，自在脊骨中之起點始，直至在肌肉中或在人體表面上之終點止。此種神經纖維，爲具有生命之細胞之分枝，每一細胞則如軍隊中之士卒，在其成羣之同儕中，自有其適當之地位，或在所謂脊髓中，或在深藏於體骨內之神經系較高各部中。附圖二乙爲人腦中神經細胞之高度放大像，二丙爲脊髓中發動 motor 神經細胞（即傳達命令至肌肉者）之圖。此項細胞各方互相呼應，或內外受授消息，或循神經纖維而發施號令於肌肉。故此等細胞分之則爲獨立之生物，但其各個間之關係，至爲密切，故綜合之則成爲整個之動物。

動物之在元始時期，其形體不大，且無需極高之速度。當其體中某一部份，欲與其他一部份交通時，所用方法亦較遲緩，猶之郵遞而非電訊，先則欲與他處通信之一部發生一種物質而使其周遊於體內流質中，至到達其可以授與消息之地而後止。此種方法現仍用之，譬如吾人於急步登樓時，體中需要更多量之氧氣，以造成工作之能力，則吾人之肌肉中，即發生碳酸及乳酸，二者隨血液

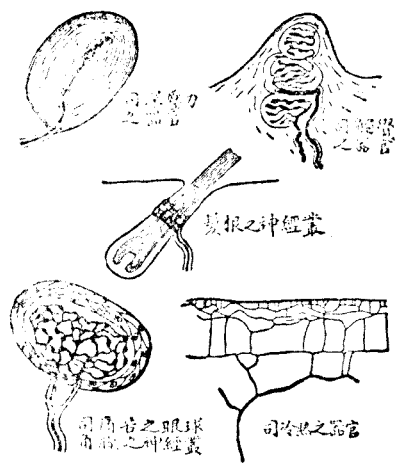
流轉，及其到達腦之一角，則傳達其所攜之信息，然後神經系發令於司呼吸之神經，而吾人之呼吸於焉遂較深而促。再如消化，當食物自胃中繼續前行而再受消化時，所與接觸之腸膜，即受其影響而分泌腸液 *secretin*。此種液質周流血液中，至於脾臟則脾臟立即發生酵質以繼續消化之工作，然此等方法猶之郵遞，終嫌遲緩，故動物進化，漸覺體中各部互通消息，必需較速之法，適如吾人因郵遞之遲緩而發明電信電話及無線電然。動物體中所獲得之法，則爲利用神經，以成細長而繼續不斷且具有生命之途徑，各種消息或衝動 *impulses* 則循此路徑以溝通各部。

曩昔吾人恆以爲神經之體中空，而內有液體流通，此種液質並能漲大與神經相連接之肌肉。實則絕無實質之物，循神經而往來，神經之作用適如電線，或如充滿無線電波之空間然；且肌肉於收縮時，非特不增大其體積，實反稍較小於平時。當聲波穿越空氣，固無有質之物與之俱來，而水面生波時，水之本身亦不隨波浪之方向而行。苟持一繩而搖之，則波浪循繩而動，然繩自身之地位則故未移。風吹田禾則生稻浪，而田禾仍居原地。在神經中亦然，僅有一種波浪通過，此種波浪絕不含實質，僅係神經中物質所發生之變化的波浪 *wave of change* 而已。波浪經過之大意，爲欲了

解近代物理學，工程學，及生理學者所不可或缺之知識；聲音，光線及無線電中，無不有波浪發生，而在活動之神經系中，其每秒鐘所發生之數，蓋不下數十萬次焉。

神經纖維之分佈與電話線無異。每一肌肉纖維，每一感覺器官，無不具有其神經纖維，適如每所房屋，有一電話線然。圖二示吾人以數種皮膚內之神經終點器官，及其相連之神經纖維，並其所傳之各種感覺。倘皮膚受刺激之面積極小，則各種感覺不能同時盡行發生，或祇覺痛苦，或祇感觸覺，或覺冷，或覺熱，皆視與受刺激處最近之器官而定，此種皮膚內之器官，在人體中分佈之密度不同，譬如吾人指端，其司觸覺之器官，多於臂之上部者凡三十倍。每種感覺，吾人因其所自來之器官而辨別之，並由注意此類器官中，何者正受刺激而定其地點。眼球角

圖 二



皮膚中之神經終點器官。

膜中，止有司痛苦之器官，故是處所發生之感覺，無論若何微弱，必覺痛苦。大概在普通狀況之下，每種刺激止能影響一種特殊之器官，惟刺激劇烈過度，則亦能波及及其他，故極熱之沐浴，非特刺激司熱之器官，並能引動司觸覺者，吾人於熱浴後，恆覺極癢者，職是故也。

試再以電話喻神經系，身體之每一部與其他各部，並不直接相連絡，猶電話用戶間無直接互相連絡之電話線，必經由接線處然後方可互相通話。而在人體中，則此等接線所，在其腦中或脊髓中，即所謂神經系也。附圖二甲爲人腦及脊髓之圖，苟除去吾人顱骨之後面及脊骨，則其狀如此最上爲大腦及小腦，均分左右二面，下爲脊髓，神經之根，株由此而出。脊髓爲兩部份所組成，其內部爲神經細胞所成之灰色質 grey matter，而其外部之白色質，則上下行之神經纖維也。消息之傳達，由外部之白色質司之，而接線所則在內部灰色質中。此等接線所大都均爲自動，若自動電話然，較平常電話尤爲迅捷。故吾人苟矍耀光於人之目前，則其目必瞬；忽作大聲，則其人必躍然而起；當其交股而坐時，輕擊其膝蓋下，則無論其人之意旨若何，足必向前蹴。蓋有一種信息，業經發出而至於接線所，或再由此而達其他接線所，其傳佈均由自動，故於一秒鐘之千份之幾時，即可喚起司瞬目，

跳躍，或蹴踢之肌肉，而使呈反應也。

人體中之神經纖維，數以百萬計，皮膚表面及內部各處靡不通達。接線所之引用，可省卻無數線路，亦與電話同。蓋人體之每一部，苟均與其他各部直接相連接，則人身含神經而外，所餘殆將無幾。人體中之接線所，爲極纖巧而重要之物，經逐漸之進化發展而後成，故人體之神經系及腦爲世界上一切事物之最複雜可驚者。人體中之接線所雖大都仍爲自動。然經歷進化程序之後，已具有較純粹自動之作用，更爲複雜而重要之能力，卽意識，智力，及自由意旨是也。然其初亦發源於與電話接線所相同之器官。且吾人如不能自動的應付事物，而一切咸有待於命令及諮詢，則將處於非常困難之境矣。

茲再言循神經纖維而經過之消息。此種消息，其運行雖速，然遠不如無線電波之每秒鐘行十八萬六千英里，卽較之聲波之每秒鐘行一千一百英尺，亦所弗逮。在人體神經中，消息之速度，每秒鐘約四百英尺，或每句鐘二百八十英里。其速度必須若此之高：蓋人體自足趾達於腦髓，每一往返，距離頗長，在體格較高者，此項距離約有四碼，如消息之速度每秒鐘止有二碼，（約略與吾人急步

而行之速度相等)則當其足趾被踐時,其人需時一秒鐘以完成移去其足之思想,復需一秒鐘以實行之。動物中之高大者,如長頸鹿,鯨魚,及象等,苟其神經中消息運行不極速,則遇有不便利事發生時,將因歷時過久而不能作適當之應付。冷血動物中之神經消息傳播固屬較緩,其速度亦視氣候而高下;然此類動物,其體格大都渺小,故尚無礙。處於室中之蛙,其神經中消息傳播之速度,大約每秒鐘自五十至一百英尺,若溫度增高則一切動作亦較迅速。故龜在烈日中爬行較速,吾人體中則常保持一定之體溫,(其代價頗不爲小)俾常可作迅速之動作。吾人體溫較之於蛙高出甚多,故神經中消息之傳播亦較速,大約自四倍以至八倍。

各種波浪速度表

無線電及光線	每秒鐘一八六〇〇〇英里
水中聲波	每秒鐘四八〇〇英尺
空氣中聲波	每秒鐘一一〇〇英尺
深水上之長波(一一〇碼)	每秒鐘一八至三六英尺

水上微波（二英寸）

每分鐘一英尺

神經衝動之速度

人（攝氏三十七度時）

每分鐘四百英尺

蛙（攝氏十八度時）

每分鐘九五英尺

蛙（攝氏八度時）

每分鐘五三英尺

如欲求得神經中信息通行之速度，苟無須十分正確，則決非難事。取蛙之神經與肌肉組合（見圖一），而於其神經上不同之二地點加以刺激，一在最遠肌肉處，一在極近肌肉處，則後者肌肉之感應較速於前者，蓋其循此神經而傳達消息所需之時間為較短也。二者時間上之差別，可以計算而得（見圖三），既知神經受刺激二點之距離，則消息之速度不難推求而知。在人體中亦可作同樣之試驗，惟不能若是之準確耳。吾人可加電流感觸於人體之一點，而求得其作反應動作前所需之時間，然後用同一手續於另一地點，而再計其時，二者時間上之差，視兩地點間之距離而高下，但因速度極高，用此方法頗難求其準確。故尚有較佳之法。

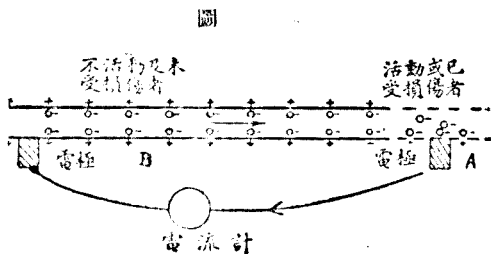
循神經而經過之消息，大致確具有電之性質。但在意義上，並不如無線電及光線之波浪然，蓋其傳播之速度較低也。近代科學中有電化學 electro-chemistry 一門，專事研究化學物體之電的性質，通過神經之波浪，實為一種電及化學上變化之波浪 wave of electro-chemical change，即其性質一部份為電的，而一部份則為化學的。此種動作具有化學的一方面，現已成確定之事實，蓋每一神經，亦猶一切其他生物，咸具呼吸而需要氧氣，活動逾甚，則呼吸中所需氧氣亦逾多，蓋所以燃燒食品（蛋白質，脂肪，或糖質）而發生能量也。消息循神經而經過，必需若干能量，此可於神經受刺激時則熱度增高而知之。但計算熱度，實非易事，蓋在一神經中，即每秒鐘傳達消息至二百八十次之多，其增加之熱度，亦不過一萬四千分之一度而已。每一消息所增不過約略百萬份之一度，然其熱力雖極微，亦可

圖 三



同一肌肉所作兩次抽搐之記錄，此兩次抽搐，為由加同一電力感觸於神經上二不同地點（一近肌肉，而一則相去較遠）所造成。兩次抽搐間之時間距離，約一百五十分之一秒，即神經上二點間傳達消息所需之時間也。苟兩點間之距離為十公分，則消息之速度為每分鐘十五公尺。圖之下方所示顫動線條每分鐘震動一百六十二音叉所成。

經歷神經中之消息，具有電力之一方面，實為許多事物所明示，而吾人亦知之已久。苟取一生存之神經而損壞其一端，然後置之於器中，如附圖二丁所示，然後以損壞之一端，及未受損傷之一點，接連於一靈敏之電流計上，則可見有電流自受損處達於未損處。各種生物，因受損傷而發生同樣情狀者頗多。吾人倘再加刺激於此神經（即循之而送一信息），每一信息必有一度電的變化發生，可自電流計上觀察而知之。圖五示一神經纖維與 A B 二電極及一電流計相連接。神經之表面假定其為在極化狀態中，陽性游子 ion^+ （符號為 $++$ ）居其外，而陰性游子（符號為 $-$ ）居其內。二者因兩性間之吸引力，故有互相併合之趨勢，但因神經表面，係不傳導體，故未能混合。當神經受損則不啻獲一路徑，陰性游子即循神經之內而達於 A 電極，於是放棄其所含之電子，電子經電線中通過電流計而達 B 電極，新游子亦即於是處組成，而與在神經外表之同類相混合。在未受損傷之神經中，當消息當過時，其活動點之動



作與受損之神經相同，陰性游子即由活動點流出而與在外之陽性游子相混合，故無論神經受損與否，在電線中經過之電子可使電流計上之指針移動其地位。於此可知當消息經過神經時，有電位之微波與之俱行。此種波浪，至爲微細，歷時不過千分之幾秒鐘而已，然用現時所能獲得之儀器，吾人可以紀錄及計算此種極微細之電波而具有放大器 *amplifying device* 者，尤爲便利，即發生於一單獨神經纖維中之電流，亦可量而知之。吾人對於神經之動作，至少對於循神經而行之消息，其所知大都由於研究與神經中消息流通時並行之電波而得之。

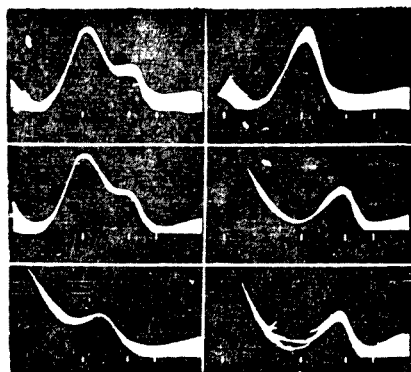
顯示及紀錄神經中電波之法，莫妙於用陰極射線示波器 *cathode ray oscillograph*，此種器具中有電子（註一）——即極小之陰電微塵——以極高速度放射而出，此種電流可使射於攝影感光版而記錄之，或使射於置在放射過程中之螢光性障礙物上而目睹之，且可以用電力或磁力使之屈曲，吾人即用此法以紀錄神經中電的變化，使在一方則因受神經所發生之電流而屈曲，在另一方向（與上述方向成直角形）則用一種設備，與發生刺激之電流相連者，而使之屈曲。吾人可佈置此種器具，使當神經繼續受刺激時，其電波在吾人之前作靜止而明晰之呈現，俾可

對之作種種研究及視察，並可試驗之，計算之，或攝取其形狀。神經受繼續刺激而發生之持久電波 standing wave

，其形狀頗為美觀。圖六即為此種電波之圖，但殊不佳妙，然欲睹原物，則非至四千英里外美國聖路易城朗格教授 Prof. Erlanger之化驗室中不可也。

證明與神經中消息並行之電流，

其法尚有較簡於此者。祇須將一神經之被切斷之一端，及此神經之中間，與一靈敏之電流計相連接。當吾人加刺戟於此神經時，則電流計立即移動。電流計為一種偵察及測量電流之儀器（見附圖三中），其對於電流之感覺，可使非常銳敏。譬如電燈中所通過之電流，其量大約不過一安培



神經中電的變化，最為靈敏。故將放射示波儀器之持久波法時之紀錄。當波浪放射於幕上時，所攝影底片攝取之，遂成此項記錄。圖示不相同之波浪六，係在不相同之狀況下所攝取者。

（根據 Erlanger 及 Gasser）

ampere，然在今日，吾人苟備一極靈敏之電流計，則電燈中之電流，殆可使其指針行動至五十萬英里以上，換言之，即此計可以指示一百兆分之一之電流。然舍特殊用途外，固亦無需若斯銳敏之儀器。但有數種試驗（如上文所言測驗神經中所發生之熱力者），則仍當力求其感覺之敏銳也。上述最後之一法，不能記錄每一循神經而通過之單獨波浪，吾人所能知者，不過此種波浪相加而成之和而已。欲明示單獨之波浪，須用一種其他之儀器（弦線電流計 string-galvanometer 或毛細管電流表 capillary electrometer）。此種儀器，將於下文述及之。然電流計為最先用以測量神經中電流之儀器，即在今日仍不失為一最簡最佳之工具也。

當加爾文尼為波朗那大學解剖學教授時，因試驗蛙之肌肉而注意及於電流之存在，實亦為指示動物體中電力之第一人。（註二）加氏將一神經與肌肉之組合，置於玻璃板上（圖七。）以玻璃棒擡起神經，使其新被切斷之一端下垂而與肌肉相接觸，則肌肉發生抽搐，此蓋因受神經中所發生損傷電流之刺激而然。當肌肉本身受刺激時，則發生活動之電流，而激動神經。在圖八中第一肌肉因其神經受刺激而發生活動電流，而此電流即刺激第二肌肉之神經，而使第二肌肉收縮。如

圖 七



活
機
器

加爾文尼氏用以表明動物體中有電流
存在之試驗。(根據 Waller: Human
Physiology)

圖 八

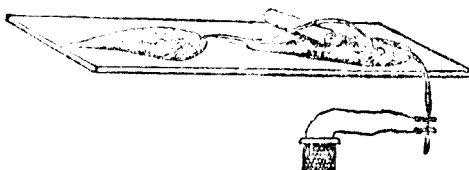


圖 九



心臟活動時存在電流之記錄。(根據 Einthoven)

圖中右方之肌肉，受電線輪所發電流之刺激而收縮，當其收縮時，卽有電位波浪循之而過，以刺激左方肌肉之神經，而左方肌肉亦卽收縮。此種簡單而可以深信之試驗，實以簡單之儀器，明示吾人肌肉當受刺激時，能發生電流。

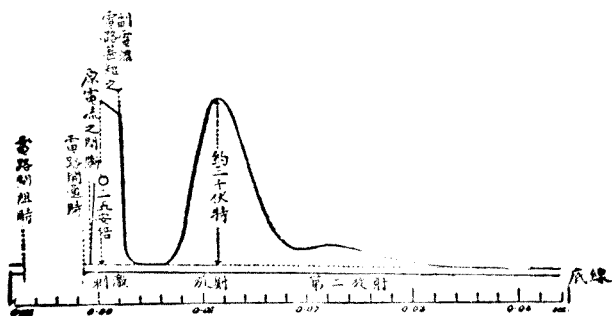
人體其他各部亦有同樣之電的變化；如心臟，如肌肉，卽體中之腺，及眼球網膜亦然。圖九爲眼球網膜發生電流之紀錄。先使人目習於暗處，當紀錄之始，則使光線射於眼簾，歷時凡百分之一秒。感應立即發生，圖中所示複雜之曲線，則假定其爲與眼球網膜中 A B C 三種不同物質相符合者也。圖中平行線每格表示半秒鐘，而垂直線則每格爲十萬分之一伏特 10^{-5} （電力單位）。故全部感應不過四千分之一伏特而已，是以所用儀器須極敏銳者。

魚類之中亦有具電力器官者，其器官實爲有力之電池組。具有此種器官之魚，能隨意由此繼續發出電震，而使其仇敵發生痲痺或昏暈。附圖三乙示吾人以日本之魴魚及其電力器官。此魚當長成時，自首至尾約長尺許。其電力器官則爲一雙大而扁之物體，生於魚身之兩旁者。每一器官爲數約二百左右之六面柱狀物所組合而成。柱高約半寸，每柱中有圓形之電版 *electric plates* 約

四百，為膏狀物質所成，有司電之神經五自腦葉以達於此器官之每一面。此神經之分支極多，每一圓形電版即有一神經纖維自其下而入。當有消息循神經而來，則此器官即能放射電氣，其時圓形電版之下面成爲陰性，而其背面則爲陽性。放射之壓力約爲三十伏爾脫，此在海水中固已頗可畏矣。假定此器官中之柱狀物於電力上爲並行的 in parallel，而圓形電版則爲成系的 in series，則每一圓形電版爲其神經所刺激時，大約發生百萬分之七五伏特。此種電力放射，可以用示波器 oscilloscope 以紀錄之，如工程師用於總線者然。

圖十示吾人以此種器官自魚身完全取下後放射電氣之狀。將此器官緊夾於二金屬片之間，前後而各一，

圖 十



日本紅魚之電力器官已脫離主體之放射。

然後加以電力電感觸岡中曲線第一高起處表示發生刺激之電流，第二高起處則表示器官對於此項刺激之感應，而第三高起處，則示器官對其自身所發電流之感應者也。此種電力器官，實頗有再加研究之價值，但在現時，則吾人對於神經中之電的變化，所知遠過其他一切，蓋神經之性質及構造，較為簡單，而其獲得以作試驗亦較易也。

前曾數言神經之受刺激，刺激神經之道，舍人體中所有天然方法外，尚有多種：或輕擊之，或使受熱，或加以化學物質皆可。但此等方法或致使神經受損傷，最妙之法莫如用電震 electrical shock，在事實上電力感觸之見用於此，亦已甚久，當西歷一七〇九年，好克司比 Francis Hauke 在倫敦發行一書（註三）其中有云：『電力吸引之性質及定律，多有未經人考慮者，故希望讀者於下列之觀察中，可遇許多事物，足以助其發見人體中奇特性質之效力，極可驚異而經人道者，及自然界之幾項動作，或者竟可由此而知動物體中非自主動作之發生及限度，關於此等事實，現時尚少言之成理之文字也。』好克司比所預言電力能發見可異而未經人道之效力，在生物界中與非生物界中，今日一一均成事實。吾人現能用電力造成並顯示動物（人和亦然）體內各部非

自主之動作，苟起此君於九原而使目睹之，則殆必將大悅無疑，然對於此問題，卽在今日，尙少言之成理之文字，則或尙屬事實也。

吾人可以刺激神經歷數小時之久，惟須有氧氣供給之。在刺激終了時，神經之活動，幾仍能與開始時相仿佛。蓋其所費能量不多之故也。吾人可用自電線圈發生之感應電震 (induction shock) 或容電器之放電 (condenser discharge) 以刺激神經，或用直流電流或用交流電流俱無不可。直流電流者，其電子於線路中始終循一定之方向而行者也。在交流電中，則電子先循一方向而行，然後再更易而循另一方向，其動作常在相反二方向中進行。當直流電通過電話機時，止作一札然聲，而交流電則繼續營營不已。吾人之屋宇中所用之電有直流者，亦有交流者。無線電天線中者爲交流，而電鈴中則直流也。直流電經過神經，止於電流開始時，及停止時，予以刺激凡二次。交流電則除方向變易極速者外，每一變易其方向，必予以刺激二次。普通刺激神經之法，爲用一感應電線圈 (induction coil) (見附圖四甲) 蓋吾人可用以注入突然發生之電流於神經中，而立時加以刺激也。在此種儀器中其原線圈內電流之斷續，使副線圈內發生極速之感應電震，卽突然發生之

一陣電流，此爲電力刺激中最佳最簡之一法。倘原線圈常處固定，則可以移動副線圈之地位，而使此種電震發生變化，止須將副線圈前後易地，或掀起其一端即可。如需要電線一陣連續之電震，則可將電池連於二特殊終點，此種終點能使電流自動斷續如在電鈴中然。苟用電線圈以刺激神經，則其發聲器之每一動作，即使神經亦一度受刺激。

對於人體亦可作此種試驗。吾人臂部之肘神經，卽如附圖七中在電極下通過者，極宜於作試驗之用，蓋此神經並不深藏，而當肘之附近處，更近表面，且極易受刺激。此爲司前臂及手部肌肉之神經，而其司小指之屈曲者最便於觀察。吾人用大而扁且帶濕之電極，置於中性地點（如腓部），以注入電流於人身。因電極面積之大，故其電流亦甚散漫，而當電極所在之地，因無近表面之神經，故在此處電極並不發生若何效果，再用一小而濕之電極裝置在桿頭者，引此電流由人體流出，則刺激卽發生於電流離開人體之一點。苟注入直流電流於肘神經中，可見其小指當電流開始時，抽搐一次，在電流繼續通過時則無所見，蓋此時人體，適如用直流電之電話機然，止於電流開始時作札然聲，而在其繼續通過時，則並無何種感應發生也。苟用容電器放射，或施感應電震於人身，其小

指亦祇抽搖一次，然苟用一陣連續之容電器放電，或用交流電流，則其小指即發生一陣連續之抽搖。每次放射，或每度往復，必亦發生抽搖一次。此種抽搖苟使其達於甚高之頻率，則可使互相混合。當吾人增加其頻率，則肌肉收縮亦更有力而逾相啣接。最後至電流之頻率極高時，則可異之事實，亦隨之而發生，蓋小指忽全然不動，一如無電流通過人體然。此種事實之解釋實爲了解電流發生刺激方法之線索。苟用頻率極高之電流，如無線電天線中者，或忒斯拉電線圈 (Tesla coil) 見附圖四乙) 所發生者，則絕無若何效力發生。吾人可以與電線相接觸，或引之使生火星，然舍因電流在流入皮膚處所發生之熱力而微覺刺痛外，其他殊無所覺。苟頻率實爲極高，雖十萬至一百萬伏特之電流，童稚亦可玩弄其電線而絕無危害，然苟頻率不高，如交流電幹線中者，則雖其電壓高度不過百分之一或千分之一伏特，亦足立即致人於死。今當元將此種事實加以解釋。

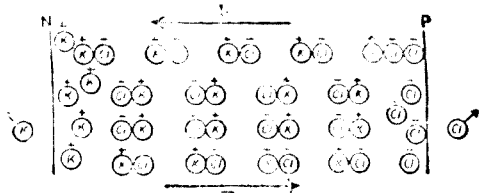
欲了解此種事實，則當略知電流刺激神經之道。欲知此則尤不可不先知當電流通過富有水份之物質如生物體者時，究有何者發生。從電的方面以觀，則一切生物體，大抵不過具有多數內部隔離物之鹽質溶液而已。圖十一示氯化鉀 KCl 之水溶液，在此溶液中，鉀 K 感受陽電 (固已失

去一陰性之電子，而氣則感受陰電（已獲得一電子）。當電流在溶液中自P達於N時，其陽性游子（鉀）循有+號箭頭所示之方向而行。陰性游子（氣）則循有一號箭頭所示之方向而行。若假定P與N為生物體中之膜而阻止游子通過者，則陽性游子必將堆積於N，而陰性游子則堆積於P。當神經中及肌肉中有電流通過時，正亦如是，堆積既多，障礙物必至崩潰，而所謂刺激於焉以生。

人體四之三為水，而其餘四之一中，其最重要者則鹽質也。水本不傳導體，然溶鹽質於其中，則電流即能通過。電流通過電線時，實為成流之電子。陰性之微塵。所載，然當電流通過含鹽

質之水中時則不然。其流通由於所謂游子之活動，游子者，實體物質，如鈉，如氣，或其他物質之分子而感受電力者也。故苟使電流通過水中，則物質之具有陽性電者（如鈉及鉀）有向陰極N進行

圖 十 一

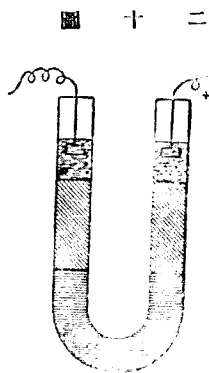


並堆積於其處之傾向；其他物質之具有陰性電者（如氯）則有向陽極 P 進行並堆積於其處之傾向。若所用物質為有色者，則甚易顯示之。蓋當電流通過時，可目睹有色物質向一電極而行也。圖十二示此極為明顯，圖中玻璃管之下端為硫化銅

CuSO_4 之膠質溶液，管之中層則為無色鹽質之膠質溶液，其上則祇無色鹽質而已。銅所成游子，其色綠，當電流自管之右而行達於左，則綠色溶液亦循同一方向而漸移。苟撒炭末於硫化銅溶液之表面

以誌其地位，則當銅質移過後，炭末仍留原處。硫氧游子向右而行，但因其無色，故不可見，然苟置少許鉍鹽 *barium salt* 於右方之無色溶液中，則發生雲霧狀之沉澱，蓋由於硫酸鉍 *barium sulphate* 之組成故也。

凡有生命之物質，咸如具有多種隔離品之鹽質溶液。此種隔離品或為許多細胞之外皮，或為分隔內部細胞之膜，然無論若何，其能阻礙溶於水中之物質之流通則一，故當電流通過時，此種物



電流通過時有色游子之移動。

質卽有壅積於隔離品所在之傾向及其壅積已多，卽隔離品之組織已發生充分之極化作用時，則必致崩潰，而刺激於以發生。故當一動物或一神經爲電力感觸所刺激時，吾人須知其電流已使數種化學物質於生物組織內之隔離品所在處壅積成堤，及壅積已甚，則必崩潰，而所傳消息亦遂流通。

電流之方向更易極速者，不能起發生刺激作用，其理極易知。蓋交流電所循之方向，先此後彼，往覆不已。初則載化學物質向一方而行，且有使之壅積於某膜所在之傾向，但在其於此方尙未能大有所爲之前，卽已開始向相反之一方進行而完全解除其前之所爲。此種事實亦可用有色之溶解品以顯明之，如圖十二中之試驗當用直流電時，則有色物質卽行移動，但用交流電時則電力雖無論如何之強，有色物質仍靜止不移。欲使交流電發生效力，則其電流方向不能更易過速，以致電流在一方面所造成之效果，爲繼此電流而向相反一方行之電流所完全取消。交流電及直流電之不具同樣刺激力，其理不過如此。故吾人之手當潮濕時，則直流電流雖祇一二伏特之微，亦易感覺，而交流電流之更易甚速者，則雖高至數千百萬伏特，亦絕不發生若何效力。然其頻率，必須極高，如

忒斯拉電線圈中者然，否則每向一方之電流，苟在其效力未被向相對方之電流所中和時，獲有充分時間，則交流電之危險亦殊不亞於直流電也。

前文已略述神經之工作方法矣，本書之主要目的爲在現今可能之範圍中，解釋人身各部之工作。然人體之活動尙有與此同一重要之一方面，蓋除工作外尙有生長也。生長之本身問題，本書將不加討論，惟其關於受傷殘後之重生，及恢復（於根本上本與生長無別），則茲就其涉及神經者加以說明。當神經在試驗中，或因意外事而被切斷或受損傷，則其脫離所屬細胞之一部份，必退化而死，而消滅。在歐戰士卒所受彈傷中，此爲習見之事實，故當時神經之重生生長問題，極爲重要。苟吾人切斷一神經，使分爲二，則其下一半，卽已脫離其神經細胞者雖死，而其上一半則仍生存。神經細胞對於其纖維，究其何種力量，吾人尙不能知。在身體巨大之動物中，神經有長至數碼者，何以當此神經與其所屬細胞相連時，可歷多年不死，而一旦被斷，與細胞不相連續，則立即死亡，吾人於此尙未能盡曉。神經細胞之直徑，不過一公分之千分之幾，然其處於鯨魚或象之脊髓中者，能對於雖相連而距離數碼之一縷神經纖維發生力量，實爲至可驚詫之事實。神經纖維有長至五公尺以上

者，其直徑則不過千分之幾公分而已，其長或有數百萬倍於其粗者，適如連接用戶住宅與接線所之電話線。有一種勢力，繼續循之而傳遞，此在維持其健康及活動上實為必然之事實，故苟此種勢力因神經分段而被截，則其神經立死。哈台哥士 *Dr. William Hall* 在化學學會之演講中曾云：『任何實在物質，苟欲以擴散傳播之法而使之自神經細胞循其所屬纖維以傳達，則需時不知若干萬年且無論何物，在其到達終點之前，必至失落，故可斷定事實上與此不同。』所傳達者究為何物，今尚無以名之，姑稱之為『勢力』。『神經中頻有消息循之而經過，或為其繼續保持康健之所必需；或則神經之分子中，具有一種組織，有與晶狀流質同構造之物，循神經而由此分子以傳播及於另一分子。當神經之一部，因被斷之故而不能感受與其接近部份中同樣組織之力，則必致立即死亡。總之神經細胞對於神經纖維，具有一種勢力，此實生物學中最足以引人入勝之神秘事跡也。』

當一神經被切斷後，其下部雖死，而上部仍生，且其上部苟獲機會，則能循故道而向下逐漸生長，迄乎恢復其原來之功用而後已。然神經被斷之兩端，必使其互相接近，俾纖維可以循原有路線而達於未斷時與相連接之器官。肌肉及皮膚中感覺器官或腺神經之能覓路而重生，實至可異，當

重生後，其功用亦即回復以前原狀。與肌肉相連之神經纖維，仍傳達消息至於肌肉而使之收縮，斷不誤達至於皮膚中之感覺器官，而司感覺之神經，亦決不向肌肉而生長，或與之相連接。每一神經纖維似具有一種神妙莫測之法，能知其所必經之路，故被斷後經歷若干時日，其工作即能恢復，然亦須略加助力，即使其被斷之兩端相接近，俾可循故道而生長，舍此以外，則神經咸能自爲之。

此種試驗屢經施之於人身，非特因有意外事之結果爲然，間有於試驗室中故意爲之者。如海德氏 Head 與 李佛氏 Rivers 曾紀錄一神經分開之人體試驗。在此試驗中，彼等切斷其一臂中司感覺之神經使之死，然後使之重生，而於其過程中，研究其影響所及各部之感覺。神經且竟可交接，譬如甲與乙二神經，在人體中地位相接近者，苟同時切斷之，將甲之上端，接連於乙之下端，而將乙之上端，接連於甲之下端，則甲能向下生長而達於原爲乙所司之肌肉，乙則達於原爲甲所司之肌肉。此種方法已曾用之於患一組肌肉偏癱之病者。此病之所以發生，蓋由於司該組肌肉之神經功用不完全之故，自用此法以來，面部風癱實際已成可治之症，祇須將司面部肌肉動作之工作，委之於另一神經，此神經則在先本用以傳達命令於肩部不甚重要肌肉者也。

今當再言神經工作之法，了解一物之最佳方法，爲造成此物之模型，吾人今所將討論之模型，爲化學的，苟稱爲生理及化學的，則尤覺脛合。

著者於上文中，曾言神經衝動爲循神經纖維通過之電力及化學的變化之波浪，吾人今將於所言模型中目睹此波浪之經過，辨識所發生之化學變化，及測量所通過之電流，美國生理學者立理氏 R. S. Lillie 曾將神經中所經過之衝動，及經過此種模型中者之類似點，引起吾人之注意，蓋二者非但在較爲顯露之性質上，極爲相似，即其微妙潛伏之各點，亦多略同，故苟欲得在消息經過一活動神經時所發行情景之圖像，則舍了解此種模型之動作外，實無更佳之法，然模型決不能包羅一切，而神經之動作與一浸於硝酸中之鐵絲所發生者，亦不能事事盡同，惟苟能明此理，則於研究實物之前，從事於模型之觀察，實爲引起興味極有價值之助力也。

苟浸鐵絲於硝酸中，而其硝酸具有充分之強度者，比重超過 1.2，則經片刻之化學作用後，即入於靜止狀態中而不再有溶解，有氧化物之薄膜，其性質爲不起反應者，發生於鐵絲之表面，此膜偶有破損，即立即有化學作用發生而補充之，故鐵絲與硝酸實完全隔離。但此種似乎穩定之

局面，實具極高度之感應性。吾人苟使電流通過鐵絲之一小段，或以小塊之鋅，觸其一端，立即有突如而來之變化發生。此種變化從受刺激之處，或鋅塊所觸之端起，由波浪之方式以傳播至於鐵絲全部均受刺激而後已。於是鐵絲變成黑色，並有氣泡發生。經過若干時後，則鐵絲復入於以前之靜止狀態中。故在其表面之薄膜中，鐵絲傳達一種自行傳播的電氣及化學上之變化。此種變化，可用種種方法，屬於化學者，或屬於電力者，或屬於機械者，使之發生。並能由此一鐵絲，傳播至於與相接觸之另一鐵絲。

此種波浪在鐵絲中傳播之法，吾人今尚未能完全明瞭。但其具有電的性質，則幾為確定之事實。如用電流通過鐵絲上隔離鐵絲與硝酸之薄膜，則可以更易之，除去之，或使之成為多孔。

在圖十三中示一浸於硝酸（強度百分之六十為商用品，比重一·四二）中之鐵絲，其表面上已發生一層隔離鐵絲與硝酸之薄膜。苟除去一部份地方之膜，如圖中鐵絲之左端畫有黑線者，鐵質即與硝酸發生化學作用而造成一電流，其方向如箭頭所示者。此電流能除去其右方接近地點之膜，而便是處亦呈活動。再由此而生化學作用及電流，以影響及於更右之地方。電氣及化學上

變化之波浪，即如斯以傳播。吾人已知置兩種不同之金屬於鹽質溶液中，即能發生電流，此爲加爾文尼之最初試驗，而吾人凡曾習電學者，固亦咸已知電池之作用矣。鐵絲之一部經用電力刺激除去其不起反應之薄膜後，則同時與硝酸相接觸者，有不同之物質二（如圖十三），一爲左方之鐵質，一爲右方之薄膜，二者之功用適如兩種不同之金屬，而電流則於溶液中由此趨彼，如圖中箭頭所示者，然後經鐵絲本身而完成其電路。此項電流先除去鐵絲上右方鄰近處之膜，是處於是亦能與硝酸相接觸而發生化學作用，電流亦由是造成而再除去其右方鄰近處之膜，如是向右繼續不已。波浪即以此種方式傳播，至鐵絲上表面之膜盡除而後已。鐵絲與硝酸經片刻之化學作用後，則復有薄膜發生於其上。

在人體之神經纖維中，當有消息發生時，一切程序亦大略如此。吾人於此，今雖未能盡知，然終將有完全明瞭之日，蓋其根本上並非神秘之事物也。且吾人獲有化學及物理學上之助力，理當完全了解之，但治化學及物理者，尙須發見許多事物方克臻此耳。至於既知之後，則如愛克司光，無線

圖 十 三



硝酸中之鐵絲。(根據 R.S. Hillie)

電及無數其他發明品等，吾人自能求得種種方法以利用所得之智識也。

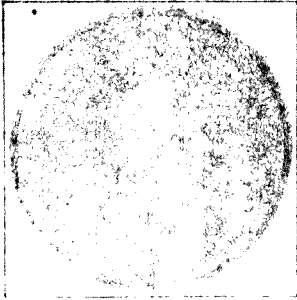
(註一) 凡一切物質之原子，俱假定其爲陰性的電之微塵所成。此種微塵，以極高速度環繞一感受陽性電力之核而行，有兩性間之吸引力阻之使不飛散。放大管 *amplifying valve* 之細絲及片狀物中間之電流，卽爲一陣奔流之電子所負載。因電子爲感受陰性電者，故爲感受陰電之片狀物所排斥，而爲感受陽電者所吸引。一陣奔流之電子，在事實上卽爲一電流，而電流之爲磁石及其他電流所吸引或排斥，則吾人固已知之矣。所以一電子自陰極放射而出者，可用感受電力之片狀物或電流或磁石以吸引與排斥之。電流得電線而經絲之原因，實爲一陣電子在電線之全屬中，由此原子而飛越至另一原子也。

(註二) 今人恆言當西元一千七百七十六年，加爾文尼因其患病，故取蛙數頭去其皮欲作藥以治之。一蛙之股，偶觸一小刀，而小刀則曾置於電機之附近者，蛙股卽作劇烈之抽搐。於是加氏遂注意及於電與動物體中功用之關係云云，實則十五年前，加氏早已從事試驗電對於蛙身肌肉之作用矣。彼所發明實發轉於視察用銅鉤懸蛙股於鐵架上，蛙股卽發生抽搐。在今日言之，則蛙股之抽搐，由於電流，而電流之發生，則固有兩種金屬間接觸於一含有鹽質溶液物之故也。

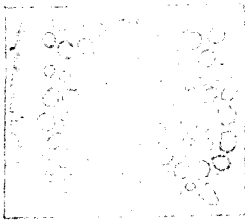
(註三) 著者因安得雷教授之言而對於此段文字及預言發生注意故深爲感謝。

(附註) 章末所描寫之試驗 (卽浸鐵絲於硝酸中以作神經之模型者) 甚爲簡單，且頗具啓發之功。讀者苟欲再事深究，可讀立理氏在 *American Journal of Physiology, Science, Journal of Physical Chemistry, Journal of General Physiology* 等雜誌中，或所著 *Protoplasmic Action and Nervous Action* 書中二百五十二頁等。

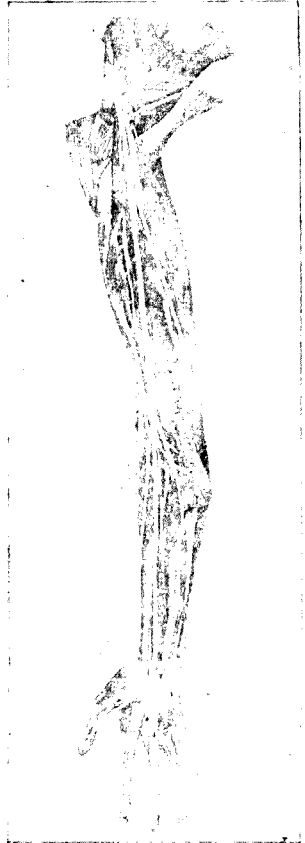
第一講 神經及其所傳之信息



乙。人之神經之橫斷面（擴大五十倍）。其中小點，係神經纖維之包膜。（根據Ranvier）



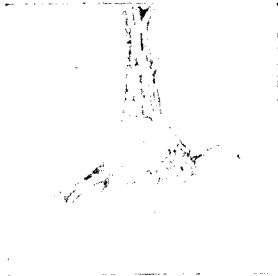
丙。同乙，但放大三百倍。根據Ranvier）



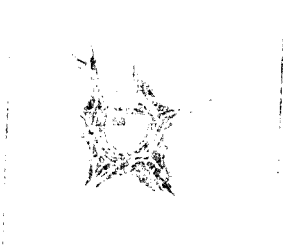
甲。人之內神經，白色之繩狀物即腦髓；其中並可見肌肉及腱（根據Hädinger）

附 圖 二

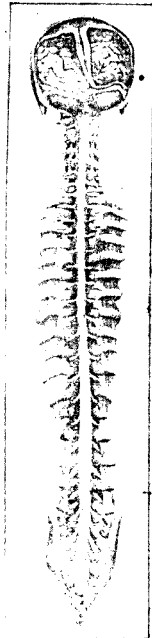
活 機 器



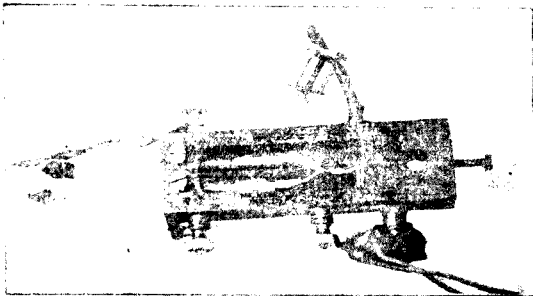
乙。人腦中大型細胞經高度放大後之狀。有許多神經纖維自此細胞出而達各處之其他細胞。(根據 Haefer)



丙。動力神經細胞之取自活體者。



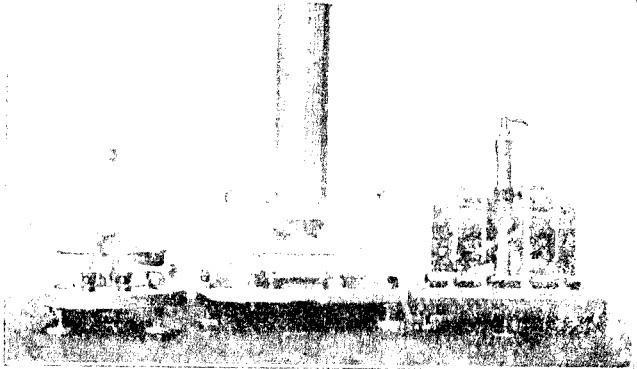
甲。人之腦及脊髓。
(根據 Rüdinger)



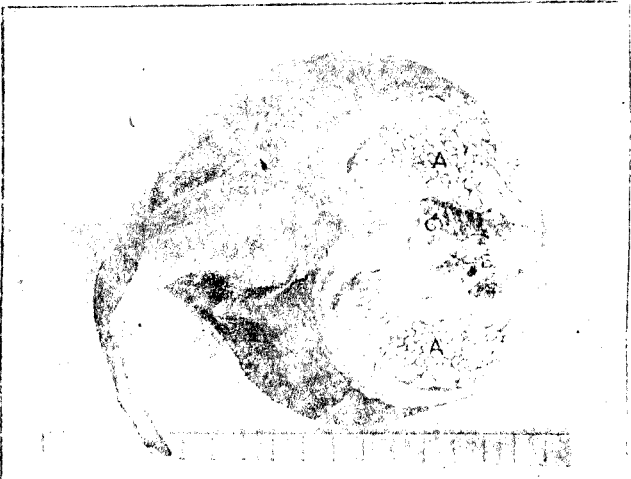
丁。器中白色線狀物為已分離主體之神經，以示刺激物或損傷所發生之電流者。

三四

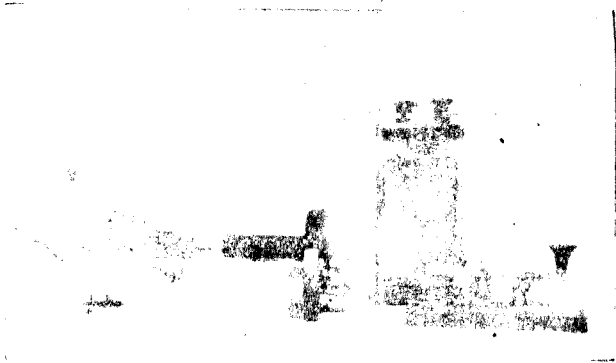
第一講 神經及其所傳之信息



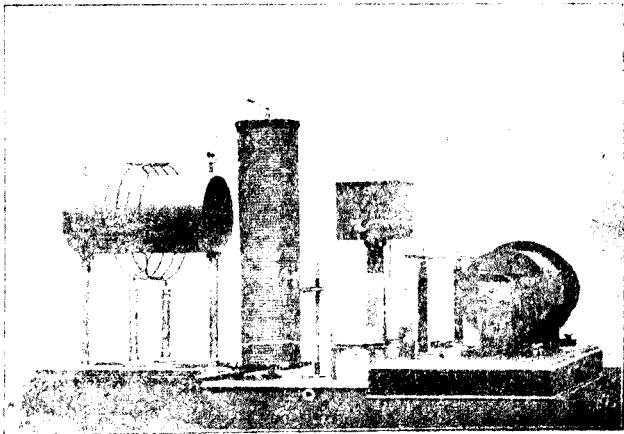
甲. 電流計三具。中間一具靈敏而不迅捷,右側一具迅捷而不靈敏,左側一具則靈敏而尚迅捷。此種電流計之動作可以「熱力替續器」(如量神經熱度所用)使其擴大多倍。



乙. 日本魷魚及其電力器官(A A),腦中司電之小葉(B),及司電之神經(C C)。(根據 Fiji)



甲。用於生理研究之感應電線圈與蓄電池及電鍵。



乙。忒斯拉電線圈。此電線圈能發生頻率極高之交流電（每秒鐘一百萬次），其電壓雖高，但對於人畜完全發生影響。

第二講 肌肉及其動作之法

吾人一切動作，皆由肌肉爲之。肌肉之種類頗多，而大約則可分三種：（一）自主的肌肉：此種肌肉對於吾人意旨之感應甚速，或移動肢體，或使其處於固定之狀態中，皆視吾人之意旨而定。（附圖五甲。）（二）非自主的肌肉：此種肌肉不受吾人意旨之直接支配，或司消化機關，或纏繞血管以調劑血壓，管理人身內部之佈置，而使一切重要器官進行其工作，並從事於人體中一切零星事務，無需吾人之監督，且恆爲吾人所不知。其動作在平時較前者爲遲緩。（三）爲心之肌肉：其各種性質，多介乎上述二者之間，吾人雖不能以意旨管理之，然其對於吾人之需要及活動則感應甚速。所司工作亦祇一種，即使血液循環人身是也，故其性質實如唧水機然。此一講中著將祇討論第一類之肌肉，受吾人之直接支配，而與人體外部工作相關者。

吾人苟欲明瞭肌肉之一切，則須先於顯微鏡下視察其組織之基本單位，如欲知一切其他生

物及器官然。各種生物及器官成爲細胞之集團，而細胞則均具有生命。因組成細胞之物質之性質及其生存之環境，此種具有生命之單位勢必極小。吾人雖在理想上亦不能求得一大如航海巨艦之汽車，而其他一切則盡如普通汽車者，蓋其必需原料品所具之性質，使之爲不可能也。反之，則航海巨艦，不能使縮小如計時之表，亦由水與空氣及構成船身物質之性質使之然。組成動物身體之單位，亦復如是。其大小必有一定，否則不能有適當之功用。此等單位所必須達到而不能超過之大小，非吾人肉眼所能見，故在事實上欲視察組成肌肉之單位，非用顯微鏡不可。肌肉爲無數纖維所成，每一纖維，服從其所有者之命令而協力工作，如組織完善之團體，其各個份子均爲全體之利益而努力。

肌肉纖維爲細長而作管狀之線（附圖五乙），直徑不過五百分之一英寸，其在自主的肌肉中者，則每隔一定之距離，其外必有細橫紋（cross striations）纖維之本身，處於透明之包皮中，包皮之兩端則爲腱，蓋所以使肌肉連續於所運動之骨及其他者也。橫紋究爲何物，現尙未有人知，且此種橫紋之生於動作較速之肌肉上者，何以更爲明顯，亦不能曉。無數肌肉纖維，並處成束，即爲吾

人可見可撫之肌肉，每一肌肉纖維（見附圖五內）爲許多細絲之在半液體物中所組成，此種半液體狀之物質，謂之肌肉漿 *sarcoplasm*，纖維之外有薄膜 *sarcolemma* 裹之，蓋所以結束其細絲者也。此種細絲或爲肌肉之真實單位。每一肌肉纖維之集團，有無數血管自各方與之相交接，凡肌肉所需之食品及氧氣，均由血管供給之。吾人曾乘汽車作郊外之行者，當曾見無數路徑，分達各地，或至城市，或至鄉村，或至人家。此等路上平時多少恆有行旅，而當需要增高時，譬如某處急需給養，或某處有事故發生，則路途必極擁擠。肌肉之情狀正亦如是。其內部無數血管，或爲動脈，或爲靜脈，或爲微血管，自各方與肌肉內部組織相交接者，亦如道路然，平時恆有行旅往來其間，而遇需要較高時，則可以擴大，俾較多之行旅得以通過於吾人靜止時，流過肌肉之血液，爲量尙少，當活動之際，則肌肉所需要之食品及氧氣較多，於是血管開張，使血液以高速度通過其間而供給每一纖維之所需要。

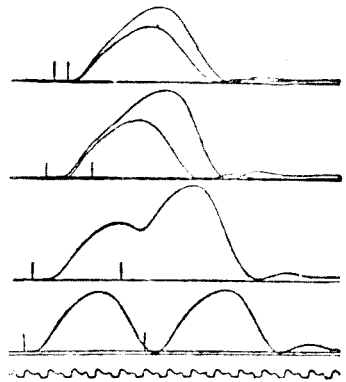
每一肌肉纖維，有一神經纖維與之相連接。肌肉所得之工作命令，即循此神經而來。肌肉纖維與神經纖維之接合處謂之動力神經之終點器官 *motor nerve endings*。附圖六甲爲此種器

官之像，惟略近理想。附圖六丙則肌肉纖維之真實放大攝影也。與此圖相關之事跡，頗足使人神傷。圖爲古爾吉次基教授 Prof. Kulchitsky 在倫敦所作，距其六十九歲生日爲時無幾，而教授則於是日因升降機發生意外而慘死者也。古氏曾任卡各 Kilnikov 大學生物組織學教授，去職後致力於俄國公衆教育事業，於一九一六年任俄國教育部長，革命後避難英國，工作於倫敦大學者幾三年，其間大半從事於製造肌肉中神經終點器官之標本。神經中所傳消息，卽由此種終點以達於肌肉纖維而使發生感應者也。

當肌肉纖維自其神經得一消息，則抽搖一次，得消息二次，則亦抽搖二次，苟接連肌肉纖維於槓杆，則可畫此等抽搖於表面受烟熏過之活動記錄器上（見圖十四）。苟第二消息與第一消息接踵而來，其相去極近，則二次抽搖卽混合而成一較大較久之抽搖。若神經中消息以極高速度連續而來（圖十五），則許多抽搖相連合而成一顯然繼續之收縮。

此種試驗極易試之於人身。附圖七示一童子以一電極加刺激於其肘神經。另一電極則爲一大而扁之片狀物置於其腓部者。所用刺激品爲容電器放電 condenser discharge，而左手所持

圖 十 四



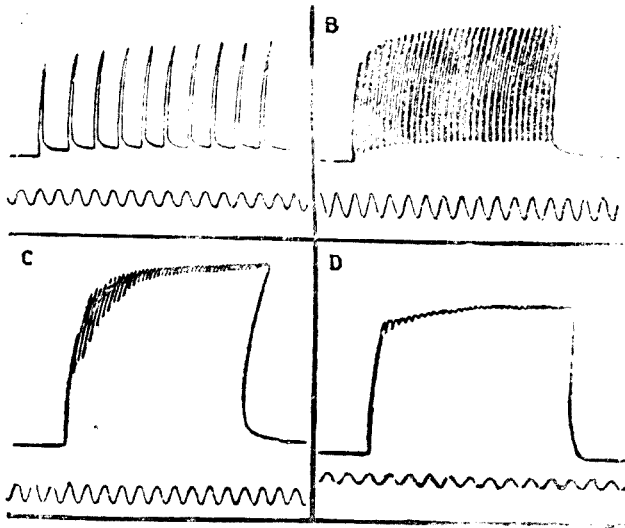
同一肌肉中兩個抽搖（其中
間時間距離不同）之記錄。圖
中最下之記錄中，抽搖間之
時間頗長，故二者各自分立，
在居其上之記錄中，則時間
上之距離較少而抽搖亦趨於
混合在最高之記錄中，混合
已頗完全，故其形似一較大
之單獨抽搖。上列三記錄中，
並示單獨之抽搖，以資比較。
圖中垂直線為表示刺激之時
者，而上下之曲線則以記
時者。每種鐘面皆五十次。
（根據 Penley）

電敏即凝電器之陰極也。圖中所示機器，能造成任何強度及任何頻率之電器放電，一如吾人所需
要者。小指之動作，本由於肘神經所司之肌肉，今用細繩連小指於彈簧上，彈簧則置一夾子中，並附
有反光鏡一。當小指發生抽搖，則彈簧屈曲而使反光鏡旋轉，有光線自燈照於鏡面，由鏡面反射至
於屏上，故小指之動作，可用屏上光點之移動以顯示之。苟容電器放電中間有充分之距離，則屏上
光點，祇移動於二固定地點之間，肌肉每一抽搖，則光點上下各一次。若縮短放電間之距離——即

增其刺激之頻率，則光點在每次抽搐之後，不復返至原處而仍留於上端，蓋許多抽搐已有一部分之混合也。頻率愈高，則其混合亦愈完善，最後則成一顯然完全平勻而連續之收縮。此種試驗，頗屬可觀，且簡單易為，附圖七中受此試驗之童子尚祇十一歲。

肌肉抽搐之性質，今當重言以明之。抽搐為造成肌

圖 十 五

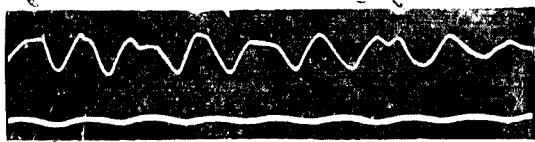


組成延長收縮之抽搐混合。A，其中抽搐發生之次數不密，故實際上並無混合；B，C，D則次數較多而混合之程度亦漸高。圖之下方為半秒鐘之計時線。

(根據 Halli-busto.)

肉收縮之基本單位，故不可不先了解其性質。抽搖與收縮不同。每一抽搖爲三項事物所成：一爲力之發展——即重量之舉起；二爲力之消滅——即重量之下落；三則爲原狀之恢復。收縮之造成，由於肌肉中各個原質之連續的抽搖，而此種抽搖則有適當的混合者也。物質爲原子所造成，聲音爲波浪所造成，而電則爲電子所造成，其道亦與此同。然在試驗室中，雖極易造成肌肉之抽搖，而在自然界中則殊罕見。吾人在日常生活中一切動作並非抽搖蓋其來太驟，其去太速，對於一切日常動作不能發生若何效用也。吾人平日之所作爲均由延長的肌肉收縮以成之，收縮則爲許多抽搖之混合所造成，如圖十六及上述試驗所示者。圖十六可證明其確係如此。圖中曲線爲人臂肌肉收縮時所生電流之紀錄，攝以於移動之攝影紙上者。曲線中每一曲折，即表示組成收縮之每

圖 十 六



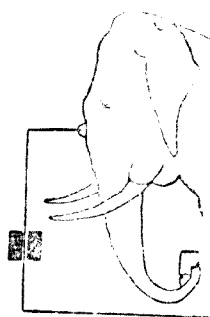
臂部肌肉與弦線電流計連接時，其自主的收縮所發生顫動之紀錄。電極之一，經用鹽水加以潤濕後，即運置於活動肌肉外之皮膚上，其另一電極則置於人體上一不活動地點。主要波浪每秒鐘大約發生五十次。圖下端之計時曲線，其每秒鐘內升降數適爲五十次。（根據 Piper）

一抽搖。每當肌肉抽搖一次，即有一單獨之電波循之而通過。苟抽搖之數爲一百，則無論其混合與否，必有一百次電波發生。此種電波可用絃線電流計記錄之，如附圖十一乙所示者用一鹽水潤濕之電極，置於活動肌肉外之皮膚上，而另一電極則置於入身非活動處。在肌肉尚未收縮時，電流計亦呈靜止狀態。當受試驗者收縮其臂上之肌肉，則電流計立即開始移動。每秒鐘約五十次之譜。因其速度之高，吾人固不能計數之，然用一移動之攝影底片，則攝取其記錄，殊非難事也。肌肉收縮所發生之電流，亦可自其他動物中，求得同樣之紀錄。圖十七即示此種試驗之施於象身者。一九一九年時，哈佛醫學院覓得巨象二頭，以娛病者。當其表演之前，即用圖中所示方法求得其記錄。使象用鼻執電極之在下者，而另一在上之電極，則置其額上，由此求得之紀錄與自人身者，初無二致。電波之頻率，每秒鐘約四十八次。與尋常人臂肌肉中所發生者，頗爲相近。

用天然方法，不能使肌肉發生抽搖。倘令附圖七中之童子

盡其速力以動其小指，則屏上光點每秒鐘至多移動約八次而已。雖未完全混合之抽搖，其速度亦

圖 十 七



遠過於此，在一最簡短之自主動作中，若分析其所發生之一切，則知有許多衝動，以高速度繼續循環而下，而在肌肉中，則有數約六七或更多之抽搖，混合而成。

肌肉當收縮時，則如樹可能即縮短而施拉力於相連之骨以發生效用。苟不能縮短，則祇其自身成爲堅硬，雖有力量發生，而無成績可見，惟保持肢體之地位而已。吾人欲使肢體成僵直狀態，則使一肌肉與另一肌肉相反抗以成之，即使二者施拉力於相反之二方向是也。凡肌肉受刺激，於可能時必縮短。阻之使不縮短之法，則舍用因體重而不能移動之物以反抗之之外，惟有用處其相反地位之肌肉收縮耳。

研究肌肉爲百餘年來治生理學者之主要工作，其理由不止一端。一爲肌肉之顯然重要性，蓋人身重量幾半爲肌肉所成，而人身外部之活動，亦全由於肌肉也。再則肌肉所發生之效果，如其工作，熱度，及電力，均可用準確之物理方法計算之。準確之定量計算能造成極速之科學進步，則吾人之所素知也，況就肌肉之天然性質而論，實爲最便利於研究之一物。吾人苟殺一動物而取出其肝，如欲發見肝之所作爲，——或以前所作爲，——乃一極端困難事，蓋實不能見其有所作爲也。自動

物之身取出其腎臟，雖或可使於取出後工作須臾，然非用許多儀器及極高深之技能不可。對於肌肉，則其法至易，人盡能之。苟殺一蛙而取出其肌肉之一，鮮有手段鈍拙以致此肌肉不能繼續作數小時之工作者。倘經意預備一肌肉，保存之於含有適當鹽質之溶液中，並使不受微菌之侵入，則肌肉自其主體移下後可以生存而繼續工作至數星期之久。吾人對於肌肉之所知，大都來自此類之試驗，即在適當環境之下，視察與身體脫離之肌肉是也。惟此種環境，自非自然，且極簡單，在人體中，肌肉之動作較為複雜，而其效力亦較大，故吾人如欲對於肌肉得正當之了解，則亦須於生存之動物中視察之，而於人更屬重要。顧雖如此，吾人之研究，苟不始於脫離主體之肌肉，由是而漸進於較繁複之問題，為以身體全部作環境之肌肉所發生者，則所知必不能若斯之多。今所討論，特注重於最簡單方式中之肌肉，即已自其主體脫離者。

吾人可以造成一種神經與肌肉之組合。圖一所示蛙之髓神經及肌肉，此類組合之最著者也。其神經可用電震或循神經通過之消息以刺激之。苟此神經尚與肌肉相連續，則肌肉纖維自其各個之神經纖維接得消息而呈反應。神經非肌肉之一部，但在其終點（見附圖六甲及丙）與之有

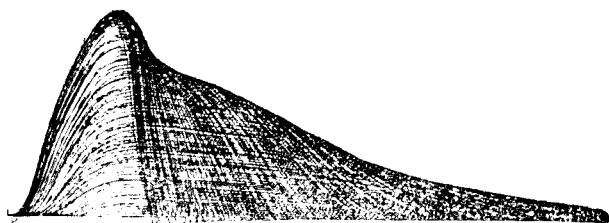
一種接觸而已。此種接觸可用各種事物以開斷之，而以印度敷矢之毒藥名古雷 curare 者爲最足發生興趣，此種毒藥能隔絕神經終點與肌肉之接觸而造成瘓痿。疲勞雖亦具有同樣效力，但其影響不若是之甚。神經雖已被隔絕，其肌肉仍可以電震直接刺激之。載有電流之電線可逕置於肌肉上。肌肉不若神經之易受刺激，故須用較強之電力以刺激之，但肌肉之感應仍極良好，而吾人對於肌肉之研究工作，大都均係用直接電流刺激於肌肉纖維者也。今且先研究當一肌肉，或直接或由其神經，受一單獨之電震 electric shock 之刺激時，所發生之一切情狀。

其情狀之可見者爲一抽搐。肌肉於可能時則縮短而移動其下懸之重量；倘重量過大，不能移動，則肌肉變硬而用較大之力。然後寬弛而重量亦復下落，其堅硬及緊張狀態亦歸消滅。然所發生之情狀殊不僅此而已。苟用靈敏之儀器，則可以顯示肌肉之熱度已向上升；在事實上，每一抽搐，其熱度約增高攝氏千分之三度。若再加以密切之視察，則知肌肉非但於收縮及寬弛時發生熱力，事後歷久亦然；在收縮後所生之熱實等於收縮時所發生者之一倍半。活動之後，有歷時頗久之恢復程序繼之而來。更進一步研究之，則知有氧氣之消費，二氧化碳 carbon dioxide 之造成及糖質之

燃燒。最後則可證明肌肉當收縮時有電性之活動如神經然。電波以極高速度循之而過。此種電波則可於其經過電極時記錄之，其電極即爲使電流計與肌肉相接觸者，如前所述者然。

已脫離主體之肌肉，其最顯著之點即爲可以使之疲倦之方法。若每秒鐘加以刺激一次，則其收縮漸緩而漸弱，數分鐘後則完全停止而不能再行收縮。吾人可用一種佈置以依次記錄此種收縮於記錄器之同一地點上。圖十八即爲一肌肉用槓杆在旋轉記錄器所畫成之記錄，每當記錄器旋轉至P點時，則將肌肉刺激一次。其初起之收縮，爲圖中高而狹之曲線；肌肉漸疲，則其收縮亦愈緩而弱，終則完全無感應可見。可注意者爲疲勞之最初影響係收縮之變緩，而其變弱次之。吾人之曾從事競走者，咸知當競走完畢時，所感困難並非腿部無力，而爲不能使之

圖 十八



肌肉收縮之記錄。圖下方計時線等於
每秒鐘一百次。(根據 H. H. Burton)

作極速之動作，疲勞爲極可注意之事物，久爲治生理學者所注意，而吾人對於肌肉工作之機械作用，所知大半實由於研究疲勞而來。

苟將一受麻醉之動物之兩腿，加以佈置，而使同樣之二肌肉（每腿各一）於其神經受同一電力感觸之刺激時，畫記錄於同一記錄器上，則吾人可見其感覺疲勞之速率亦同然。苟將輸送血液至一肌肉之動脈緊夾之以阻止其流通，則無血之腿中，其肌肉感受疲勞，較速於另一肌肉者，相去甚遠；獲有血液供給如常之肌肉，可繼續收縮甚久，幾能永不停止，而無血之肌肉則數分鐘內即呈完全瘳痿之狀。在吾人自身中，亦復如是。一小組肌肉之劇烈繼續努力，——如曲臂以懸身於運動室中之鐵環時，——因其加於動脈及靜脈之壓力過大，故對於此組肌肉，大有阻礙於其血液之自由供給。在此狀況下，一分鐘內即能因疲勞而致完全力竭，若肢體活動而肌肉自由，則血液易於通過其間，雖作劇烈之努力亦不致於短時間內力竭也。

血液循環在此方面之重要性，尚可用另一方法以顯示之，觀察一由其神經受得刺激之肌肉（已脫離其主體者）中所發生之疲勞，而如附圖七所示，由加於肘神經之電力感觸以發生刺激

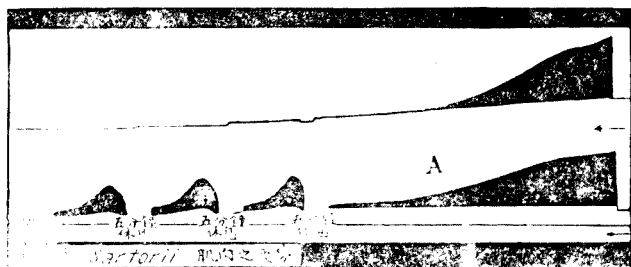
之人體臂神經，則完全不感疲乏。比較二者，其理自明。苟每秒鐘加一次刺激於脫離主體之肌肉，則一二分鐘間即呈疲勞狀態，人體之肌肉則雖受同樣或頻率較高之刺激，亦可歷時許久而不覺疲乏。血液之供給，實爲避免疲勞所必需。今當詳述其理。

對於此種事實之解釋，其說不一，或謂血液乃運輸食料至肌肉纖維中而給與其所需之能者，然在事實上，肌肉中所貯食料頗多，足敷多時活動之需。或云血液係排除肌肉收縮時所生有害物質者。然此亦非最重要之原素，可於下述試驗中見之。苟取已脫離主體之肌肉二，均無血液之供給者，而一則不使與氧氣接觸，一則與以所需之氧氣，則試驗之結果適與前文所述者無二。氧氣爲空氣組成物之一，當物質燃燒則與之相混合。動物之體溫及其所爲工作，均由生活細胞中食料之燃燒而成。吾人今可得純粹氧氣及氮氣之貯於圓筒中者。苟引氧氣使入一肌肉所在之器中，而盛另一肌肉之器，則充以氮氣（所以隔絕氧氣）在氧氣中之肌肉，其感覺疲乏甚漸，且達於某種程度而止，永不完全力竭。而在氮氣中之肌肉，則其工作於數分鐘內即完全停止（見圖十九）。故疲勞之主要原因爲缺乏氧氣，實無異義。今當由此以研究氧氣何以能防止疲勞，而疲勞究由何種程序或

物質所發生。

用化學方法以研究肌肉，實爲生理學上之一大進步。肌肉爲化學的機械，與其他一切生活之細胞同。苟不知在其內部進行之化學程序，決不能獲得正當之了解。或謂置肌肉纖維於顯微鏡下而加以密切之觀察，即可知其機械之性質。然昔人以此法研究肌肉者已久，所得效果極微。或謂曾於肌肉中見某物，而造成許多關於所見之構造與肌肉動作相關之學說。然肌肉之中亦有不具此種構造者；下一講所述之非自主的肌肉中，即全無任何極微之特點，曾爲此種種學說之根據者，但此種肌肉之能收縮適與其他肌肉

第二講 肌肉及其動作之法



用旋轉螺絲之轉動記錄器所造成之肌肉抽搐記錄，以表示蛙之肌肉 *sartorius* muscles，當受同一順序每秒鐘一次之刺激而呈感應時所感疲勞。A係在氧氣中，B則在氮氣中B已完全力竭而不再發生感應，而A則繼續收縮。在休息後A之感應更見活動，B則完全不能恢復（自右至左）。根據 W. M. Fletcher)

同。實則肌肉中之機械作用過於微細而不可見，蓋其大小約略不過同於分子也。當一結品物之成，其分子自成一種特殊之次序或佈置。肌肉或亦如此；當其受刺激時，分子中重新有有秩序之佈置，傾向於縮短而成新長度，如一條橡皮然。動物之動作，其機械作用既由分子，則自極細微而使此問題成爲困難。蓋吾人苟可見其機械中之片段，則不難知其全部之計劃。此既不可能，故在收縮中之肌肉，其性質似根據於數種化學物體（吾人尙未能知者）之性質爲吾人尙未明瞭者，此種物質當肌肉受刺激時，傾向於造成一種新佈置（註一），爲吾人所未知者，且其所以然之理亦尙未曉。惟一端則似可確定，則其機械之性質乃屬於化學者也。

肌肉所涉及之化學物，種類甚多。肌肉本身爲蛋白質 protein 所成，蛋白質爲碳，氧，氮，及微量之他種原質所組成。肌肉中含有鹽質及水，並有類似脂肪之物及他種化學物體，其功用尙爲吾人所未知。且貯有狀如澱粉之臟粉 glycogen，爲極易分解而成糖質之物，亦如澱粉然。此爲肌肉用以活動之燃料，故恆有積貯，與汽車之載汽油同。在因飢將死之動物中則臟粉之量甚微，然亦必有若干，蓋無此則動物將完全不能活動也。臟粉於工作時因消費而無餘，然隨即由自血液中以

達肌肉纖維之糖質而再事積貯。血液中之糖質則或來自肝，或來自腸，蓋肝中常有糖質積存備用，而腸則能於消化食物時吸收糖質也。吾人於食品中，固亦採取其他有用而必需之品，但一切均須先化成糖質，——如肝之所司者，——然後方能為肌肉所用。譬如汽車，必需汽油，倘止供給吾人以煤，則必須自煤中提煉汽油，方能使其機器行動也。

另一物質之見於肌肉中，而於此亦有極大之重要性者，則為乳酸 *Lactic acid*。當牛乳變酸，則乳酸即因乳酸菌之作用而自乳糖以造成。乳酸為牛乳變酸及變酸後凝結成塊之原因。在肌肉中亦有乳酸發見，但非由菌類所生，而為肌肉自身之機械作用所造成。肌肉收縮時，即有乳酸釋出，其量與肌肉之工作量為比例。當努力工作時，人體肌肉所釋出之乳酸為量頗多。苟吾人盡力疾馳百碼之遙，則造成一盎斯 *ounce* 之乳酸殊非難事。乳酸之化學性質極強，故疲勞（註二）之來，由於肌肉纖維中乳酸之發生，今已絕無疑義。氧氣之功用即為排除乳酸於其發生之後。

肌肉可視若蓄電池或蓄電池組。鉛質蓄電池組為鉛版與硫酸所成。苟連其二端於電燈或發動機上則能供給電流而漸成微弱，硫酸自溶液中而至鉛版。及其微弱已極，則必須重行裝置（較

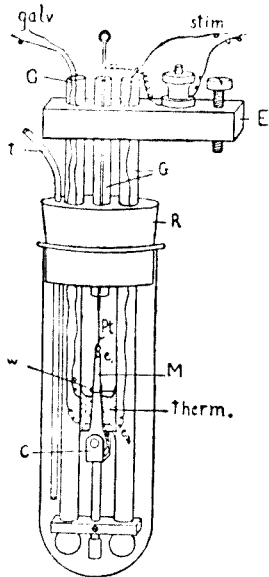
早則更佳。)重行裝置之手續爲自鉛版上重將硫酸放入溶液中，並使鉛版恢復其金屬或氧化物之狀態。將蓄電池組重行裝置時，須用一發電機以供給電流，且須有電動機以資發電機之轉動。發動機必需氧氣及燃料，否則不能有轉動發電機之力。故欲於消耗後重行裝置蓄電池組，則必需氧氣及燃料，然在其實在之消耗程序中——即供給電流時——蓄電池組暫時固完全不需要氧氣及燃料也。

蓄電池之與肌肉，極爲類似，故足助吾人對於疲勞程序之了解。肌肉能工作若干時而完全無需氧氣，但不久即成衰弱而須重行裝置。苟仍無氧氣，則不能發動用以重行裝置之機器，肌肉依然衰弱而不能再事工作。在蓄電池中鉛版內發現硫酸爲其消耗之表示，而在肌肉中，則纖維內發生乳酸亦即爲疲勞之象徵，二者均須重行安放於其原來地位中，即硫酸重入溶液，而乳酸復成糖質是也，必若此而後可以自疲勞中恢復，並再從事工作。

故在肌肉之重行裝置程序中，必需氧氣，此則極易用對於吾人自身之試驗以證明之者也；當此種程序進行時亦有碳酸發生，並有微細之熱量（但較神經所發生者則較大多倍）釋出，可用

靈敏之電力儀器以示之（如圖二十甲及乙）且需若干燃料之燃燒以造成重行裝置之能量其

圖二十甲



置於器中之電熱堆及置於其『熱性』混合物上之 Sartorii 肌肉一雙。肌肉收縮時，熱度上升，使此連合物生熱而發出電流至於電流計，電流計之指遂因之移動。（根據 Ferm）

燃料似屬臟粉或糖質，當繼續而為延長之工作時，則漸自肌肉中消滅，而有待乎血液以重行供給之。在恢復原狀之程序中，乳酸成為烏有，重成臟粉而發現。吾人可用左列公式以示之。

肌肉收縮

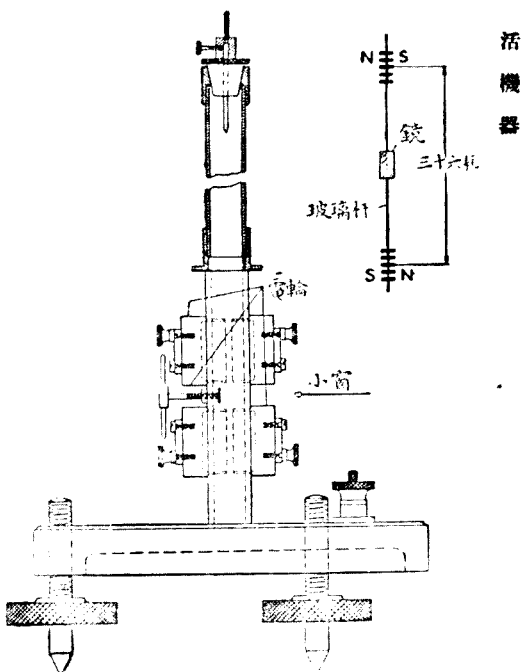
臟粉 → 乳酸 + 能

恢復原狀

乳酸 → 臟粉 + 能

臟粉 + 氧氣 → 碳酸及水 + 能

圖 二十 乙



活
機
器

在脫離主體之肌肉中，當室內隨常熱度時，苟有充分之氧氣供給，其恢復原狀之程序需時約自十分至十五分鐘；苟氧氣供給不足，則需時較久。熱度升高則各種活動程序進行較速，肌肉之恢復原狀亦其一端也。熱度低時恢復原狀之程序頗為遲緩；霜天室外之蛙，於跳躍數次後，大約需時

記錄此種電流之電流計。此計須移動極速且極靈敏。其活部份之重量不過五釐（六千分之一盎司），具有小磁鐵十枚，裝置於玻璃杆上，並附一鏡以反射光線。全部置於厚不逾二萬五千分之一英寸之石英管內。當電流經過電流計內電輪時，則能使磁鐵旋轉，鏡面所反射之光線，即在量尺上移動。（根據 Downing）

幾一小時方能恢復生活於冷水中之魚，或具有較爲完善之化學的機械，俾可恢復較速，否則其大部份時間，將消費於自突然努力後之恢復原狀中。當熱度高時，此種程序進行殊爲迅速。人類及其他熱血動物之高度體溫，即使之具有在運動後能以高速度進行恢復程序之便利者也。人體中於溫和之運動後，止須五分鐘即可恢復原狀，但劇烈運動後，則需時自當較多，至在最費力之運動後，或需時一小時以上方能恢復。

肌肉之爲物，大都與吾人用以工作之機器同，而在數方面則較尋常之機器更爲優良。其最顯著之優點則爲無須照顧肌肉不必加油或整理，且毋庸清除與修補。可工作多年而絕不爲人所注意，故實爲極佳之機器。且其效率亦頗高。工程師所謂「機械效率」即加入於機器之能量與其所造成有效機械工作之比例。如一蒸汽機之效率爲百分之十，則每得一百單位之能，可使造成十單位之有效工作。肌肉之效率，如以其所能爲之機械工作，及其得自燃料（食料）之能力二者之比例而計算之，則富有適當之供給，而在適當之速度中工作時，可達百分之二十五以上，較之人造機器之最佳者亦無遜色。

機械效力表

蒸汽機（無冷凝器者）

約百分之七·五

蒸汽機（有冷凝器者）

百分之九至十九

煤氣機

百分之十四至二十八

柴油機

百分之二十九至三十五

當吾人計算人體獲得若干食料後能成工作幾何，則肌肉之效率，實極重要，可於下文見之。在理論上，亦殊多興趣。其價值如此之高，足以表示肌肉纖維決非熱力機器；苟熱力機器而其效率達於百分之二十五，則熱度上之相差，至少須攝氏一百度；此則在直徑不逾五百分之一英寸之肌肉纖維中，為萬不可能者。故肌肉實為一化學機器而工作於固定熱度之下者也。

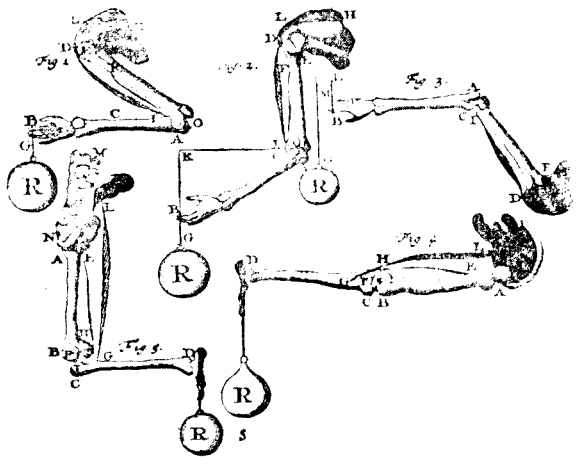
肌肉極為有力。如蛙雖非力大之動物，然即其肌肉之已脫離主體者，尚具可驚之力；可舉千倍於其本身之重量。在日常生活中，吾人不加注意於肌肉所用之大力。蓋肌肉之在動物肢體中者，平常均在機械上絕大缺點之下工作；其拉力施於槓杆極近支點處，而重量之距離則往往十倍於此。

(圖二十一) 然有時機械缺點，並不若是之甚。如魚之牙牀及龍蝦之鉗——故其所能用之力，亦相當較大。動物之工作，大都犧牲力量以求動作速度之高，然亦有數處力量較速度更爲重要者，如牙牀等是也；吾人於此等處可直接見肌肉所發生之大力焉。

兒童大半均知臂上雙頭肌肉之狀

態。大力士之登廣告於報章者，亦往往眩示其雙頭肌肉於羣衆之前而使之歆羨不已。其實在臂部之簡單屈伸中，所涉及之肌肉，固不僅此，且其所司工作，屬於旋轉螺旋盤等動作者，實較司臂部之屈伸爲多。(在右臂中

圖 二 十 一



肌肉與骨之連接，及其槓杆作用。

一至三爲人臂，四與五爲腿部。

司向右旋轉之動，作而在左臂則司向左者。）當屈臂以舉重時（見附圖六乙），苟手掌向上，則工作之大部，爲一肌肉名 *brachialis anticus* 者所完成；當手掌向下時，則雙頭肌肉，絕不參加其工作。在肌肉可稱發達之人體中，雙頭肌肉及 *brachialis anticus* 其重大約自半磅至四分之三磅。此二肌肉收縮一次，其所成工作，足以舉起四分之三磅之重量，至一百尺之高。

此二肌肉咸處於機械上，不便利點之下而工作，其不便利點大約爲十與一之比，換言之，卽其在槓杆（骨）上所施拉力之一點，極近槓杆之支點而重量則遠在十倍於此之距離以外也。顧其機械上之不便利雖如此，而在平常健康之人體中，此二肌肉之在兩臂者尚能舉重於人身之物，縱不能持久，然至少可歷數秒鐘之久。假定其能舉二百磅重之橫杆，歷時一二分鐘，機械上之不便利既爲十與一之比，則肌肉之力必十倍於此而爲二千磅，較肌肉自身之重量實超過自一千三百倍至二千倍。

就組成肌肉之物質而論，其力實爲非常，蓋其組成之物爲膏狀物質及包於各個纖維外之薄膜也。此等物質，其安全之原素，自不甚高，故當緊張太過時，則肌肉之破碎，及腱之斷裂，實爲屢見之

事，而於運動家尤甚。吾人在不受訓練時作劇烈之運動，則覺肌肉僵硬而酸痛，此殆即由於其纖維及膜有碎裂者之故也。瘀腫則決為肌肉組織及血管之機械的破損所致，而血管之堅牢程度亦因人而不同。

具有細橫紋之自主的肌肉，速度相去極為懸殊。其動作之最遲緩者，吾人所知中，無逾於轉動蟹之胃磨者。蟹之胃中，具有磨碎其食物之機器，而轉動此機之肌肉，須時半分鐘，方作抽搖一次。龜之腿部肌肉，亦甚遲鈍，當冬蟄後尤甚。著者曾見一龜，其肌肉之名 *biceps cruris* 者，需時半分鐘方能完成一次之收縮。在另一方面，則肌肉亦有其至足驚異之速度者，如鼓動蟲類之翼者是也。吾人可自蚊翼在空氣拍打所成之高音而辨其為蚊。蠅，黃蜂，及蜜蜂咸具有其特殊性質之營營聲。聲之高低即表示其蟲所自來處之空氣振動數（註）。有數種蟲類，其翼之轉動數每秒鐘在三百以上，較之蟹及上文所述之龜，其速度計高一萬倍。

圖 二 十 二



蜂翼鼓動之記錄。此蜂被執於與一轉動極速之記錄器表面相近處，而努力掙扎欲圖飛去。

介乎上述二極端之間則有各種之肌肉，而其速度亦不相同。小鳥之動作異常迅捷；樹獼則遲鈍不堪；大概生物之較小者其動作較爲靈敏。即在動物之一身中——譬如人體——各部份之動作，遲速相差極遠。司眼簾啓閉之肌肉，動作極速，俾可保護眼球不受損害；因其所移動者，至輕且小，故其縮短可以若此之速。在另一方面，則吾人無論若何努力，終不能使臂或指之動作，每秒鐘多於十次，即每秒鐘動作十次，其動作亦較近抽搖而不類分立之收縮。吾人能動作迅捷，不致遲鈍如牛如象如龜如龍蝦，實至可慶幸，然較之麻雀及松鼠，則遜色多矣。何以吾人不能作更速之動作？在此世界中，迅速既若此之重要，而於生存競爭中，動作之靈敏較其力量更足爲決定一切之元素，何以吾人不具與蟲類同速度之肌肉？其答語極簡單：曰苟如此，則人身必碎裂。

黃蜂用以鼓翼之肌肉甚短，但其長卽十倍百倍於此，收縮所需之時亦不較多。收縮所需時間恃乎肌肉之天賦性質而定，與其長短闊狹厚薄初不相涉。倘肌肉纖維中每一公分需時百分之一秒以縮短，苟有成列之肌肉纖維一百段，每段長一公分，而其縮短需時百分之一秒者，如於同時開始，其全部肌肉縮短所需之時間亦同，在事實上肌肉之縮短固同時並舉者也。今假定吾人能縮短

肌肉之長度而使臂之動作祇需時百分之一秒鐘，而於理想中推測其所發生之一切。

苟取一長玻璃杆，吾人倘不動之過速，則可將其向前後搖動。執其一端而緩緩向兩方擺動之，因速度不高，故其慣性 *inertia* 不足以發生極大之緊張。然苟用高速度橫搖之，必於近手處豁然而斷。今再用一短玻璃杆以作同樣之試驗。無論速度如何之高，或搖之，或擺之，玻璃杆依然完好。欲使此試驗一切均極適當，苟知玻璃杆之長為長玻璃杆四分之一，則其粗亦當為四分之一。能搖動之速度雖極高，短玻璃杆終不斷折。此種試驗簡單而明顯，但已足與吾人所需之答案矣。

動物為極易碎裂之物質所成。肌肉纖維與骨及腱均甚易折斷。工程上之構造，其安全原素均有一定，人體亦然。造物為最佳之工程師，於數百萬年前已學得今日治工程學者所習之課目。吾人苟能活動更速，自係美事，然每動必至碎折，則又不可，二者俱極顯然。故吾人今日所處之地位，實調和於二者之間者。運動家之扯傷肌肉或斷裂其腱者，本屢屢見，而努力之劇烈太過以至損及骨骼，亦間有之。人體之去安全限度不遠，於此可見。若吾人之動作加速一倍，則損傷之數自將數倍於今，而運動將成極危險之遊戲矣。就玻璃杆之試驗而論，吾人可知何以較小之動物，其動作具有較高

之速度。松鼠之長度約等於人體十二分之一而其骨骼之粗細大致亦等於人骨十二分之一，因玻璃管之試驗，可知松鼠能於一秒鐘間作許多倍於吾人之動作。在理論上其倍數當爲十二，但事實上則吾人盡知松鼠之動作爲如何迅捷非常矣。其失之於步武之長度者，即得之於動作之敏捷。小犬因其腿之動作較速，故其疾走之速度，幾能與大犬等。

洪荒時代，世界上曾有極龐大之動物，此等動物必係行動極緩之蠢物。使吾人不能動作迅速如小雀之原因，亦使此等動物之動作不能迅速如吾人。苟其雛敵爲小而活動者，則應付必極感困難。其行動不速，故在生存競爭中必歸失敗；苟造物使其行動太速，則其身體又將碎裂也。

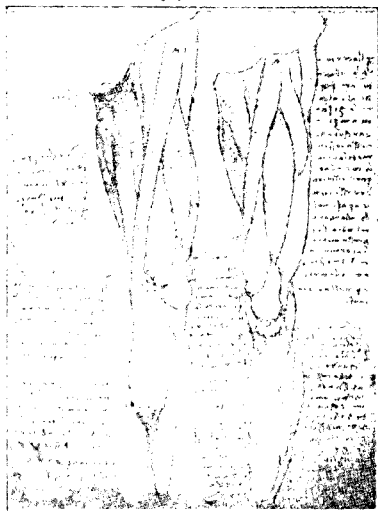
(註一) 此種佈置，或與結晶物中原子或分子之佈置同。橡皮當緊張時，呈結晶狀之構造。故在此種意義中，肌肉當收縮時，或亦作結晶狀態。

(註二) 「疲勞」二字，平常恆用以泛指許多事物，或屬真實，或屬理想。在本書中則指肌肉劇烈努力後之真實影響而言。

(註三) 馬雷氏 Marey 已曾證明其聲音之高低實與速度相符合。馬氏使一蟲之擊，在鼓動時，畫其高下之跡於轉動極速之記錄上，故能計其鼓動之數(圖二十二)。

(附註) 附圖八爲阿爾必納斯所著解剖學書中轉載者，阿氏爲萊頓 Leyden 大學解剖學教授。此書則於一七四七年出版者也。甲爲人體去皮後之圖，所以明示其肌肉；乙爲外層肌肉除去後之圖；丙圖止有少數肌肉存留；而丁圖中則肌肉已完全除去。

附 圖 五



甲. 人腿部之自主的肌肉, 原圖為達文基 Leonardo DaVinci 所作。



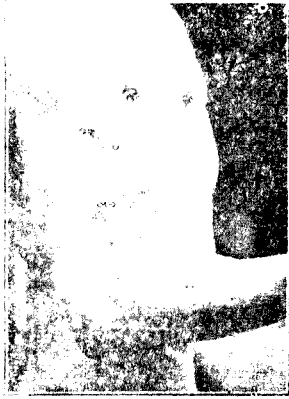
丙. 自主的肌肉纖維之橫斷面(放大九百倍)。注意其中聚處成束之細絲, 但在圖中則或係人爲者也。



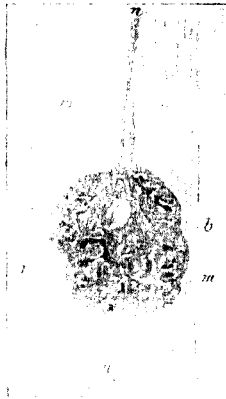
乙. 自主的肌肉纖維(放大一百倍)。在與其長度成直角之方向中觀察之象。注意其上之細橫紋, 此種細橫紋, 尋常恆視爲與自主的肌肉有關, 實則吾人對此所知極少確切者。

附圖 六

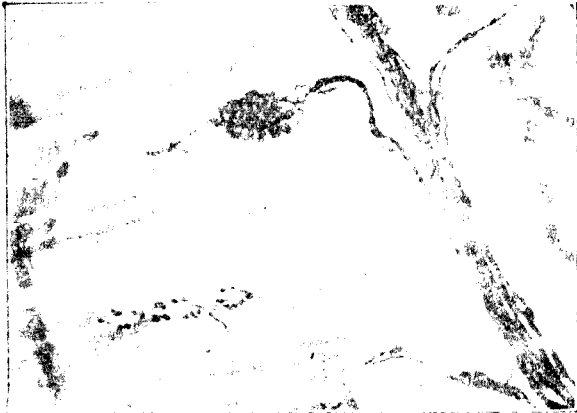
活機器



乙. 手掌向上時舉起重物之狀。
 乙為雙頭肌肉 biceps 乙乙為 felt 肌
 乙乙乙為 brachialis 肌。雙頭肌
 及 brachialis 正極其全方以向上
 舉也。



甲. 動力神經終點器官。
 神經纖維乙來于肌肉纖維
 乙乙而散佈其上；神經
 分枝及肌肉表面間有薄
 膜隔之。



丙. 肌肉纖維乙其上所附動力神經終點(a與乙) a 為具有薄
 膜之神經纖維終點, 乙則為不具薄膜之神經纖維終點。



右器電器放電以刺激神經，將小鏡一具連帶滑輪，以反射光線而放大其運動之情形。

第二講 肌肉及其動作之法

附 圖 八



活
機
器

六
八

a. 去人體之皮。以顯示其肌肉。
b. 外層肌肉除去後。
c. 僅餘肌肉數塊。
d. 除去全部肌肉後。

第三講 心臟及其他數種肌肉

動物體中與夫運動其肢體之肌肉，種類極多。自主的肌肉對於其所有者之意旨，感應甚速；如移動吾人之眼球者，及隔絕胸腹之橫膜，其收縮使肺部擴張而其寬弛則使之傾閉者，皆此類也。司眼球中透鏡之焦點者有肌肉之小圈；司蛤殼之啓閉者亦各有其肌肉；司墨魚體表小點之擴大而使其變易其顏色者亦爲肌肉。就狹義言之，則凡此種種，非盡爲自主的肌肉，且就其形態及性質以觀，實較近於非自主的肌肉，非自主的肌肉之動作則係自動性者也。譬如吾人眼球中之肌肉，其收縮能放寬透鏡，使之凸出而具較大之焦點力者，完全爲平勻之纖維所組成，而傳達命令至此肌肉之神經，亦與接連非自主肌肉者同。然在意義上，亦可稱之爲自主的肌肉，蓋吾人隨時可用任何方式以使眼球集光也。唯吾人似乎並不直接發出使眼球集光之命令，僅「注視」於相隔有一定距離之物，而焦點即自動發生。再如人體中隔離胸腹部之橫膜，其構造及神經連續均與尋常自主的

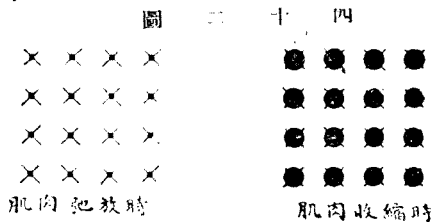
肌肉相同，然即當吾人熟睡時，此膜亦繼續自動工作而不息。苟研究數種下等動物，則肌肉之爲自主與否，實祇意見上之問題而已。吾人固不能謂蛤類具有「意志」，而蠔類能爲「自主的」動作也。凡此祇可就其與較高等動物之相同點而論，大概吾人稱肌肉之動作及功用關於外界者爲自主的，而其與動物身體內部有關者爲非自主的。依此定義，則海蛤 *mytilus* 之足及海扇 *pecten* 用以緊閉其殼之肌肉，雖其形體及構造與人體內自主的肌肉大不相同，亦可稱爲自主的肌肉。此

圖 二 十 三



鱷魚 *loligo*. (a)臂 (t)角 注意其體上之斑點，或擴張或收縮。此魚體之下部有肌肉管一，可用以噴水而成一陸注射，魚即以此法在海中向後推動。且有墨汁袋一具，中含大量之炭質色素，經放出水中後，可使魚隱藏其身。

類肌肉，間有具細橫紋者，然以無有者爲多；而欲確定其屬於任何一類，實爲不可能。此等介乎兩類間之肌肉，其最妙者莫過於墨魚及一種鯨魚 (cod) 體中司其斑點之弛張者。此種魚類在水中游泳自若，吾人可於水族館中見之，具有驚人之力，可於一剎那間更易其顏色。其身體之表面，有無數深色斑點，環圍成列見（圖二十四）有肌肉纖維自斑點之中心起，當其收縮時，則伸張斑點，使其大數倍於初，故能變易其顏色並略改其狀態。此種奇異之生物，於斑點之外，且具有極濃之墨汁一袋，當爲他物所觸怒時，則注射墨汁於水中而造成黑霧以混淆其仇敵。潘丁博士 (Dr. Paulin) 曾言其狀云：『吾人見一白色奇形之生物游泳水中，苟激之使怒，則噴出黑墨而成霧，當其自霧中再現，則非復白色而已成棕色或淡紅矣。』苟係畜於貯水器中者，吾人可用手觸之而目視顏色之波浪傳過其身，如浮雲掠地而過。有時吾人能見其



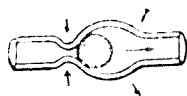
墨魚及鯨魚之顏色變易。在圖之左方，其斑點因作輻射狀之肌肉鬆弛而縮小。在右方則因肌肉纖維收縮而張大，此種程序，在時間上不過一秒之一小部份。注意：實際上肌肉纖維之數遠過於圖中所示者，圖中所繪每點四條，不過爲清晰起見而已。

斑點跳動如心房，當魚感覺不適時則尤甚。肌肉之司斑點之動作者可假定其爲自主的。無論如何，此種肌肉當魚受刺激時，立即收縮；至此等動物究竟有無『意志』則難言之矣。然其性質雖顯然爲自主的，而其感應亦極速，但於顯微鏡下視察之，則其狀態與人體中自主的肌肉殊不相犯。由此可知分肌肉爲自主的及非自主的兩大類，雖屬便利，然欲將一切肌肉一一歸納於二者，則事屬不可能也。

肌肉之確爲非自主者，其例甚多。司吾人消化機關之肌肉，其最顯著者也。附圖十一甲卽示此種肌肉在顯微鏡下之形態。今當先從食管起而研究之。食管全部爲成層之肌肉所環繞，在其上端三分之一之肌肉，爲具有細橫紋之纖維所成，而在其下端三分之二者，則爲均勻之纖維。因此之故，當吾人吞咽食物時，食管之上端多少受意志之支配，其下則因下行食物之刺激而自動反應。環繞食管之肌肉，分爲二層，外層之肌肉係直行，而內層則呈圓形之編置。胃之肌肉凡三層，均係均勻無橫紋之纖維所成，而完全不受吾人之直接支配者。此種肌肉之動作足以攪動胃中食物，當胃中無所有時則閉合之。健康而飢餓之動物，見食品則頗覺痛苦，皆由此種肌肉之非自主的動作而來。食

物已在胃中受消化後，則腸胃間之肌肉名 sphincter 者，暫時寬弛，俾若干胃中所貯物品（已在胃中受過一部份消化者）受擠而前入於腸消化工作進行，此肌肉寬弛而後出口之次數亦較多，直至胃中一切盡入於腸而後已。胃於空後不復鼓起如袋而作長而曲之管狀矣。

圖 二 十 五

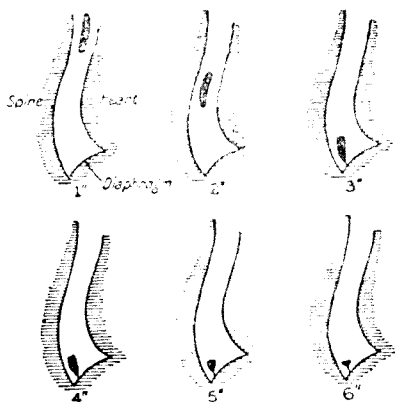


腸之螺旋形收縮圖 先有弛放之波浪循腸而下，繼之以收縮之波浪，由是而推進腸內物體。（根據Carmen）

在腸中亦有同類之程序進行。『螺旋形之波浪』 peristaltic waves 循腸下行，攪動食物而使之逐漸前進（圖二十五）最後達於尾閘至此則食物中有用成份，均已經消化而被吸收，所餘不過廢物而已。自食管上端三之一以下，迄於腸之終點，一切動作皆由非自主的肌肉爲之，而此種肌肉之工作則一部份由於其自動，一部份由於非自動的神經系，絕不受其所有者之訓令者也。消化機關之動作，可於自新死動物身中取出之部份見之，蓋此種器官，能於移出後依然活動，如自主的肌肉然。或則可在動物腹部開成一穴，而以賽璐珞障之如窗，然後視察其消化機關之動作。苟施行手術時，爲之者具有與割治人體盲腸同一之注意及技能，則動物於受手術後，其生活仍

舒適如常，而吾人可直接於窗外視察消化器官之動作，及經過其間之血液潮流。第三方法為用X光以觀察消化器官之動作，則殆三者中之最佳者也。此種光線能穿透人體中較為柔軟之部份而於稠密處則留黑影。欲直接觀察腸胃之動作，除用X光而外尚須加以其他助力。食物之用於此者，須和以重性金屬（如鉍或鎂等）之鹽質。倘吾人將滿口和有碳酸鉍或硫酸鎂之牛乳咽下，則用X光即可見其循食管而至胃口，進行甚速。及至胃口而進行頓遲，牛乳成細流以入於胃（圖二十六）。牛乳於下咽後約歷時六秒鐘方能完全脫離食管，苟吞下之物為小而乾者，則其經過食管極遲，甚至有需時十五分鐘方達胃口者，惟吞物之人完全不覺其尚存留於食管中耳。若於下咽之前，其物經

圖 二 十 六



一滿口『不透光飯』和有碳酸鎂之粥）在吞下後每隔一秒鐘所處地位之影。食物自口達食管之底，進行頗速，而其經過胃之狹隘幽門則較遲。（根據 Cathcart, Paton, and Pembrey, after G.F. Hurst）

口涎或水濕透，則經過較速，祇需時自八秒至十二秒而已。

胃與腸之動作可以同樣方法觀察之。使一生活而未受麻醉之動物（人亦可）飽食牛乳及麵包之和有鉍或鎂之鹽質者。此種鹽質並不擾亂吾人之消化，而其功用能使胃中所畜之食物不爲X光所透過。吾人於是可見進行中之動作的波浪，並可記錄當消化時，胃之逐漸縮小。食物循腸而下之歷程，亦可見之，蓋和有鉍鹽之食物常留黑影於幕上也。此種觀察，亦可施之於人，醫學院中之學生多有自願食『不透光飯』俾其消化器官之動作可以顯示於教室中。在病院內則此法更屬屢用，蓋所以觀察消化器官之動作，大小及位置也。

附圖九爲X光攝影四，所以示在食『不透光飯』後之腸胃者也。其攝影時露光時間約四分之一秒，而附圖所示則原攝影之反片也。不透光之食物阻止X光線，使之不能透過其所在處之腸胃，故原圖上此等地點均作白色；人體稠密處如骨及較厚之肌肉，留黑影於底片上，故原圖於是等地點，色亦較淡。在白原感光版攝得之反片中則色淡者反成色深者，而吾人即得如附圖九所示之狀。每一圖中咸可見其脊骨之骨節，間有可見其骨盤者。甲圖爲食不透光食物後即行攝取者，其

中之胃狀如長而黑色之袋，在頂上未滿處，顯然有空氣之地位。在胃之後方，居圖之下半者爲腸，其色亦黑，則因上次所食不透光食物尙未失其效力也。自胃入腸之幽門，即隔若干時寬弛一次，俾食物得以前進者，在圖之下半，有小箭頭以示之。乙圖爲食後二小時所攝，此時胃已空其三分之二，食物已向前進而入十二指腸及空腸，如較淡之黑影所示。丙圖示胃幾已全空，小腸上部亦祇餘少許食物存留，黑影已更向前進。丁圖爲食物後七小時所攝取，示食物存留於腸之下部者。使食物前進之實在動作，可於X光儀器中之幕上見之。在圖中則但可見此種動作之效果而已，且其時間上相去頗遠，蓋攝影祇能示吾人以露光時一瞬間之狀態也。顧雖如此，圖中所示七小時間食物狀態上之重大變化，已足顯示非自主肌肉之功效，及此種肌肉之攪動食物而使之循食道以循序前進矣。此等動作，俱非自主，完全不受吾人之支配，然偶有錯誤，則吾人立即覺其性質之重要。

其他非自主的肌肉，種類甚多。如吾人血管之全體均有非自主肌肉繞束之。血管外之肌肉常在收縮狀態中，以支配血管之容量，蓋所以調劑血壓也。此種肌肉，爲自神經系中非自主部份而來之神經纖維所統轄；其感應均屬自動，且成適合於動物之需要（如和合器 carburetor 然。）其

名 *arrector pili* 者，於收縮時，使毛髮直立（見圖二十七。）此種收縮，發生於皮膚驟感寒冷時

或數種情感狀態中，髮根之肌肉盡

行收縮，則吾人謂之「肌膚起粟」。

吾人眼簾中亦有非自主的肌肉二

層，其一環繞於瞳人四週，當強烈光

線突然射目時，則此層肌肉立即收

縮而使瞳人細若針孔。其他一層肌

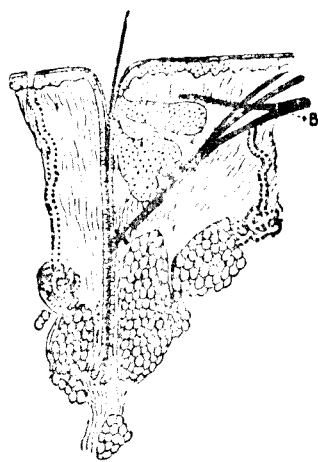
肉，則以瞳人為中心而具有輻射狀之佈置，自虹膜之外沿達於瞳人之邊，故其收縮能使瞳人擴大。

在進入暗處時，使日光適合遠景時，或在恐懼及焦急等情感狀態中，瞳人必較平時為擴大。

此種非自主的肌肉，其性質之最顯著者，為其動作之比較遲緩。蓋其所司一切程序，及所治理

之動物內部佈置，對於速度上之需要，不若外部各種活動之深切也。故此等肌肉，採用較緩而較為

經濟之速率。其他不同之點尚多，但多為定量上之差別而非形體上之異點也。



皮膚之縱切面，示一髮根之小囊。B 為非自主的肌肉纖維，能施拉力於髮根A處，故於其縮短時能使髮直立。

吾人尋常恆謂心爲自成一類之肌肉，並不隸屬於自主的及非自主的肌肉二者中之一。然就其不受意旨支配之意義上而論，實爲非自主的，但苟於顯微鏡下視察之，則其構造（附圖十二丁）及其他性質，均較近自主的肌肉。心臟爲可驚異之機器，極適合其用途，且遇特殊事故時，能應付身體之需要。其工作最爲重要，苟停止片刻，則其人立死。心臟之職務爲激起血液使之週歷全身。圖二十八示動物體中血液之供給。最上爲

心臟及肺葉。心本一體，在圖中則分其

左右爲二以資清晰。實則心爲一整個

器官，其左右二心房，血液自其中之一

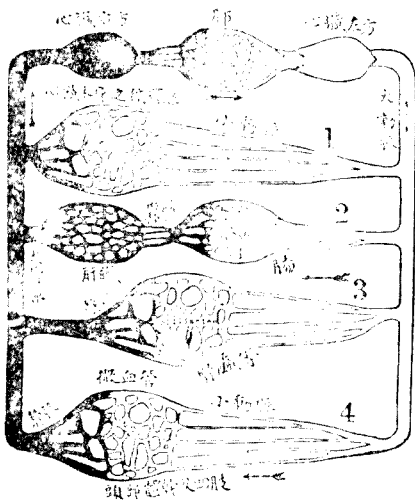
流出，經過肺部而再入其一，靜脈中之

血以黑色示之而動脈中之血則爲白

色。靜脈中血液已無氧氣，須於肺中得

之，一得氧氣，其色即變。吾人當注意每

圖 二 十 八



動物之血液供給圖。

一心房出入處之瓣膜，血液自心之左方流出而入大動脈，然後由此以循環全身，共分四系，在圖中則以『並行』式示之，在第一系中，血液通過心肌肉中之微血管，以供給氧氣及燃料於心之自身。在第二系中，血液通過腸部，以吸收已消化之食物，並經肝臟，肝臟者人體中主要之化學試驗室也。在第三系中，血液通過腎臟，而於其中受澄清之手續，且除去一切無用有害之物質。在第四系中，血液分流而過肌肉，及頭部，身部與其他各組織。當血分流而入無數微血管後，仍併合而入靜脈，然後由大靜脈以入心之右耳。人身各種重要器官，咸需血液繼續流行不息，俾可獲得食料以供燃燒，生長及修補所需物料，亦均取給於是，而氧氣之供給尤為重要。苟人腦不得氧氣，則歷時雖僅數秒，亦必全失其知覺。（謂之此腦之所有者完全失去知覺亦可，蓋事實上即為一事也。）吾人所處之境，實極近一切物質上事物之終局，而對於一種簡單化學物質（氧氣）之倚恃，其甚有如此者。

循環之血液，為量頗多。人當靜止時，每分鐘循環流過之血液，約有四公升（幾及一加侖）與人體中全部血液量，約略相等。依此計算，則人雖常處靜止狀態中，血液之流過其身體者，每年約有五十萬加侖，人生以六十五年計則約三千萬加侖。一自動調節之唧水機，重不逾一磅，而成績若此，

誠不可謂少矣。當肌肉努力時，流量更大，在劇烈動作中，約八倍於靜止時。心於噴啣血液之手續時，工作極多。動脈中壓力頗高，約等於六七尺積水之壓力。故一年中，即常處靜止之人，其心之工作，等於將五十加侖血液，向上舉起高六尺，或等於將一百加侖血液舉至愛佛雷司脫峯（希馬拉雅山之最高峯）之巔。作尋常工作之人，其心之平均成績約二倍於此，故其工作等於自水平線起，舉起二百加侖之血液（約重一噸）至於上述高峯之巔。此事尚可用更空幻之方法表示之：健康之人，其心臟五個月之工作，足以舉起心之自身，使脫離地球吸引力之範圍而置之於無所有之空間。歷六十五年，則心之工作，足以使其人之全體脫離地球而去。此等計算，或屬無謂，但對於人之尚未完全失去其青年好奇心者，亦足爲引起理想之一助。（人之已完全失去好奇心者，固亦不必讀此書）而使其對此器官——心臟——之工作，可得相當之估値，蓋心之舉動，實人體問題中最具興趣者之一也。

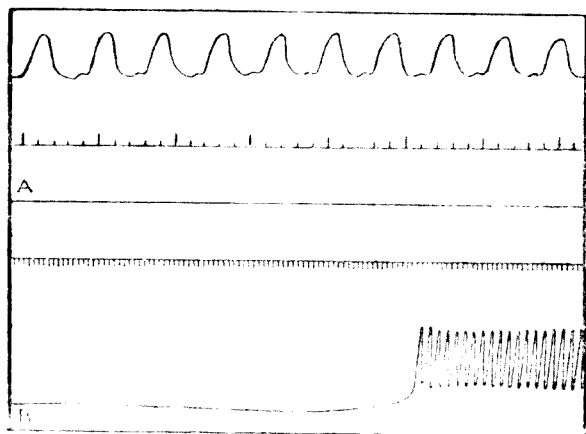
附圖十爲人體心臟模型之攝影。心臟處於胸腔之中，惟心跳時則成硬化而向左側，故附耳於吾人胸前略左處或置聽胸器其上則可以覺心臟之跳躍，或聞其聲。當心臟開張時（即爲血液所

充滿時，)其自身處於居其下之橫膜肌肉上(附圖十一內)當其收縮時(即噴出血液時)則向左向上躍起，而尖端輕叩胸牆。包於心臟外之堅硬薄膜，謂之心囊 *pericardium*，其功用爲於血液充滿時，防止心臟，使不過於擴大。心之右方(附圖十 a 及 c)自靜脈受得血液，左右心室之出入口處，俱備有瓣膜，故當心臟收縮時，血液不致退回靜脈，而能向前以入達肺部之動脈。心之右方，遠不如其左方之有力，蓋右方之工作爲使血液流過肺部，不若左方之須使其週歷全身也。左右心房之間，有肌肉所成之隔膜，當哈惠(Harvey)發現人體血液循環之第一人)氏之前，學者恆謂此膜具有多孔，故能使血液流通兩方。實則血液自右心房而至左心房，必經肺部而後可。附圖十 b 及 d 卽示心之左半其間亦有瓣膜二，全部肌肉甚強，故能使多量之血液以高壓力進入大動脈。血液在心臟中通行之路徑，均可於圖中見之。苟自屠肆市一牛心或備心臟之模型而研究之，則自更易領會矣。

心臟之動作爲自動的。吾人苟殺一蛙而開裂其胸，可見其心臟跳躍於心囊中。將心囊除去，則與心之本身相接觸，繫一線於心之尖端，而連之於極輕之槓杆，可使畫成記錄於烟熏之記錄器上

(圖二十九) 吾人尙可進而將心臟取出，使完全脫離蛙體，然後接之於貯鹽質溶液之玻璃管，心仍能繼續工作，激起鹽水，歷數小時不已(圖三十)。心臟於此時，需少許氧氣，而溶液中之濃厚程度及其中各種鹽質之比例俱須適當。苟此等需要，吾人均能供給，則心能繼續工作(大約每秒鐘跳躍一次)至數日之久。吾人猶可再進而將此心切成細條，然後浸之於溶液中，每條肌肉能收縮歷時甚久，且可連之於槓杆而畫記錄於烟熏之記錄器表面。心臟具有其天賦之韻律。其

圖二十九

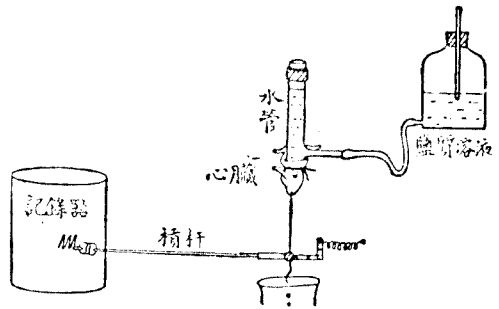


蛙心收縮之記錄。在圖中上端之記錄，並示心耳及心室之跳動，前者起落較微而後者較大。下端之記錄，則示內臟神經受刺激時，心臟立即停止其跳動。此二記錄俱自右至左。造成下端記錄之記錄器，其轉動較緩。(根據 Pembrey and Leonard Hill)

性質爲繼續跳動不已，故可謂心臟乃具有其自己刺激品之器官，無待於刺激品之來自外界者也。

心臟跳動之速度，有許多原素以決定之。心之每一部咸有其本身之韻律，然其全部之速率則爲最速之一部所造成，蓋心之任何一部開始跳動，其動作即散播至於心之全部，其他各部亦均繼之而跳動也。心臟中跳動最速之部爲大靜脈入右心耳處之四周，在尋常狀況之下，心臟跳動之速度咸視此處以爲高下，跳動由是而起，散播至於心之全體。在試驗中，或天然之疾病中，亦可阻止跳動之自由傳播於心臟之全體，在心臟阻塞 heart-block 之狀態中，則或全部，或一部，其跳動不能散播及於心臟之全體，而心室依其自己之韻律以跳動，頗

圖 三 十



蛙之心臟，當其仍在跳動時，從體內取出者，紮之於水管上而以含有氧氣之鹽質溶液充塞之，此溶液於心臟跳動時由大動脈流出。

較遲於心耳。此種狀況，亦能發生於人體中（吸烟過度亦足為其原因之一），而在已脫離其主體之心臟中，則極易因損傷而發生者也。

尋常健康之動物體中，心臟跳動之速度在靜止時頗為固定，但當肌肉活動時，則升高自二倍至四倍於平時。健康之人，其心臟跳動之速率，每分鐘可自四十五至九十次，而當劇烈運動時則可高至一百八十次，過此則非在健康狀態中之心臟所能達矣。但在某種心臟病中，則尚有高於此者。運動家之心臟，其跳動之速度較緩，而在訓練時期中者尤甚，平常人之心臟跳動，每分鐘約自六十五至七十五次，運動家之在訓練中者，可降至四十五次，而於靜止時，則或更低，每分鐘五十五次則尋常事也。人體對於劇烈運動之容受力，大半恃其心臟供給血液於肌肉之能力。大而有力之心臟，其跳動似較緩於平常心臟之肌肉較不發達者，蓋如平時跳動速率每分鐘祇四十五次，則當升高至一百八十次時，其供給量可增四倍，若平時速率為每分鐘九十次，則在同一狀況之下其供給量祇增二倍而已。吾人苟於交游中視察之，其運動能力最佳者，其心臟之脫動率亦最緩。雖個人或偶有例外，而此普通定理則確定無疑者也。

管理心臟之神經凡二。此二神經並非使心臟跳動之原因，但能影響其速度及力量而已。其一爲自腦部來之內臟神經 *Vagus Nerve*（此爲一『非自主的』神經，不受吾人之直接支配者）其功用能使心臟跳動遲緩，若完全受刺激則能使之全停。可用一鰻鱺作一極妙之試驗：先除去其腦，並用解剖方法露出其內臟神經，然後記錄心臟之跳動。當刺激此神經之電線圈開始發動，心臟即完全停止其跳動，且繼續其靜止狀態，直至刺激完畢而後已；刺激終止，則立即又跳動如前。（圖二十九示此種試驗之施於蛙者。）達於心臟之另一神經爲『交感』 *Sympathetic* 神經。當其受刺激時，則心臟跳動更強而速。吾人日常生活中，內臟神經常略有工作以抑低心臟跳動之速率。當運動開始時，神經系即自動除去此種遏制而使心之跳動較速；於是交感神經亦發生其影響而使其速率更高。苟用電以記錄心臟之跳動，吾人可見當運動開始時即突然升高。在競走時，『去』字口令發出後心臟之第一次跳動，即較其上一次之跳動爲速，而於半分鐘間，其速率已達最高度。興奮及情感足以影響心臟跳動之速率。吾人於宴會時忽被請作演說，則自覺心臟之跳動率突然增高其當時之效果爲神經之力，如上文所言。然在興奮狀態下，心臟跳動率之所以繼續升高，

則由於血液中的一種物質名副腎素 *adrenalin* 者之存在。有腺二名曰腎上腺（或稱副腎）*suprarenals* 者，在近腎臟處，深藏於人體內。此種微妙之器官造成一種化學物體曰副腎素（此種物質，現時化學家已能於化驗室中造成之）。對於人體能發生種種可異之效果。其影響大概與交感神經受刺激時所發生者同人或動物服過量劑之副腎素，則必覺恐怖或興奮之各種主觀的情感及客觀的現象。當在情感狀態中，腎上腺分泌其鹼質於血液中，其效果之一即為對心臟發生作用，使其速率升高而跳動增強。運動員在競賽前之憂慮，實與預備努力時所釋出之副腎素俱來。動物之作殊死鬪者，心臟之有力跳動，為成功上極重要之一端，故鬪爭或預備鬪爭所發生之情感及興奮，造成副腎素之分泌，其效力雖不僅一端，而增加心臟之活動力，則其主要者也。宴會中之演說固與有關生死之爭鬪不同；然憂慮及情感——無論其為何者所造成——對於人體之影響，則與生存競爭之興奮及恐怖同。

已脫離主體之心臟，及冷血動物之心臟，其速率均受氣候之影響。苟氣候上升攝氏十度，跳動率可增加至一倍或一倍以上；反之如氣候降低，則跳動率亦與之俱下。多種化學物質具有與氣候

相同之效力。流質之用於洗濯已脫離主體之心臟，苟不具有某種鹽質，可以使其跳動完全停止或極不完全。

各種動物之心臟跳動率，相差頗多。吾人雖不能知鯨魚體中心跳之速率，然大約必極遲緩；象之心臟跳動率（註一）每分鐘約四十次；而馬於靜止時，每分鐘祇二十八次而已。動物之體格愈小，其心臟之跳動率愈高。吾人多有曾覺狗心跳動之速者；兔心之跳動，較狗尤速；小鼠及小鳥之心，每分鐘跳動數百次之多，其速至於不能計而數之。如蜂鳥等小生物，計數其心臟跳動率之唯一方法，為連續之於電力儀器，如附圖十一乙及十二甲所示者然。否則即得其心而視察之，吾人之目，非獲助力，終不能見其跳動之實在形狀，所略不過極速而莫可辨析之顫動而已。此等心臟之跳動率，非用電力方法或高速度之電影機，不能加以記錄也。

血液之循環，為維廉哈惠 William Harvey 所發現。哈氏生於一五七八年，卒於一六五七年。其生平工作，不過為各種研究之出發點，此種研究現仍方在進行中，蓋今日之生理學大家尚仍從事於探討心臟跳動之性質，及支配血液循環之原因也。故吾人對於此項問題之智識，尚祇可稱

在最初期。近日生理學者之工作，雖已明示許多支配心臟及血液循環之定理，然吾人對於心臟之肌肉細胞及其韻律，神經對此種細胞發生作用之狀態，收縮波浪之傳播，及心跳時極易發現之電的變化等一切，尙未能知其機械作用之根本性質。史太林教授 *W. S. Stirling* 及其同事者曾敘述當人體在運動時，心臟使其自身適合於所受負荷之方法。當心臟受得多量之血液而須噴出之時，則其纖維伸張而跳動較強；因此而需要較多之能量之氧氣，故在心臟自身肌肉中之血管擴大，俾可容受較多之血液以供給之。心臟適合其環景之能力，一部份恃其肌肉細胞之天賦性質，一部份則恃反射神經之自動的機械作用，消息由此自心臟及血管以達於腦，再自腦而返達於心臟及血管。史太林教授對於心臟學之研究，多所發明。其在哈惠紀念會中之演說題曰「心之智慧」心臟誠爲具有智慧之物，蓋任何方法能使心臟之工作更爲良好者（就其所具之物料及所須應付之需要而言），則非特事實上爲不可能，即理想上亦難求之也。

心臟之左方激起自肺部來之血液便入大動脈，由大動脈而週歷全身。一部份血液，則直接入心動脈 *coronary artery*，由心動脈分達心臟本身之肌肉以供給其所需之食料及氧氣，吾人

對於劇烈而長久繼續之運動，其容受之能力，大都因心臟能力之差別而互異，心臟能力之高下則視其本身肌肉所獲之血液供給而定。動脈中壓力頗高，苟插一垂直之長玻璃管於血管中，玻璃管中之血液可激升至六尺左右，而其在管中升降之距離則約一尺餘。苟吾人循動脈而前，則可見其支脈愈分愈細，最後而達需要血液之組織本身；在此等組織中，動脈已分成極細之微血管，其中止可容一個血球通行。人體血液中紅血球之直徑約祇一萬分之三英寸，中含一種物質名血球素 *hemoglobin*，此種物質使血液呈紅色，並負載人體器官所需之氧氣。丹麥葛洛教授 *Prof. Krogh* 曾用顯微鏡製成血液流過微血管之影片。在此影片中吾人可見微血管之分支而血球經其中突進，並可見微血管併合而成小靜脈，小靜脈漸行併合而成靜脈，血液則由之以返達於心臟。

心臟之右方大靜脈受得已失氧氣之血液。靜脈注入右心耳然後再進右心室，由此而入肺動脈 *pulmonary artery*，復經肺動脈之分支，分支愈前愈細，最後則經過肺部中微血管之散佈於肺之全部者，肺為無數小袋所成，吾人呼吸時，先則充滿空氣，俄而復空，而微血管中之血液與空氣作密切之接觸；紅血球自空氣中採取氧氣並放棄其所含碳酸，故自肺中呼出之空氣，已失卻若

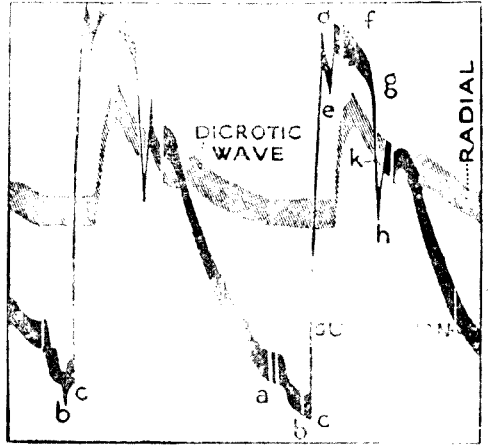
于氧氣而獲得碳酸，於下一章當再詳言之。血液經過肺部之微血管後，併合而入靜脈，最後則匯集於肺靜脈而再入心之左方。由心之左方，再開始其循環之路。

心臟始爲人體中最重要之器官，蓋其進行錯誤之影響立時足以發生重大不幸也。自古以來人之費時犯難以研究之者，殊屬不尠，而其動作舉止，亦可由多方以視察之。前已言吾人可以施之於已脫離主體之心臟者，今當再言觀察平常健康動物——如人——體中心臟之道。

最顯著之方法，爲撫其脈搏。當心臟每一跳動時，血液之注入大動脈者等於四分之一品脫。動脈均具伸縮性，故當血液突然作有力之注入，則擴張而有脈搏壓力循之而前行（圖三十）。血液自身之流動幾具有繼續性；每心臟跳動一次雖微有升降，但因所經動脈之具有伸縮性，故在心臟之循環中其速度在實際上可謂固定。

脈搏並非血液之流動而爲壓力之波浪。此種波浪循動脈而進行頗速，較速於血液自身之流動甚多。在人體中因年齡之不同及血管狀況之互異而高下其速度；嬰兒體中其速度大約每秒鐘四五碼。動脈愈僵硬，脈搏波浪之進行亦愈速，故測量脈搏波浪之速度，直接可示吾人以動脈之狀

圖 三 十 一



況。其計算之法可作簡單之公式如左：

$$V \text{ (速度) } = \frac{\sqrt{\text{動脈容量上每一公分水銀壓力所增加之百分率}}}{8.57}$$

第三講 心臟及其他數種肌肉

二不動地點脈搏波浪之同時記錄，一爲在腕際之腕動脈 radial artery，一爲近頸骨之頸動脈 subclavian artery。注意 a 與 b 間之心耳跳動；在 c 處壓力之突然增高，蓋由血液注入動脈之故；在 g 處則因心臟開始弛放而突然低落；在 h 處則瓣膜突然關閉。波浪到達頸動脈，早於腕動脈，因較近心臟故也。

由此所得之速度爲每秒鐘若干公尺。此種速度可以計算之使極準確。置一收音器於頸動脈上，再置其一於腕動脈上。波浪自心臟起，其到達頸部，早於腕部；相距之時間可由計算而知，與腕之距離，則可用帶尺量之。由此吾人能斷定脈搏波浪之速度，故能計算動脈之伸縮性。動脈之伸縮性愈高，則其所有者之處境逾佳。

脈搏波浪之形態，可啓示吾人許多關於心臟之事實。其簡單記錄之法，爲置一脈搏測驗器於動脈上，使動脈之脈搏鼓動槓竿而畫線於移動之紙條上。苟用一小圓架而使之，動脈中脈搏所移動，架上裝小鏡一，於是以攝影方法記錄鏡而反射之光線，則更屬準確而良好，但方法較爲複雜。耳、心臟瓣膜及跳動傳播之異常狀態，但可用此等記錄以察之。

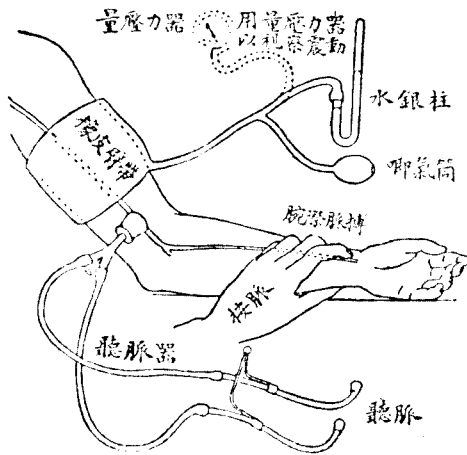
另一約略相似之法，爲不用手與目而以耳聽心臟跳動之脈搏，心臟及其瓣膜之狀況亦可由此而知。或直接附耳於其人之胸，或用聽心筒以傳聲至耳（此法較爲便利）。曾受訓練之醫師，其耳實爲至可驚異之儀器，然雖尋常人亦能辨別心臟所發聲音之二。當心之肌肉收縮時，有低而寬大之聲，歷來習醫學者稱之曰「勒」及心臟肌肉弛懈，則血液回流，苟非瓣膜關閉，將再充塞心中，

瓣膜於關閉時發高而尖銳之聲，則稱之曰「德」。心臟所發聲作「勒德——（停頓）——勒德——（停頓）……」狀者可用微音器收得之，且可放大之而使一堂中咸能聞其人之心跳聲。或竟可用無線電廣播其聲音，使全國醫師均能聞而診斷其狀況。

於是吾人可進而記錄血壓（圖三十）。

二）繞束橡皮袋於上臂軟處，然後用打氣筒鼓氣入袋，而其壓力則以量尺或水銀柱記錄之；當袋中壓力具有充分高度時，則緊壓動脈而使扁，故自心臟來之脈搏，不能再經此而達臂之下端。吾人可用指以撫橡皮袋以下之脈搏或用聽心筒聽之。由此方法，吾人可以斷定發生於每一跳動中之最高及最低之壓力。

圖 三 十 二



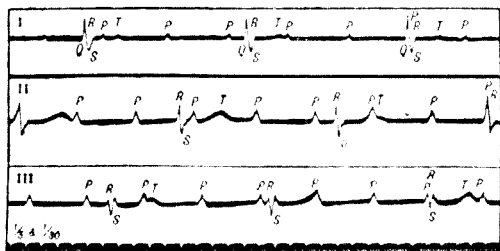
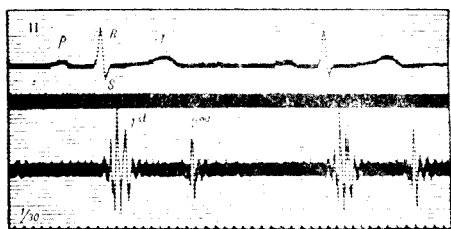
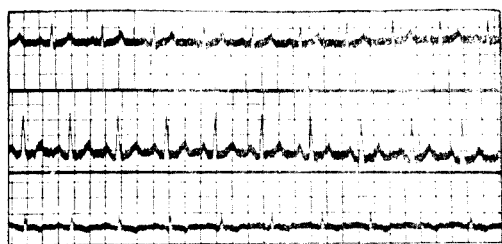
人體中探測血壓之法。
(根據 Anrep and Harris)

另一研究心臟之法，爲用電力心臟跳動測驗器。若干年前華勒教授 Prof. Waller 在皇家學會之談話會中，曾出示其所畜犬之心臟跳動記錄，爲用一細管電流計所造成者。苟使一犬直立，二足分置於二盛鹽水之碗中，（教犬使作此狀，殊非難事，）則犬心所造成之電流，可用電線自碗中引之而達於儀器，以示觀衆（附圖十二乙）。吾人久知心臟於跳動時，有電的變化經過之，適與肌肉收縮時同。苟心臟爲顯露於外者，或已脫離其主體者，則可以直接置電極於其上，而引電流使出。此種方法，已與吾人以許多知識之有關於心臟跳動時所生波浪之過程者。但在人身則顯爲不可用，蓋吾人當然不能直接置器械於人之心上也。然此種電流極強，故華勒教授已發現可毋須顯露心臟，幾於人身任何二處，均可用作適宜之電極。引電點之最佳者爲右臂及左足，然亦可自兩臂得良好之記錄，祇須浸兩手於盛鹽水之碗中，而引電流至於電流計可矣。

今則荷蘭恩多芬教授 Prof. Einthoven of Leyden 已發明弦線電流計（附圖十一乙），用以探測此等電流，極爲便利。在原則上，此種儀器祇爲一強有力之電磁及經過其兩極間之極細電線所成。當電流在電線中進行，則偏向磁場之一方，由高度顯微鏡之放大，可使電線之擴大影像，

射於幕上，或用自上下落之攝影感光版以記錄之。受測驗者（附圖十二甲）置其雙手於水碗中，指示人啓動開關，則心臟之動作——稱之為與心臟動作俱來之電浪更妥——立可目睹。圖三十

圖 二 十 三

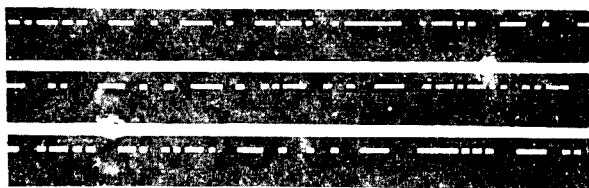


第三講 心臟及其他數種肌肉

九五

三 a b c 均爲用弦線電流計所造成之記錄。第一記錄(圖二十三 a)爲一病人之心臟所發生之電流造成，病人居醫院中，而其電流則用尋常電話線傳至半英里外之病理試驗所，而在試驗所中記錄之。第二記錄(圖三十三 b)示一普通『電力的心臟跳動測驗』及一『聲音的心臟跳動測驗』，曲線之在上者爲心臟所造成之電流，而在下者爲其聲音(用微音器所採取)。P 爲心耳之跳動，RS 爲心室之跳動，T 則爲跳動過去時，心臟寬弛之開始。第三記錄(圖三十三 c)爲一患全部心臟阻塞者之紀錄，其心耳(P)依其本身之韻律而跳動，心室 RS 亦然均獨立不相關涉。

圖 三 十 四



無線電符號，由荷屬東印度發出，而在荷蘭以弦線電流計收取，並用攝影方法加以記錄者。當符號在進行時電浪使弦線震動，故所成之符號而模糊，及符號停止，則弦線不再震動而記錄線清晰。所用弦線，係置於真空中，且極短而平。

弦線電流計爲極可驚異之儀器，關於心臟中興奮波浪之傳播，吾人已因用此器而獲得許多智識。然其用途固不僅此而已。當歐戰時，曾用以探測聲音，今則恩多芬教授及其子方從事於發展此器之一種新型，用之可在荷蘭以活動攝影版記錄自荷屬東印度而來之無線電符號（圖二十四）。科學進步，將至何地，非吾人所能知。固研究氣體中電之傳導而發明X光，X光能使吾人目睹人體中心臟之跳動（即見下文），事前固未有人能預期之也；生理學者於數年前研究心臟跳動之機械作用，而其工作之結果，後竟可用之以探測法國境內敵軍之砲位，或記錄自遠東而達西歐之無線電符號，亦非當時所能夢想者也。此種事實，示吾人以科學上本無不相溝通之界限，無人能知進步將由何方發生，故吾人對於他人所發明或發見之事物須極爲留意，蓋其發明或發見雖因他事，且恆在他國，然於吾人自己之事及自己之國，或極爲重要者也。

上文曾言用X光以研究心臟之動作。人體中較爲堅實之各部能阻X光線之通過而使射黑影於攝影感光版上或以螢光性物質爲表面之幕上。骨骼阻止光線之通過，其效力較人體中其他部份爲着，但厚實之肌肉如心臟及橫膜者，亦有阻礙光線之力，而於光線較柔軟時尤甚，故可使之

留黑影於幕上。苟所用儀器極爲有力，則實際上，可以使受測驗者立於感光版前而攝取其心臟之「快照」；或置片紙於幕上而描取心臟在其循環中某一狀況時之輪廓。由此吾人可知其大小及地位是否如常，且可約略視察其動作。

附圖十一丙示一十四歲女子胸部之X「快照」（感光時間八分之一秒）。此亦爲原感光版之反片，凡人體各部之射黑影於原感光版者，於此圖中亦作黑色；其骨骼、脊骨、牙牀、顱骨及牙齒均極顯然可睹。心臟居體之中部，橫經脊骨而略偏向其左側（在圖中則因係反片故反向右方），在橫膜之肌肉上，其尖端亦向身體之左側。附圖十一丙於實際上可謂立時露光之心臟攝影。然即較速於此而爲一百分之一秒者亦可攝取，露光時間既極短，故可得心臟輪廓之明晰記錄。心臟之動作甚速，苟非露光時間極短之攝影，其邊線必不能清楚而適合度量之用。爲證明心臟之一切情狀起見，則令受測驗者立於幕前，而使觀衆直接視察其心臟於幕上，爲更易令人置信。蓋如此則其跳動及當收縮時地位上與容量上之變易俱顯然可見也。呼吸之動作亦可於此見之：受測驗者呼吸時，橫膜之肌肉（心即處於其上）上下移動，當吸氣時則下移，而呼氣時則上移，故司呼吸之器官，

亦可於幕上目睹之。由此且竟可量心臟之大小而知其當極度收縮時較小於極度寬弛時者幾何，因之而決定其每次跳動之血液注出量。

苟物理學者不作氣體中電力傳導之研究，則附岡十一丙決不能攝取，蓋X光之發明，實此種研究之副產品也，此爲一奇異而頗具興趣之事實。五十年前苟有人懸賞徵求生人體內各部之攝影，則懸賞者及設法應徵者咸將因其努力而爲人所非笑，應徵者亦決不能成功，蓋此事之成實由完全不同之方向，而從事於此之科學家，則過於注重實際之流所目爲專事研究無足重輕之事物者也。在科學或人生中，副產品之重要性，最後往往超過吾人原來所求之事物，X光及無線電等，其顯例也。科學研究將導吾人何之，非可逆睹，但對自然界作忠實無私之研究，以求一切影像背後之眞事實，則每歷若干時，必有極重要之發現，足以增進入羣智識上道德上及物質上之安寧與福利者，此吾人之所深信而無疑者也。

（註一）第三講中所言及之象，當在哈佛醫學院之兒童醫院時，曾受此測驗，於其每一腋下一電極，而由兩人持之，均穿橡皮手套俾人體不致傳電。象身心臟因跳動而發生之電流，則以電線引之至試驗室中而用活動攝影版記錄之。象心之跳

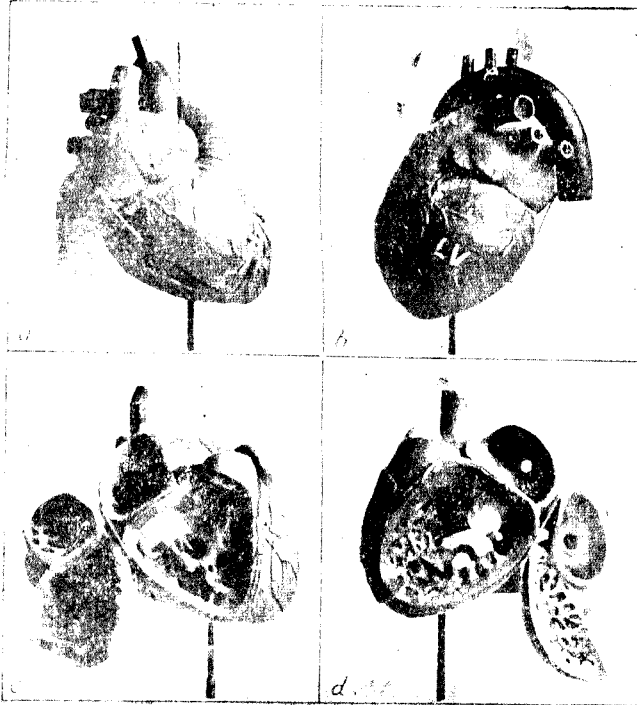
動其性質亦與人之心臟同，其繼續跳動間之距離爲一秒半鐘。因象身之巨大，故此種時間上之距離似覺其短，但受測驗之象或因經歷非常手續而在興奮狀態中，亦未可知也。



食而不盡完飯後，腸及胃之X光圖。

- | | |
|----------|---------|
| a. 適在食物後 | b. 兩小時後 |
| c. 三小時後 | d. 七小時後 |
- 四次顯光中間所發生之變化，為使食物循消化道前進之非自主的肌肉之活動所造成。

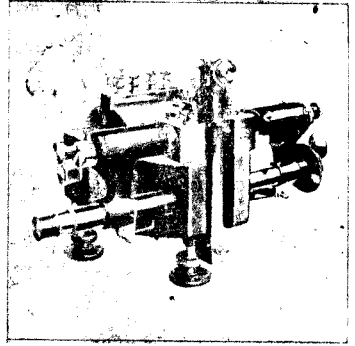
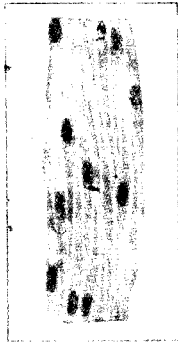
附 圖 十



心臟之模型。

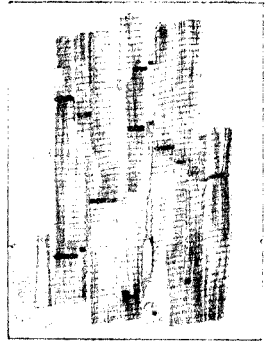
- a. 心之右方, 及上下大靜脈(SVC), 及(IVC), 右心耳(RA), 大動脈(A), 肺動脈(PA)及肺靜脈。
- b. 心之左方, 示左心室(VL)及左心耳(LV)。
- c. 同a, 但裂開之以示其瓣膜及心臟右方之內部。
- d. 同b, 但經剖開以示其瓣膜及心臟左方之內部。

第三講 心臟及其他數種肌肉



甲. 腸部肌肉細胞在顯微鏡下之形態(放大五百三十倍)。此等肌肉之纖維，無髓而嵌成一片。每一細胞有「核」一，即圖中作黑色之點是，為與細胞之生長及其狀況之保持有關者。

乙. 恩多魯教授所發明之弦線電流計。



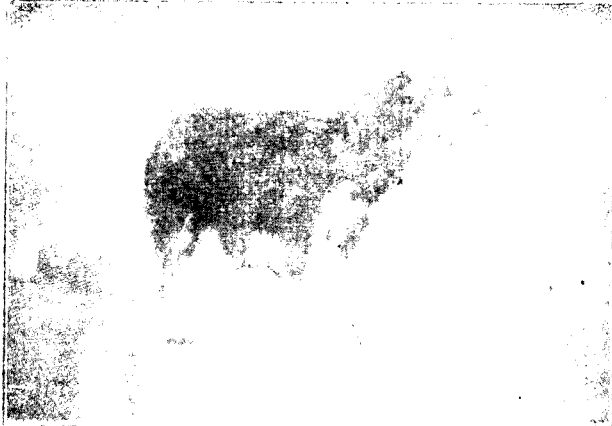
丙. 一十四歲女子之X光快照(感光時間八分之一秒)，示其肺部，心臟，及心臟下之橫膈。

丁. 人心臟肌肉之斷片(放大二千三百倍)。在心臟中，肌肉纖維作短塊狀，與自主的肌肉中之作細長形者不同。

1011



甲。弦線電流計之用於記錄人體內心臟所發生電流者。注意其所附設之顯微鏡，用以照耀弦線及攝影機之燈，及引心臟所生電流至電流計之電極。



乙。犬立於一蓄電水之器中，其心所生電流，即由器中用電線引出。

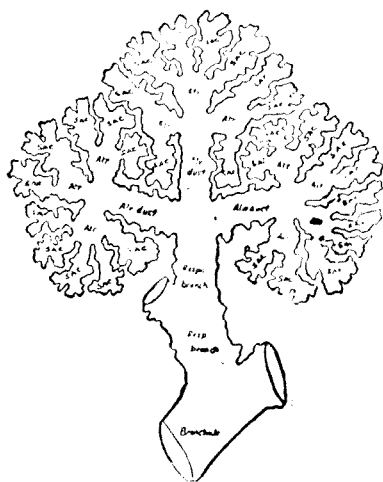
第四講 肺與血液 肌肉獲得空氣及燃料之方法

一切機器，均需能 *energy*，以成機械工作，蓋機械工作亦能之一種也。尋常用以工作之機器，均由燃料之燃燒而直接或間接以獲得能量。在蒸汽機中，用煤、木柴，或油類以煮水使沸，使其所生蒸汽推動處於圓筒中之活塞，或鼓動機輪之葉而使之以高速度旋轉。煤氣機，油類機及汽油機，則由因爆發而造成之高壓力以推動圓筒中之活塞。電動機之推動雖由於電流，然電流之造成由於發電機，而發電機之轉動，則須需用燃料之另一機器。即電動機之用蓄電池發動者，其蓄電池中在先所用之電流，亦為自煤及油類之燃燒中獲得之能所造成。其他種類之機器，當然亦屬可能。如日光之熱力，可以蒸發水份而擡起活塞，或使空氣因受熱之故，移動而成風，風則可用之於風車而工作。因太陽蒸發水份而造成雲與雨，雲與雨為河流之源；河流則可以轉動水車或機輪而以機械能供給吾人。再如以銅或鋅及硝酸所製成之電池，亦可用以轉動電動機。故機器所需之能，並非必

由於燃料之燃燒，亦可自他物而來。然在工商業上具有大規模用途之各種機器（註一），則其性質均為燃燒機，在此等機器中，燃料與空氣中氧氣化合而成碳酸（二氧化碳）及水，由是以釋出能量。肌肉亦然，其所獲能量之全部，俱自吾人所食食品之燃燒而來。故苟考慮肌肉之活動，則其供給燃料及氧氣之方法，顯然為最重要者也。

昔日之生理學者恆以為因呼吸動作而納入肺部之氧氣，即用之於肺中，以燃燒由血液攜來之物質。此種觀念，實為錯誤。當肺部因橫膜及其他可呼吸肌肉之動作而擴張時，空氣由支氣管注入而充滿之，支氣管漸分成較細之空氣路徑，最後則成小氣管 bronchioles。空氣由小氣管而入『呼吸小氣管』 respiratory bronchioles，『細胞管』 alveolar

圖 三 十 五

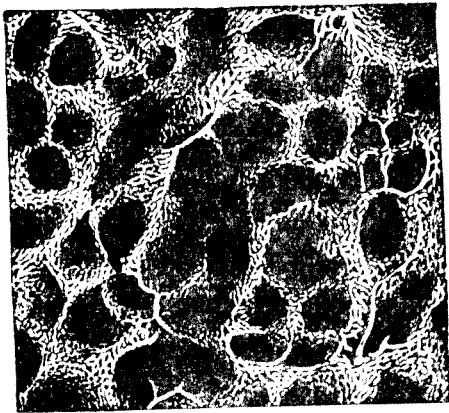


肺之葉片，內有小氣管，呼吸小器管，細胞管，氣室，及氣包。

ducts, 「小氣室」atria 與「氣包」air sacs (圖三十五) 氣包爲一種空穴, 其四壁由空氣細胞 alveoli or air-cells 所組成。細胞之表面, 有網形之微血管絡之 (圖三十六) 血液經其間而突進, 於經過時, 自氣包中之空氣採取氧氣而放棄碳酸。肺爲數千小葉片所成, (圖三十五示此種小葉片之三) 緊砌於一處, 有無數血管自各方來與之相交接。當可呼吸之肌肉弛放, 則肺部因其自有之伸縮性而虛陷, 空氣亦即流出。

肺之自身所用氧氣極微, 其大部均經過, 空氣細胞之薄膜 (圖三十五) 而入微血管 (圖三十六) 當血液流過微血管時, 氧氣即入於血球, 血球則血液之主要成份也。氧

圖 三 十 六



人肺中縱橫交錯之微血管, 圖中所示爲一片肺葉 (如三十四圖所示) 之橫斷面。氣包之表面有一層最細之微血管, 血球經其中一一魚貫而過。

氣不能溶解於水中，實爲動物之不幸事。在尋常空氣中，氧氣約居百分之二十一；在肺部內空氣中，則因氧氣之流入血液頗速，故祇約百分之十七。苟吾人血液中不具紅血球（每一人體中大約有 25,000,000,000,000 枚），則一加侖之氧氣，須三百加侖之血液以負荷之。人於工作時，每分鐘或需要氧氣達一加侖（四公升半）之多，故苟不具紅血球，則其心臟每分鐘須能激起三百加侖之血液，使之循環人體，然後方足以供給其所需之氧氣。

人之體重荷在一百七十磅左右者，其身中全部血液量，大約爲一又四分之一加侖，如不具血球以負載氧氣，則血液每分鐘須循環二百四十次，或每秒鐘循環四次。此種狀況，於事實上當然爲完全不可能者；蓋無論若何強大之心臟，決不能激起如許血液也。一切動物，除極渺小者外，咸具一同樣之方法，以解決此項難題。（最渺小之動物，能自其身體之外界，以擴散傳播之法而直接獲得氧氣。）其法爲利用血球素（或相類之物質）（註二）即血液中之色素。血球素能與氧氣化合，故其負荷氧氣之量，遠勝於單純之溶液。

在全部自然界中，一切具有生命之細胞內，幾無不含有的一種物質曰細胞素 cytochrome 者；

其量雖屬極微，然可因其顏色及光譜以辨別之。細胞素由一個原子之鐵質附帶於一種頗爲複雜之化學物質而成，且似與細胞利用氧氣之實際機械作用有關。此種物質能與氧氣相化合而後再釋出之。與之相連絡者，則有血球素，血球素者，殆造物於萬物進化中，歷悠久之「試探及錯誤」程序，而後造成者也。在下等動物之體中，血球素有分散溶解於血液內者，而在較高等之動物中，則其溶液極爲濃厚，且處於血球中。在人體中，血球作圓片狀，其外表爲微妙之薄膜，血球素則居膜內。血球極易彎曲，故易於通過狹隘之微血管。其直徑約三千分之一英寸而厚則不過一萬二千分之一英寸而已。血球素之在人體血液中的量，爲量頗多，苟自指上取血一滴而和之於大量之水中，可使數百倍於血液自身之水呈紅色，其量之多，卽此可見。血球素亦爲鐵質之化合物，與細胞素同。其每一分子含有一個原子之鐵質而能與一個分子（卽兩個原子）之氧氣相化合。血液中所含血球素之量，人各不同。尋常人體內，每具有血球素之血液一百分大約能負荷氧氣二十分。人之習居高處者——如久居安第斯山或西藏之人——則其血液中血球素之量較多而負荷氧氣之能力亦較高。患貧血證者，其血球素之量較少，故其血液負荷氧氣之力亦較低，故其人當運動時，不久卽覺喘

息。血球素之於吾人，實爲一極大利益。具此則止須五加侖左右之血液即能負載一加侖之氧氣，苟血液中不具血球素，則需三百加侖方克臻此也。人體肌肉，當血液每次經過時，苟能盡行吸收其中所含之氧氣，則賽跑者如每分鐘需氧氣一加侖，止須使五加侖之血液於一分鐘內循環其體足矣。實際上肌肉不能盡行採取血液中之氧氣，當血液還至肺部時，其中仍有若干氧氣存留。然如欲得一加侖之氧氣以供給肌肉，至多亦祇須使七加侖之血液循環遍體，倘血液中不具血球素，則其量仍須四十倍以上於此也。於一分鐘間，使七加侖血液循環人體一週，對於心臟，可稱艱巨之工作，但苟心臟良好而有力，則殊非不可能，故人體可以獲得其所需之供給。吾人血液中，苟無血球素之存在，則雖終日靜臥床上而心臟已竭其全力，所得氧氣，尙不能達吾人所需者之半或三分之一也。

治生理學者曾經計算而謂如尋常人體中肺部內之氣包，苟可以全部平置而量之，其面積約等於一千方碼，或等於大起坐室中承塵及四壁面積之和。血液必與空氣相混合，然後方能自空氣中吸收肌肉所需之氧氣，並放棄肌肉所造成之碳酸。若肺量不充足，則血液經過其微血管時勢必極速，而不能在其過程中，獲得收集氧氣之時間，因之不能攜全額之氧氣以達於肌肉。故作長時間

之劇烈運動，必須具大而良好之肺部。人之習於作苦者，其肺部往往有擴大之傾向，而競走者，划船者，及游泳者等運動家尤甚。肺部之有效量，可以用量氣計 *gas-meter* 以簡單方法測知之。受測驗者祇須盡力吸氣入肺，然後經量氣計而盡力吐之，即可知其呼出之容量。此種容量，謂之肺之「活動量」 *vital capacity*。有力之運動家，其肺之活動量大約可達五公升，尋常人則自二公升至四公升。著名賽跑家某君，曾於多次長距離競賽中獲勝，其體重雖祇一百三十磅左右，而肺部之活動量，則達五·四公升之巨。大抵運動家之心臟跳動必較尋常人為遲，而其肺部之活動量則較大，雖不能即以此為萬無一失之定理，然多居戶外而健康之人，其肺量實恆較大於不甚活潑而習處戶內者。若吾人延致若干友人，均令其受各種測驗而使之互相比較，實至足發生興趣。然當知吾人已盡力呼氣，肺中必尚有若干空氣存留，但呼氣量與活動量大致成爲比例而吾人可由之以知肺之有效部份之大小。

尚有一原素，亦與肺部相關，而欲加以測驗，則殊非易事。氧氣由肺中氣包而達血液，不僅恃肺內部之表面及其吐納之程度，而亦有賴於氧氣透過氣包膜之舒暢性。此種程序，全恃一種所謂

【擴散傳播】diffusion者，擴散傳播爲一種純粹屬於物理上之程序。卽兩種氣體，或兩種液體，或一氣體及一液體，因其自身中分子之永久活動而作緩而漸之混合是也。劍橋大學巴克洛夫教授 Prof. Barcroft 及其同事者最近之工作已曾作有力之啓示，謂人因居高地而患高山病 mountain-sickness 者，則氧氣透過其肺膜之『擴散定量』必屬微弱，不患此證者則擴散之定量必高。苟此種定量可於最偉大之長距離運動家體中研究之，（若此等運動家願受巴克洛夫教授及其同事之測驗，則亦殊無不可能之理由。）吾人必能發見其肺膜爲易使氧氣透過者。故吾人對於運動之能力，及忍受高地居住而不感困苦，肺部須具良好之呼吸量，且須有一種較爲微妙而不易測驗之性質，卽使氧氣易於透過而達於血液者是也。

氧氣透過肺膜而入血後，血液卽載之而以高速度流過動脈而至微血管，在微血管中，血球一魚貫而過，與受其供給之肌肉，作密切之接觸。肌肉中有吾人所稱『氧氣真空』oxygen vacuum 存在，至少於肌肉工作時爲然，故有高壓力推動氧氣，使之脫離血液而入需要氧氣之肌肉。當工作時，活動之肌肉中微血管之實際開張而使血液可以通過者，其數必大增，故每一分鐘內在循

環中之血液量，雖高於人體靜止時，然其流過微血管並不較速，或竟較緩於在靜止之人體中。惟其如此，故可獲有充分時間以放棄其氧氣，而血液由微血管之末經靜脈以返達於心臟者，所含氧氣，不過其全額中百分之三十左右而已。血液之來自自然活動之肌肉者，其所含氧氣，或尚不足全額之百分之三十，蓋吾人止能就還至心臟之混合血液以定其所含氧氣之量，然此混合血液之一部份，則係來自人體中不甚活動之肌肉及器官者也。血液還至心臟之右方後，復經肺部而入心臟之左方，由此受激升起而再入循環。

欲完全通曉此等事實，無論如何，須先具人體解剖學之基本知識。附圖十三示人體模型之攝影，此模型則係置於演講室中以作表演之用者也。模型具有可以逐段分開之便利點，而在附圖十三b中，其頭部之半，兩臂之一，及身體之前部，業經卸去，以顯示其內部之器官。體腔之上部為肺，肺之下為橫膜及肝臟，再下則為腸。卸下之各部，均置於其側之椅上。附圖十三c中，心與肺已取出而置於模型前之椅上。附圖十三d，則肝，橫膜，胃，脾臟及腸均已除去。將此種模型先拆之使成片段，然後再集合之，實為極有興味之練習。由此獲得之智識，對於無論何人均極適用，蓋吾人理當注意

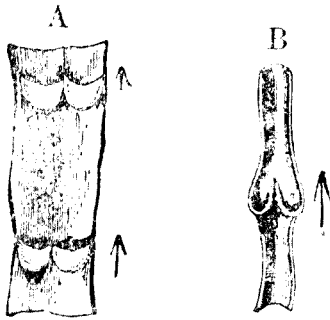
自身中所發生之一切，然苟非略知其構造，則殊難期了解此等構造中所發生之程序也。

血液對於在活動中之肌肉，須盡雙重之職責：供給氧氣之外，尚須除去肌肉中因燃燒而發生之碳酸。此項碳酸雖為血液所負載，然並不與血球素相化合，惟其負載之法則與血球素頗有相關處而已。碳酸自血液以入於肺，可於自肺中吐出之空氣內發見之。吸入肺部之空氣，幾絕不含有碳酸，而呼出之空氣內，則有碳酸約百分之五。吾人苟屏息若干時，則碳酸集於肺部內之空氣中而血液之流至腦部者，所攜碳酸亦多於平時適當之量；因之腦部之呼吸中心 *respiratory center* 即感受刺激而發出有力之衝動以達司呼吸之肌肉，最後則吾人因感受其壓力而復呼吸如常。苟用人為的方法，使吾人吸入之空氣內所含碳酸，較尋常為高而達百分之三或百分之四，則血液之離開肺部者所載碳酸必至太多，或亦可謂因血液不能放棄適當量之碳酸之故而然。於是腦中呼吸中心遂處於興奮狀態中，而吾人呼吸之速率亦隨之而增加，且其深度亦成過度。反之，而於肌肉並不發生多量碳酸時，作深度之呼吸，則因所放棄之碳酸過多，致血液之經過腦部呼吸中心者由所含碳酸量太少而鹼性太重，因之呼吸中心停止其工作而不再發施弛張之命令以達司呼吸之肌肉。

於是吾人可以屏息而歷時較久，於屏息比賽，欲獲勝利，則於事前作長時間之深呼吸以放棄其血液中所含碳酸之一部份，實為最佳之方法。此種實驗，為之極易，但不可行之大過，否則其結果或足使人頗覺不適也。

人體雖具造物所賦最佳之方法（即血球素之功用），然當人從事於努力工作時，其所需氧氣，仍須為量頗多之血液，循環其體而供給之。故心臟之負擔，殊不為輕，但在健康之人體中，心臟極能勝任。況心臟之努力，尚有另一重要原素以助之，即人體之動作是也。肌肉之高速度動作，傾向於使血液循由微血管集合而成之小靜脈前流，再循較大之靜脈而返達心臟；此種靜脈內，有向心臟開放之瓣膜，以助人體動作時血液之還流。故人體之動作，實能激動血液，使向前行。吾人苟作劇烈之努力

圖 三 十 七



靜脈中使血液流向心臟之瓣膜。此等瓣膜且能阻止血液之回流而入肢體。
A 示靜脈一面剖開之圖以示相對之二瓣。B 示中間剖開之靜脈以示此瓣膜關閉時之狀。

力而身體僵硬不移動，如舉起重物或在健身房中曲臂懸身使起時，則因無若何動作發生，故血液有停頓於大小靜脈中之傾向；血液不以其可能速度還達心臟，則肌肉因所得氧氣太少，致疲勞之來極速。其他各種運動，如賽跑、跳躍、及戶外遊戲如網球等，因人體之動作極速，故大有助於血液之還流，且能由此而增高其循環之速率。尚有介乎兩類間之各種運動，則如划艇等是。划艇運動中，其動作雖極有力（註三），然比較遲緩，每分鐘划動約三十次，較之心臟在最高速度時之循環，為六與一之比。故在此種運動中，心臟自身肌肉所感受之緊張，頗覺過劇，實際上氧氣消耗量之最高記錄，乃得之於一划艇運動員之於機器上每分鐘作划動四十次者；蓋作此種運動時身體動作之速度，不足以在血液循環中與心臟以助力，而心臟自身須負擔全部之工作也。故划艇運動員之心臟，較之其他各種運動員，為更易發達太過，當遇有困苦時，殊須留意焉。

尋常之食物，均可見用於人體以成肌肉工作，如以重量單位計算，脂肪和所能供給之能量，實超過任何其他食物兩倍以上。然在肌肉自身中，則糖質為直接見用之燃料，人體當用其他食物以成肌肉工作時，或須先令其他器官將食物化成糖質而後可。在事實上，現時學者對此頗有爭執，然

無論如何，縱使肌肉本身亦能採用其他食物，其所用燃料之大部份，必爲糖質。此種糖質，舍得之於肝臟及其他器官以蛋白質及脂肪所造成者外，尚可於吾人所食食物中採取之。而其來自蕃薯，米及麵包等物中之澱粉者尤多。澱粉於消化程序中，分裂而成葡萄糖 *Glucose*，葡萄糖被吸收而入血液後，則或直接見用於人體，或如在肌肉中再化成臟粉而成肌肉工作時所需燃料之直接貯藏品。臟粉之在肝臟中者，爲量亦頗多，當肌肉中缺乏此項供給時，肝臟中之臟粉再化成糖質，經由血液以達肌肉而備肌肉之用。

今日先研究此種葡萄糖之性質。血液中常有此種糖質存留，其量約爲血液之千分之一。在患糖尿病者之血液中其濃厚之程度較高，而久未進食者之血液中，則爲量較少。此爲極有價値之物質，其所具能量頗高。葡萄糖所造成之臟粉每一克 *gram* 中所含能量，足於燃燒時使一公升之水熱度升高達攝氏三·八度，或可舉起一噸之重量至五英尺之高，或則能使重約一百七十磅左右之人體，升起達七十英尺之鉅。因此之故，糖質爲動物體中儲藏能量之絕妙方法，吾人苟加以測驗則可見動物體中糖質之以臟粉方式儲藏者，達其體重百分之一左右。此種臟粉，用之於人體工作

時，苟工作繁重，肌肉中臟粉勢將用盡，則自由人體他處來者而再事貯藏；或來自消化機關中之以吸收方法而入血液者，或來自肝臟中之積儲。在因饑將死之動物體中，肌肉之臟粉逐漸減少，然並不完全消滅；體中脂肪亦漸分化，甚之體中各種組織之蛋白質亦用之於此，然臟粉之踪跡，終有存留。無臟粉則肌肉動作爲不可能，而肌肉不能動作，則生命亦遂終止矣。

今當再言疲勞，此事於第二講中已經論及。如運動極爲努力，肌肉將不能獲得充份之氧氣以應付其需要。作百碼賽跑者，當其以全力進行時，倘能歷時較久，則每分鐘所需氧氣，將達三十公升以上（約六加侖有半）。在實際上，人之心臟及肺，至多止能供給此數之七之一，故賽跑者以最高速度進行，決不能達一分鐘之久，而片刻即感疲乏，蓋已積有吾人所謂「氧氣債」(oxygen debt)也。疲勞之來，由於肌肉纖維本身中所發生之乳酸，縱不全由於此，亦必爲其主要因。乳酸來自肌肉纖維內之臟粉，能使肌肉纖維成酸性而變僵硬，及乳酸積聚既多，則肌肉完全不能再事工作，於是須作休息，俾得復原。當休息時糖質之燃燒，及氧氣之應用，仍繼續進行，蓋所以造成除去乳酸所需之能也。最後至乳酸盡已復成其所由來之臟粉，則肌肉亦已完全恢復，而可開始再從事工作。

劇烈之運動往往使尋常未受訓練之人感覺僵硬及酸痛，其僵硬狀態，至爲顯然，故凡治生理學者，其友人恆問以此種狀態究因何者而來，及其治療之法。著者亦曾屢遇之，故於讀者未作此問時，謹先自承其不知治生理學者所知不多，一部份固其自身之咎，然其主因則爲所學者實太繁雜，諒亦讀者之所承認也。著者未能臚列肌肉僵硬之原因，至覺歉然，但知其非用藥物塗擦所能治療。未經訓練之肌肉中，當作劇烈之動作時，其肌肉纖維，或實有所損傷；運動時所發生之大量乳酸，或足使肌肉纖維，呈輕微之凝結；或則肌肉纖維因其內部發生若干新分子，致爲液質所充塞而腫漲（註四）。然凡此種種，均不過臆測之辭而已。但健康之人在訓練中者，無論若何劇烈之運動不能使其感覺肌肉酸痛與僵硬。納密之密尼（芬蘭著名賽跑家）曾於半日間造成世界記錄二次，劍橋牛津運動會中，往往有參加二項或竟三項賽跑而成績頗佳者，但所參加之幾次賽跑中間，須有適當之相距時間耳。

或問當受訓練時，人體中有何者發生？著者亦曾作此問，然今尙未能知之。或活動之肌肉獲得較佳之血液供給，微血管對於肌肉之需要能作較速之反應；或則積存於肌肉纖維中之鹼質較多

而能中和努力時所發生之酸質。受訓練者體中積儲於肌肉纖維中之臟粉以備化成能力者似覺較多，而其神經系則當然亦於人體受訓練時學得更經濟之工作方法。肌肉之於運動後恢復原狀，或因受訓練而程序較速。肌肉纖維及其包膜之機械力，或可因訓練而增強，使能忍受劇烈動作時之緊張而不致受損。凡此種種原因或均有其效力，但今尙未能確定，吾人祇知此項問題爲重要而具興趣，且希望有人能對之作適當之研究。對於高地氣候之習居問題 *acclimatization to high altitudes*，即使達到一萬五千尺高處即易患高山病之人，發展其對於低度氧氣氣壓之容受力，俾可至雖再較高之地面仍覺舒適者，近年來研究之者頗不乏人。因研究高地氣候之習居問題而獲得關於呼吸生理之智識，實屬不尠。苟能以同樣努力從事於訓練之研究，必亦能得極有價值之結果。或者吾人對於高山病及高地呼吸之研究，因可藉之而作引人入勝且具有冒險性之旅行，故比較樂於從事。研究訓練之生理，則不具此種吸引力（然亦略有之，蓋從事於此者，可常至健康之地點及常處健康之同儕中。）但亦具有其優點，則易於從事研究，且所費無多是也。吾人對於肌肉所知已若是之多，而在此一方面則又所知甚少，殊可惋惜。訓練之效力，極重要而明顯，非惟在遊戲

及運動方面爲然，卽日常之生活及工作中亦無不同也。

研究肌肉須歷若干時方能恢復其原狀，頗足引起興趣。測量肌肉恢復程序中所用之氧氣，不難知其一切經過。附圖十四及十五示測量氧氣消費之儀器。在圖中，受測驗者口中啣吹口一枚，鼻孔則有鼻夾以阻氣之出入，俾呼吸僅可經口腔爲之。吹口中裝有活塞，俾外界之新鮮空氣，可由一孔中注入而不能再由此孔注出。另一活塞則使肺部呼出之空氣由另一孔出而阻之使不能於吸氣時再行還入肺中。故吸進肺部之空氣，俱自外來；而肺部呼出之氣，則由第二孔出，經管中而達一活栓，此栓可以旋轉，使空氣注入一橡皮布之袋而聚集其中。先使在測定時間中收集於袋內之空氣，流過量器以定其量，然後取出若干爲樣品，而以一種儀器名曰氣體分析器者分析之，俾可決定其成份。由外界吸入肺中之空氣，其成份已知，否則亦可以同一方法決斷之。吸入與呼出之空氣間之相差，卽可示吾人以吸入空氣之每一公升中，氧氣之已消耗者幾何。苟人於一分鐘間吸入一百公升之空氣，而氧氣之自肺內空氣中經吸收者等於百分之四，則每分鐘之氧氣消費率卽爲四公升。吾人可以延長橡皮袋收集空氣之時間而測量長時間中之氧氣消費率，或則將此項時間，分

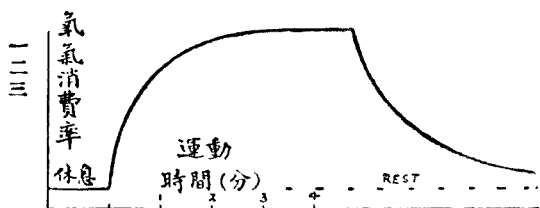
成若干期，而以許多小袋收集其每期中呼出之空氣，然後將每袋內之空氣，單獨測量及分析之。在前法中，吾人可測定在規定時間內所消耗之全部氧氣；後法中則可測定由長時間所分成之每一短時期中，氧氣之消耗者幾何。附圖十四甲示一女子在試驗室中受休息時氧氣消費之測驗。受測驗者臥於榻上，而收集其呼出空氣之袋則置於其腿部。測驗後求得其每分鐘所耗氧氣約二百立方公分（五分之一公升）。附圖十五乙示同樣儀器之施用於步行之人者。附圖十五甲示瑞典湖中之游泳者，其口中所啣吹口有皮帶連之於袋上，而袋則載於在其前方划行之小舟上。此種方法具有極普通之適用性，可於圖中所示知之；不能施用此法之運動，幾屬絕無僅有。附圖十七甲示此法之施於以小車運磚之人，此試驗之目的，為欲求得磚瓦之重量（及車行之速度）其工作之代價，如以每磚所耗之氧氣計算，在可能範圍中，何者為最少。

探索肌肉之恢復程序，必須求得呼出空氣之許多連續的樣品，然後方能知運動完畢後，各時期之氧氣消費率。圖三十八示運動前後及運動時氧氣消耗率之圖。運動之時期，有平行粗線以示之。當運動開始時，氧氣之消費量立即增高，及其停止，則亦遂下降。所示運動，其性質溫和，故肌肉於

數分鐘後即已恢復。運動開始時，最高氧氣消費率經兩三分鐘方行達到，蓋心臟及肺與肌肉中之氧化作用，須歷若干時，方能以全力從事也。今當再分析個人間極有興趣之差別，此種差別之存在，為必然之事實。吾人已知年齡較低而較為活動者，其恢復較速於年齡較高而較不活動者。於典型上及肌肉能力上極不相同之人中，研究其肌肉之恢復程序以求此種差別之是否存在，其程度如何深切，及究竟何所根據而然，實極足引起吾人之興趣。苟因了解迅捷恢復中有效力之原素，而能使恢復進行較速，則吾人對於避免人類之疲勞，裨益已多矣，但人或因此而工作較為努力，亦意想中事也。

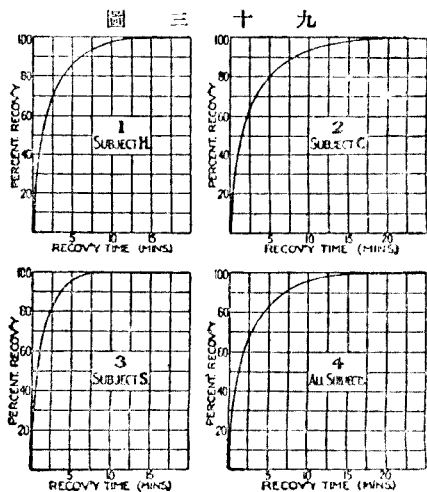
關於恢復程序之速度及休息時間之試驗，具有特殊重要性。在艱重之工業工作中，相隔若干時自當與工人以休息之時間。運動會中各項賽跑間之時間亦須設法斷定，務使參加數項節目之運動員，可於其中獲得恢復之時間。二者中吾人俱須知恢復程序

圖 三 十 八



運動時及運動前後之氧氣消費。運動時間以下端粗橫線示之。

進行之速率，然後方能決定給與若干時之休息。苟係工人，則其恢復可以毋需十分完全，蓋其工作並不使之努力達於絕對最高之限度，而恢復程序之最後階段，需時頗久。因之其休息時間，不必過長，因恢復程序之初期階段，進行頗速故耳。如屬運動員，譬如欲盡力從事於二百碼決賽，則必須於出發前，完全自其因上次努力而造成之狀態恢復，否則其身體及肌肉中，尚有乳酸流動而未經貯藏，當此項乳酸再發生效力時，即足使疲勞之來襲較速。圖三十九中之曲線示短時期之劇烈肌肉工作後，恢復程序中各階段所需之時間。圖中以百分之一百代表完全恢復，而恢復中之各階段，則視為完全恢復之子數。如言其人『已恢復百分之八十』，意即謂此人已用去其全部恢復



自短時間劇烈運動後三不同之人恢復原狀之曲線及其平均曲線。圖中垂直線示恢復之程度(以完全恢復為百分之一百)，平行線則示自運動終止時起之時間。

所需氧氣之百分之八十。自化學方面言之，則當運動完畢時，有乳酸若干，存留於其肌肉及身體中，而在恢復程序終了時，此項乳酸復已完全消滅。在『已恢復百分之八十時』，此項乳酸之百分之八十已經消滅，止餘百分之二十存留。由圖中觀之，三受測驗者H、C及S，頗有互相差別處，三人均極康健。日係一野外長跑家，年方二十四；C年三十五，曾充正役兵；S爲一有力之少年，極長游泳。受測驗時，三人所爲之運動係『不移動的跑步』(standing running)，歷時三十秒或一分鐘。S於三人中，一望而知其最爲有力而最長運動者，其恢復亦顯然較其他二人爲速。C雖亦健康，然以年齡較高而戶外運動之機會亦較其他二人爲少，故其恢復於三人中爲最遲。此三人之身體俱屬普通而健康，苟一方面施此種試驗於最優良之運動家，而另一方面則施之於年老者，衰弱者，或患有疾病者，所得結果之差異，自必較圖中所示者更爲鉅大。故人體對於肌肉運動之能力，其差別實根據（無論如何，至少至某一程度而止）其恢復完成之速率。當作繼續長久之運動時，恢復程序實無時不在進行中，而吾人祇能當恢復程序能與因努力之結果而發生之分化程序並行時，長時間繼續一種運動至某種程度而止。

自圖三十九之曲線中，可演繹而得數種實際上之結論，惟此種結論，祇可以嚴格之意義視爲祇關於所言種類之運動，卽歷時半分鐘或一分鐘之短時間劇烈運動而止。在尋常人中，此類運動後之恢復程序，於二十分鐘內顯然可以完成。恢復程序之百分之九十，平均發生於七分鐘內，而在受測驗者S體中，則需時祇三分半鐘。故當佈置運動會時，苟其中包括百碼及二百二十碼賽跑之預賽，半決賽及決賽，則如能令各項預賽間之時間，相距在二十分鐘以上，卽可使參加者得有充分時間以完全恢復其體力。從事工業工作者，間亦需要劇烈之努力，兩三分鐘之休息，即然可使工作者之身體恢復至某種程度，而當其再開始工作時較易奮力。在此等工作中，不適當之長時間休息，不過浪費光陰而已。恢復程序之大部份，在二三分鐘內卽已完成，況工人稀有極其全力以從事者，故不必候至其已絕對恢復時方再開始從事工作也。

著者今當再言以何法測量肌肉所成之工作及其所耗之能力。在機械學中「工作」(work)二字具有完全確定之意義。苟加力F於人身，而在與力並行之方向中，移動此人身達X距離之遙，則所成工作等於FX。在人體肌肉中，此種工作，可以許多方法計算之。譬如使人登山或登樓而求得

(一) 其人使其自身升起之高度及 (二) 其身體之重量。高度及體重相乘之積，即爲其所成之工作。苟人體重爲一百六十磅，而登一百英尺高之樓梯，其所成工作即等於一萬六千尺磅之工作；如所費時間爲一分鐘，則其所用之力約等於半個馬力，蓋每一馬力每分鐘之工作，等於三萬三千尺磅也。梯或山之傾斜度如何，並無關係，苟其升起自身之高度同，則所成之工作亦相等。肌肉努力所成之工作，在許多情形中，不能如此之易於計算。譬如於平地上步行，則就較狹之意義言之，並未完成有何外界之工作。雖其人亦曾努力，且曾耗去若干能量以加速或遏制其肢體，然凡此皆爲體中摩擦所消耗，除勝過空氣所加之小阻力外，並未完成外界任何工作。當比較簡單之動作如步行時，欲決定腿部肌肉所費去之機械能力爲若干，必須用極繁複之計算方法。在此等運動中，計算其所費去能力之唯一實際方法，爲測量其所用之氧氣。

欲在試驗室中作此等試驗，則用一種機器，可使受測驗者完成工作而無須移動其身體者，最爲適合。苟不必確知其工作若干，則『不移動的跑步』即迅捷之跳躍動作而不使身體移向前後者，實爲一種極簡單之運動方式。如欲知究有幾何實際工作完成，『不移動的跑步』即不適用，蓋

其能量均消耗於體內而成熱，絕不發生任何外界之機械工作也。故最簡單之方法，爲用如附圖十六丙所示之腳踏車工作測量器。在此器中，有腳踏車架裝置於木座上，其後輪則易以飛輪，飛輪沿邊有布帶緣之以爲制動機，其兩端咸連續於彈簧衡器上。圖中所示工作測量器，爲里斯德學院 Lister Institute 馬丁博士所計劃。其他各種腳踏車工作測量器，種類頗多，此爲其最簡單而最經濟者，然其效用則絕不較遜於其他任何一種。飛輪上布帶之摩擦力，可以布帶之收緊及放鬆以調節之，而其抵抗飛輪之力，則可用彈簧衡器以量之。苟飛輪之邊，轉動一百英尺，彈簧量器上所示摩擦力爲五磅，則可確定其所完成之工作爲五百尺磅。又測驗者坐於車鞍上，依節度機或時鐘所示之固定速率而轉動，飛輪轉動之次數，則以轉動計數器如尋常之裝置於腳踏車前輪者以示之；已知飛輪之直徑及其轉動之次數，則輪邊所經過之距離即可計算而得，所得之數與彈簧衡器上所示之力量相乘，其積卽爲所完成之工作量。於記錄其工作時，同時可以收集受測驗者所呼出之空氣於袋中，因而可測量其所費氧氣之量。

在試驗室中，測量吾人工作之法，尚有多種，或有用踏車者，爲之者令受測驗人於瓦輪中繼續

向上行，而輪則以固定之速度旋轉。或用移動月臺其理亦同（附圖十六乙，其形頗似地下鐵道之活動梯。）受測驗者步行其上，其速率則以臺之速率定之。此種月臺，平常大都不甚長，當其移動頗速時（譬如其速率為每小時十二英里，）馳行其上，實為一種足以使人興奮之工作。苟受測驗者進行稍緩，即有因背部受刮而離去之虞，因有此種恐怖在其後，故受測驗者均竭力追隨。如用此法，且可鼓動空氣以加風於受測驗者之身使不覺熱，而其友人則可坐於其側而作記錄。

吾人苟欲比較人體所完成之工作及其實際上所消耗之能量，則二者俱須以同樣單位表示之。一卡路里 *calorie* 之熱其定義為足使一克蘭 *gram* 之水熱度上升攝氏一度之能，或等於舉起一公斤（*kg*）至四二·四公分高度之工作，可以下列公式表示之：

$$1 \text{ 卡路里 (calorie)} = 0.424 \text{ 公斤公尺 (kilogrammeter)} = 3.06 \text{ 尺磅 (ft. lbs.)}$$

吾人已能知食物所含之能力。在試驗室中已有準確之測量，尋常恆以大卡路里 (*Big Calorie* 或 *calorie*) 計之。一大卡路里即為使一公斤之水熱度升高攝氏一度之熱，亦即等於四二四公斤公尺或三〇六〇尺磅。在日常生活，每人所需之能量，已有極準確之計算，普通之人其工作

不過於艱重者，每日當於其所進食物中獲得三千五百大卡路里。工作較重之人則所需亦多。人之實屬努力工作者，每日自六千至八千或竟一萬大卡路里，殊非不可能之量。今當考慮計算此項能量之法，及須由若干食物供給之。

食物爲三種主要物質所成：蛋白質，脂肪及碳水化合物是也。當此等物質在人體中發生氧化作用時，蛋白質及碳水化合物所釋出之能量，約略相等，每一克大約在四大卡路里左右。脂肪之效力較高，當起氧化作用時，每一克能釋出九大卡路里之多，一磅脂肪於燃燒所釋出之能量，苟以百分二十五之效率應用之，足以舉起體重一百四十磅之人至二萬二千英尺之高。三千五百大卡路里，可於含有下列重量之食物中得之：蛋白質一百克（三·五英兩 (oz)）、脂肪一百克，及糖或澱粉五百五十克。故人所消耗之能量，可自其所進食物計算之，但吾人須知其全部確已被吸收耳。然此法祇可用之於長時期中，而當此時期吾人須確知其人之體重未有變易，並未將食物之一部儲藏體中，且未用前所儲藏之食物以供給其工作之能。苟欲知人於尋常工作時間中所消耗之能量幾何，則唯一實用之法爲測量其所費去之氧氣。吾人亦可直接置受測驗者於量熱器 calorimeter 中。

而直接測驗之。在此器中，人體所發生之熱，所消耗之氧氣，及所釋出之乳酸，均可測量而知。受測驗者臥於其中之牀上，並可以一架，一電話，一扇，及光線供給之。此等測驗可以證實人及其他動物體中『能之保存』(conservation of energy)，蓋能之化為熱者與其食物燃燒時所釋出者適相吻合也。但此法極為繁瑣，所用儀器甚多，而受測驗者所處狀態亦頗不自然，故平常殊不合用，吾人所採用之法為測量其氧氣之消費。

人體所費之能，可自其所消費之氧氣以極簡單方法計算而得。一公升之氧氣，苟用於任何尋常食物之燃燒，大約可以發生五大卡路里之能。非特此也，每費去一公升氧氣，即為有一·三五克之糖質已曾燃燒之表示。二八·四克 grams = 一英兩 ounce。故如已知人體中氧氣之消費，則極易知燃料（假定其為糖質）之已經氧化者為若干，及因氧化而釋出之能量。下列數則，均此種測量之頗具興趣者也。

今先考慮人當完全靜止時，所需氧氣，能力及食物為幾何。在靜止中，其體中仍有各種活動進行——如心臟之跳動，呼吸之出入，肌肉之協調狀態及各種在進行中之化學程序，凡此均包含熱

之釋出者也。在普通康健狀態中，其人因此等活動而所需之氧氣，每分鐘約四分之一公升，每小時約十五公升，每日約三百六十公升。故當靜止時，人體釋出之熱，每日約一千八百大卡路里左右，較之從事於尋常工作（多少屬於坐而為之者）之人所需要者，約祇其半而已。苟其人不失去所生之熱，則足以使其體溫於一日間升高二十五度；實際上則熱當造成後，立即消失，故其體溫常為固定。縱使體中之熱，全不消失，然在靜止狀態中之人，亦須一小時方能使其體溫上升一度。靜止時人體中氧氣消費量測定之法，可於附圖十四中見之。

人當完全靜止時，平臥而於受測驗前多時（約十二小時）不進食物，其每分鐘之氧氣消費率，謂之基本代謝機能（*basal metabolism*）。基本代謝機能已在醫學及生理學中受廣遍之研究。在尋常人中此種機能頗為固定而與人體表面之全部面積成比例。然在一種特殊狀況，謂之甲狀腺膨脹（*hyper-thyroidism*）者之下，則人體中之新陳代謝因其頸部甲狀腺（*thyroid gland*）活動之過度而大為增進。人體之安康及舉止，有恃乎數種腺之適當作用，此種之腺以其分泌物注入血液，由是而影響及於人體之各部。腺所造成之物質，在其目的上及用途上，實為藥品，且效力異

常偉大，故其量雖小至於幾令人不能置信，而所發生之效果頗鉅，對於其人具有智力、體力，或竟道德上之力量。近年來關於人體內腺之發現，或屬言之太過，因而感情用事之流遂以為吾人之行為，甚至民族之歷史及進化，無不惟腺是恃。重大之發見，最初未免過事誇張，然吾人固不當因其言之荒誕不經而不加注意於此種腺所能發生之實在力量也。著者前已言及其一端，即注入副腎素於血液之腎上腺是也。甲狀腺亦此類之一，但所造成之物質則與副腎素大相逕庭耳。苟小兒體中之甲狀腺失其效用，則小兒不能循正軌而發育，其骨骼不克長成，其人必矮小而痴呆，吾人謂之患痴呆症者 *cretin*。成人體中不具甲狀腺，則或足使其人患面目痴呆言語遲鈍、心智模糊之症，脈搏遲緩，皮膚寒冷，皮下之組織變厚而膨脹，其理智能力亦成遲鈍。反之而甲狀腺活動太過，則心臟動作變速，皮膚充血，肌肉消瘦，易於驚起，不能靜坐，間或雙目外突，而體中之基本代謝機能大為增進。（最後一則為著者於此提及甲狀腺之原因）苟人之基本代謝機能較之吾人就其體格所預期者高出自百分之三十至五十，則可以斷定其甲狀腺必為活動太過。

甲狀腺之功用及其逐漸之發現，為科學上奇事之一。人或其他動物之不具甲狀腺者，或經除

去者，往往發生不良之效果，吾人知之，已歷年數，然此腺用以活動之原質之本身則發見尙未久也。此項原質，即吾人所謂甲狀腺分泌 thyroxin 之一種物質也。此種物質最初由根德爾氏 Kendall 在美國米納蘇太州洛乞斯脫地方之馬育學院 Mayo Foundation at Rochester, Minnesota 中，自死動物之腺製成。其性質含含有人體內各種原質外且有碘質，故頗覺奇特。此爲效力偉大可驚之藥品，歷年來化學家已努求知其確定之化學上性質及在試驗室中以人力造成之法。在今日則其發見已經全部完成。哈林敦博士 Dr. Hamilton 於其在大學病院之醫學院 Medical School of University College Hospital 工作時先描寫自此種物質所得不含碘之得來物 iodine free derivation，後與愛丁堡之巴傑教授 Prof. Barger of Edinburgh 同製成此種完全之物質含有碘及其他各種原素者。同時美國大金博士 Dr. Dakin 亦獨立研究成功。雖關於甲狀腺之一切，有待乎發見者尙多，然此種物質之發見，實爲以生物化學征服自然界之一大進步也。

今當再歸正文而討探所論之主題。吾人於事前先宜注意，當測定任何指定工作所耗能量時，

須知在此工作之進程序及其恢復中，所用氧氣之一部，非由於工作而實由其休息時之新陳代謝，此無法可以避免者也。吾人苟欲知工作時所消費之氧氣，先當求得運動時所耗氧氣之全量，然後再由此減去休息時一切程序所費之氧氣量。欲避免休息時能之釋出，爲不可能之事。蓋其他一切皆疊加於其上者也。工作時氧氣之消費已經測定，然後減去休息時一切程序所用之氧氣量，即得工作自身所耗之氧氣量。

試考慮一英里之步行。著者本人於靜立時，每分鐘所用氧氣爲○·三五公升，當以每小時三英里半之速率步行時，則每分鐘所需氧氣爲一·○六公升，故步行本身之氧氣消耗率爲每分鐘○·七一公升，步行一英里則其總額約十二公升。與此相符合之能量約爲六十大卡路里，足以使體溫上升約及一度。故以適中之速度步行，縱熱之消失者極微亦須經過若干時方覺溫暖。苟用以供給能力之食物爲糖質，則此種程序所消耗者約需十六克（計半英兩有餘。）以每小時三英里半計，身體健康之人每日當能行三十英里，而對於此種運動曾受訓練者，尚可增加。再以糖質或澱粉計其消費，則步行三十英里當用適及一磅以上之燃料。在實際上，於此種步行時，所燃燒之物質，

其一部份當然爲脂肪，脂肪所具能力價值較高，故步行三十英里所需食物之全部，如以不含水份者計之，尚不足一磅。尋常食物之成份，以水居多，水無能力上之價值，故惟食物除去水份後之重量方有關係耳。

再考慮如加減步行之速率，將有何者發生。假定著者以極低之速率（每小時二英里）步行一英里。其氧氣之消費，每分鐘約祇 $0 \cdot 55$ 公升，較之休息時之氧氣消費祇超過 $0 \cdot 2$ 公升。照此計算，則步行一英里所需氧氣不過六公升（約一加侖又三分之一）而已。此種程序，頗較經濟，蓋所吸收之氧氣及所燃燒之燃料約祇當以尋常速率步行時之半也。苟反之而以高速率（每小時五英里）步行，則每分鐘所耗氧氣爲 $2 \cdot 25$ 公升，較靜立時所需，超過 $1 \cdot 9$ 公升。步行一英里所消耗之氧氣約二十三公升，所費能量爲一百十五大卡路里，足使體溫上升幾及攝氏兩度（故行速者必覺更熱），燃料之經燃燒者，苟以糖質計，約爲三十一克或一·一英兩。如於三小時中步行十五英里（倘爲可能）則須糖質約一磅以供給其必需之能力。由此可知速行較之緩行，其所耗氧氣及能力實較多甚遠；速行雖省時間，但費能力，而吾人行動之速率，則大概由此兩項原

素之相對平衡以決定之。

以三種不同速率步行一英里所費之能量、氧氣、及食物（以糖質計算）表

速率（每小時英里數）	2	3½	5
能量（大卡路里）	30	60	115
熱度上升度數（攝氏）	½	1	2
氧氣（以公升計）	6	12	23
食物（以克爾計）	8	16	31
食物（以盎司計）	¼	½	1

附註 熱度上升度數，係假定當步行時，所生之熱，全不消失計算其結果示吾人何以行速而表厚，則其人必覺甚熱。

當行動極速時，心臟、肺部及血液或不能應付肌肉對於氧氣之需要。然苟測量當運動時及其過後所耗之氧氣，則吾人可知任何特殊工作所需之氧氣為若干。今日考慮以最高速度疾馳之情形。良好之『短跑家』竭其全力以奔馳一百二十碼之遙，則當運動時及其恢復程序中，約共需氧

氣七公升。故當以每小時三英里半之速率步行時，十二公升之氧氣足敷一英里之需，而於竭全力奔馳時，祇足供二百碼之用。半小時步行一英里，所需氧氣爲六公升與十秒鐘行一百碼所需氧氣量同。由此可知高速度之消耗甚大。反之，如以較低之速度奔馳則頗爲經濟。譬如以八分或九分鐘奔馳一英里（或祇可謂之爲疾走，蓋此種速率尙不足稱之爲奔馳也），其所需氧氣（就著者本身而言）祇等於以十二分鐘步行一英里而已。故如急欲趕乘火車，則奔赴之實爲較經濟之法（且定較舒適）。不久以前吾人曾研究一長於奔馳者，在六分鐘內疾馳一英里（速率等於每小時十英里），所耗氧氣，不過二十公升。苟著者以十二分鐘步行一英里，所需氧氣尙當較多於此。並曾研究一不善奔馳者，其人固不能於六分鐘內馳行一英里，苟假定能之，則其所耗氧氣將達五十四公升之鉅。故可知吾人對於氧氣之消費，大有經濟與否之別。於決定人之能長於奔馳（或任何其他工作）與否時，其最重要者之一端卽爲其從事於此時之節約。若所費之能力多，則必覺困乏，所用少則能歷久而不疲。

著者對於奔馳，言之不憚其詳。蓋此爲易於研究之事，而人當奔馳時一切舉動俱可測量而知。

也。在奔馳之能力方面，各人相差頗多，將於末一講中詳論之。凡施之於測驗奔馳之方法及計算，均可用之於其他各種之努力，游泳者可以皮帶使與橡皮袋相連，而以小舟之駛行其前者備其袋，即可測量其氧氣消費率（附圖十五甲）。走上樓梯更易測驗；如受測驗者在向下移動之梯上向上行俾其身體常留於同一地點，則可佈置儀器於受測驗者身旁而測驗之，其事更易。以小車推運磚石所耗之能量，已有加以測驗者（附圖十七甲）；而欲計算礦工在煤層工作時所費氧氣雖不甚便利，然絕非不可能者也。凡溜冰、滑雪、登高、乘自由車、行軍，甚之推動機器腳踏車上山時所用氧氣，俱已由測驗而斷定。肌肉性之運動及工作，幾無有不可以此法研究之者。近年以來，由此類試驗所獲得對於人體一切程序之智識，實屬不尠。預期此後所知定將更多。

此種對於氧氣消費之試驗，非但可以施之於人體；即其他各種動物，蟲類，甚之水中之魚，其能量及氧氣之消耗均可以測驗而知之，但所用方法頗不相同耳。譬如附圖十七丙所示玻璃罩中之螻蛄，其所用氧氣可以附圖十七乙所示之儀器測量之。苟此蟲不能獲得氧氣，則發生乳酸，其體中「氧氣債」之積聚亦與人同，且亦須燃燒糖質或脂肪以供給其所需之能量，運動愈甚則所需之

能亦愈多。數種奇異之生物可用以研究一種生物所同具之功用（譬如呼吸）而研究所得之結果，往往對於人體內一種程序之了解，大有裨益。因某種特殊原因（如受研究之生物所具有之特點）或可解決一種疑點。此種疑點在人體及較高等動物中，則爲極難明瞭者也。生命之程序，在各種生物中，根本原相類似，生命之起點並不由於無數不相同之程序或用無數不相同之方法，而大概基於一主要之泉源：雖各種生物之外表形式或大相逕庭，而其內部佈置亦極爲不齊，然基本程序如氧化作用，能量之釋出，及食物之利用，則雖細則上似乎不同，其實大致無別，故吾人往往能因研究如附圖十七內所示之微細生物，而獲得極有價值之智識。

（註一）除用水力者外。

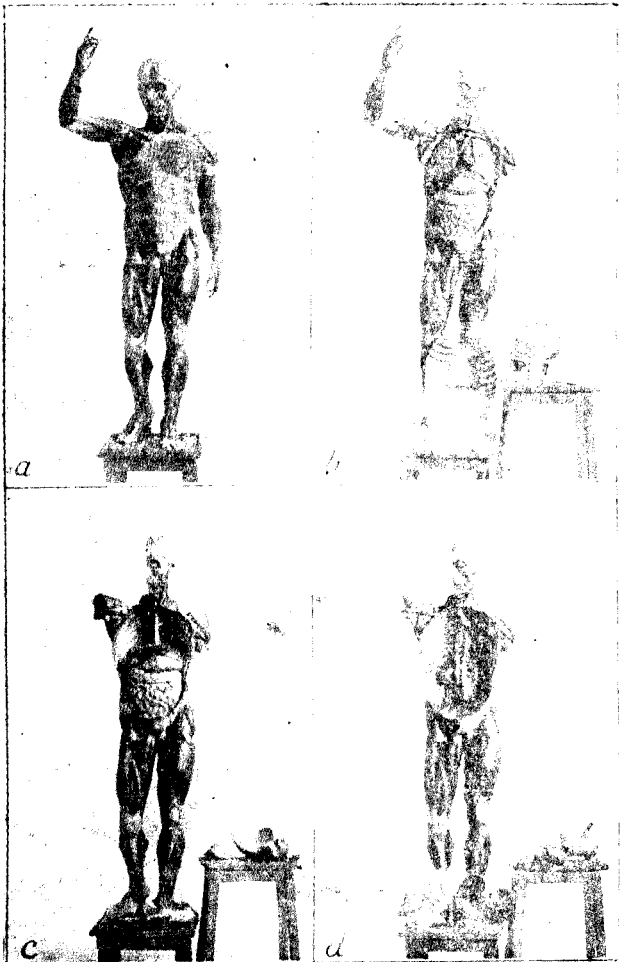
（註二）蟹及龍蝦之血液中所含物質，謂之 haemerythrin，爲以一個原子之銅質爲中心而造成之色素，當與氧氣化合時其色青，而於放棄氧氣後則成無色。

（註三）在牛津與劍橋兩大學划艇競賽中，有人於八槳艇中划行而在全程中所發生之馬力，在半匹以上。

（註四）倘所釋出之分子較多，則將發生滲透壓力 osmotic pressure 之上升而使液質自血液流入纖維，致纖維因之腫脹。

附 圖 十 三

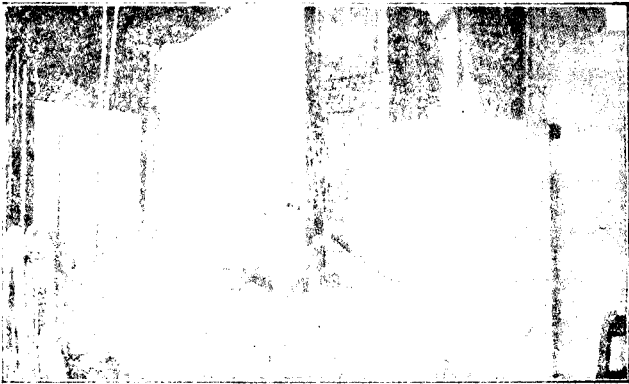
第四講 肺與血液 肌肉獲得空氣及燃料之方法



人體模型
 a. 全體。
 b. 除去其頭部之半，一臂及身體之前部。
 c. 除去其心及肺。
 d. 除去其胃，橫膜，肝，脾，及腎。



甲。湖區人當動器時之氣流消法。



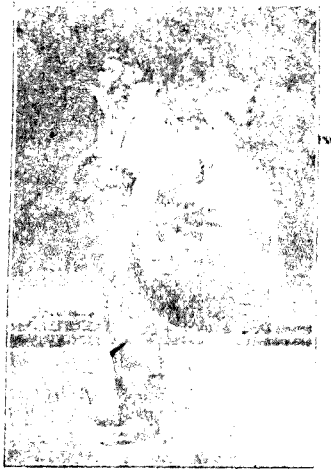
乙。交管氣消法。

附 圖 十 五

第四講 肺與血液 肌肉獲得空氣及燃料之方法



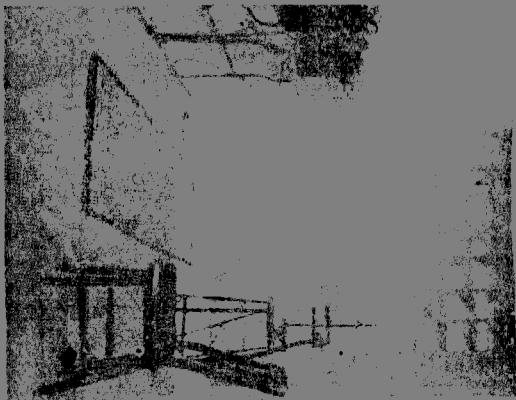
甲. 測量肺中耗用之氧氣所使用儀器。



乙. 測量少許時之氧氣所使用儀器。



甲。測肺之活動量。使肺計於零點。受測者盡力吸氣，然後呼出（不可太速）之而使肺計量氣量。行之數次後，其最高度數，即為其確值。



乙。國立醫學院 National Institute of Medical Research 中之移動月臺。



丙。自由中之測量器，一受測驗正在轉動之。

附 圖 十 七

第四講 肺與血液 肌肉獲得空氣及燃料之方法



甲. 人當運動時之氧氣消費量試驗。由此方法可以測定其最
適宜之速度，及最適宜之重量(即運輸每時一方所費之能
量，為可能範圍中之最少者)。



乙. 測量極小動物，蟲類，其具
有生命之小片組織之儀器



丙. 螻螂正於玻璃中，其氧
氣消費方受測驗。

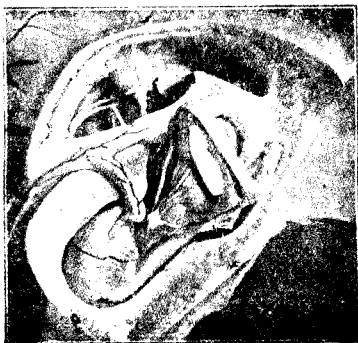
附 圖 十 八



甲。當加電震於額上時，電流之一部經過眼球後方之網膜而刺激視神經纖維之靈敏終點，此種終點發出消息至於腦，而腦則以之爲「光」，而受測驗者則見『有閃爍』。



乙。肌肉後。



丙。耳之模型，及其中半圓形之溝狀物三，爲示吾人關於人體旋轉時一切者。

第五講 神經與肌肉之合作

在第一講中，著者已言及循神經而來之消息，示吾人以身體內外所發生之一切者。今當討論發動此種消息之微妙機關（即吾人稱之爲知覺器官 *sense organs* 者）。此種器官有極明顯者。如吾人之目實一攝影機，其前部具有透鏡及隔層，而居攝影機中底版之地位者則爲網膜，網膜爲一層靈敏之知覺器官所成，每一器官，有神經纖維與之相連接以通於腦。當光線射於此種器官之一時，則此器官即循與相連接之神經纖維而發出消息。如有光景射於網膜，吾人所得印像，即爲網膜中全部器官循其神經纖維而發出之消息所組成。此種消息，經腦加以併合，遂成景像。然能使此種消息發動者，非僅光線而已，可以簡單之試驗證明之。苟置一電極於額上，而使頭部受連續之電震，當電流波及眼球網膜，則每次電震之來，吾人即覺見有閃光（附圖十八甲）。實際上並無光線閃耀，惟網膜中之神經終點器官因受得刺激故，循其纖維以發出消息而達於腦，由是而腦獲得光

線之印像。吾人頭部及眼球受重大撞擊時，則目中『金星亂迸』其理亦與此同。網膜因受刺激而發出消息以達於腦，而腦對於此種消息之解釋，則舍視爲光線外，更無他途。由此可知吾人之五官，實頗易受欺者也。

吾人之耳爲神經終點器官之另一顯例。耳中收集空氣之振動（即吾人所謂聲音）者爲耳鼓，耳鼓之後有膜，海姆霍茲氏 Helmholtz 所稱，此膜爲實一組具有調子之收音器，每一收音器與空氣之某種特殊震動率相符合。單純之音調祇能使此種收音器之一，或極少數，發生顫動。由各種高下不同音調所成之複音（即空氣之震動率不同者），則可使許多此種具有調子之微妙收音器作顫動，吾人卽由是而得消息以達於腦，腦則加以解釋而辨別其爲聲音或言語。在視覺與聽覺中，其所發消息之本身，二者本無差異；其唯一分別，爲所自來之途徑不同，故吾人覺其爲互異。譬如小販由後戶進而賓客則自大門入，來處雖不同，其同爲人則一也。

收取其他各種消息之機關，可稱爲人體中微妙之『接收器』Receiver 者，種類頗多。口鼻內黏膜之表面有許多接收器，其功用爲給與吾人以味及嗅之感覺，故佈於皮膚者則爲用以感受冷、

熱、痛苦及接觸之接收器。每種感覺，無不具有其特殊之接收器，故能感覺熱之器官不能感覺光線與接觸；使吾人感覺寒冷者，不能對聲音及痛苦作反應。吾人尋常之感覺成爲各種成份之混合物。吾人對於所進食物之味覺，由各種不同之味及嗅所成，而音樂則爲各種不同之聲音所成。

著者於第一講中，尙曾言及其他各種接收器之分佈於人體內部者，其地位雖不甚顯然，但對於吾人之安康則與外部者同爲重要。在肌肉中有肌肉梭 *muscle spindle*（見附圖十八乙）爲一或一以上處於鞘中之肌肉纖維所成。有一或一以上之神經纖維穿透其鞘而達於內，繞肌肉纖維作螺旋形，其終點則在表面上呈球狀。當肌肉收縮，即有消息由此等神經纖維發動而向神經系進行，與吾人以『肌肉感覺』 *muscle sense*。肌肉梭能示吾人以肌肉中所發生之一切——究竟肌肉是否係在收縮中或緊張中，及其所用之力量。肌肉之腱中及人體關節中，均有其他接收器示吾人以有何者發生。圖四十示肌肉腱中之神經終點神經纖維分枝而在腱之表面上成『樹狀構造』 *Arborescentia*。當肌肉扯動，則覺感緊張而消息即循神經纖維以進行至於神經系。連續於吾人之耳者，尙有一種微妙而靈敏之機械作用，雖與聽覺毫不相關，然其功用足以示吾人在

空間之地位，及身體上升之適當與否，且與人體之平勻及生理學者所謂『姿勢』有關。附圖十八內爲耳之模型，其中有半圓形之溝狀物三。爲示吾人關於身體旋轉時一切之器官。此種溝狀物（每耳有三具）之位置，係在互成直角形之平面中，其內部爲淋巴液（*lymph*）所充滿，一端則有神經終點。當頭部突然四轉動，此三溝狀物中之淋巴液必有其一遲留居後而加壓力於其中之神經終點，由此使吾人知有何者發生。苟頭部繼續轉動，淋巴液亦遂與之俱動而不再加壓力於神經終點；但如旋轉突然停止，則因淋巴液仍在移動中，故吾人所得印像，若已向相反之方向而轉動然。

吾人何由而知壓於皮膚上之物其重如何？一種聲音爲如何之高？一種光線，爲如何之亮？吾人手中所執之重物，其重幾何？所觸之物，其冷如何？用以洗滌之水，其熱如何？凡此或均極簡單之問題，

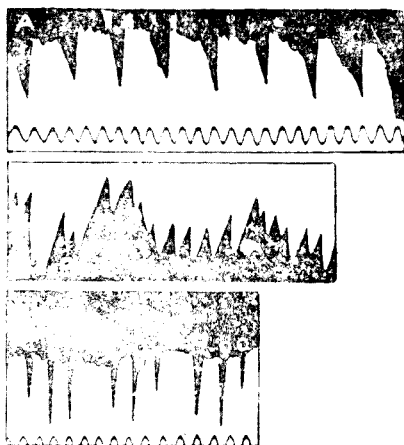


肌肉中之神經終點。根據
 Flack and Hill, After
 Huier and Le Witt)

然歷年來頗覺其難於答覆。所以困難者在此：神經中所傳達之消息，可以稱之爲『全部或全無』——消息或經傳達，或則否，如未經傳達則已，如經傳達，則與使之發動之刺激物完全無涉。神經發出其消息，性質實與步槍放射子彈同：子彈不爆發則已，如經爆發，則其力量不能因緊扯槍之扳機而使有變動。故神經所傳消息，其大小既祇一種，然吾人自神經終點器官所得之感覺，大有強弱之別——此不容懷疑之事實也。對於此點，劍橋大學亞德令博士 Dr. Adrian 於最近已曾答復之。

亞氏於其試驗中，用放大管一組以放大當神經纖維傳達消息時循之而經過之電波。加以二千倍之擴大後，此種電波極易視察。所用儀器甚爲靈敏，甚之在神經中一單獨纖維內經過之消息，亦可以攝影底版記錄之。所用者爲蛙體之小肌肉名 *sternocutaneous* 者，其中之神經終點器官，能因肌肉受扯動而發生感應者，爲數頗少。割去肌肉之數片，即可使其中祇餘一枚神經終點器官存留。此渺小之器官，仍與其神經纖維及包含此纖維之神經相連續，而此神經之全部，則接之於銀製之電線，以導出當肌肉緊張時所發生之電流。電流則由放大管放大之，而於暗室中以一移動之攝影底版加以記錄（圖四十一）。當肌肉受輕微扯動時，循神經而來之波浪，次數尙少，用力扯之，

圖 四 十 一



蛙體中sterno-cutaneous肌肉內感覺器官所呈反應之記錄。電的變化已為其三個真空管之放大器所放大(一千六百五十倍)。

(A) 一個器官之反應：自懸三克重之物於肌肉而每分鐘發生反應三十五次。(B) 數個器官之同時反應。(C) 兩個器官之反應，其一為aaa……其一則為bbb……。(根據 Adrian and Zotterman)

則所傳消息亦較多。其消息均屬相同，惟扯之愈力則經過神經之消息愈多。此種試驗已曾以許多方法為之，且已施之於動物體中不相同之各部。無論何物，凡足以興奮此種靈敏神經終點器官之一，而使有消息循其纖維經過者(苟受試驗之動物尚屬生存，則此種消息即足以造成感覺)，今已知苟其興奮之原因愈大，則結果所發生之消息次數亦愈多。前項問題，於是遂已獲得答復。一切之

物，吾人苟覺其爲更重，更熱，或聲音更高，或光線更亮，咸因其在傳達此種感覺至於腦部之神經纖維中，每秒鐘所發生之消息亦較多之故。較強之刺激物有時且或可使較多數之神經纖維發出消息，譬如其散佈之面積較廣，即可使受刺激之終點器官較多。然縱活動之神經纖維爲數相同，但如造成感覺之物已經更易，則其感覺亦必更易，祇須改變每秒鐘循神經纖維而向神經系進行之消息次數可矣。吾人之神經系中無時不爲消息所充塞，此等消息均能覓得其適當之途徑，且因其發生之次數不同，其強度亦或有等差，故均能作適當之感應。

於答覆此等消息時，有何者發生？其一當然爲使吾人知覺對於自身內外所發生之一切；此種消息能使吾人之意識部份斷定是否須有任何舉動，若然，則究以何法爲之。然其所成就者，殊不僅此而已。傳達至於消防隊之消息，不僅祇爲消息——且實爲命令。吾人所以告知消防隊在某處有火災者，並非但因意謂是使消防隊中人發生興趣而已。隊中人立即出發前來從事工作：一單獨之消息足以發動一組極繁複之感應。人體中亦然。一切傳來之消息，不僅足使吾人發生興趣，而於其時則可開坐局外以讚美在進行中之一切。每一消息，以專斷之態度，喚起某種相當之答覆；且使某

種相當之命令，經傳達而至肌肉，實際上吾人並不完全休息；吾人之肌肉，常在協調狀態中而不十分鬆弛，蓋肌肉尚須支撐吾人之肢體，維持支吾人之姿勢，及保持適當之地位也。故實常在「準備狀態」中，如消防隊之備有意外，一遇事故發生，肌肉立即自動工作以補救之。當有蠅集於面，則揮手以驅之，座上有針，則頓時復行起立，偶有蹉跌，則努力以求自保，凡此種種，其完成咸在未經思索之前。其完成之道若何？傳來之消息潮流，經分類後佈列於神經系中者，此種動作即為其感應。當步行時，吾人並不以意識決定下一步，且不指示一切詳情。在每一動作時，有消息傳來，示吾人以此動作之是否適當，且告知吾人所處之地位及肢體與肌肉所用之力量；於是再有消息傳出以答覆之，以管理及調節肌肉內之動作，或略加改變之，務使其極為適合而後已。

肌肉動作所佔時間似為甚短，然舍極簡單之動作外，其時間之長度，足以容許多事情發生。苟有人駕帆船自此至彼，決不一時即決定其進行之途徑而固定裝置其舵缸；在旅程之全部中，其人須時時注意風波及潮汐，且對於帆及舵作輕微之安排。苟受狂風巨浪之衝擊而致越出其路線，則須設法回復之，對於船內及船外之一切情狀，須有繼續不絕之適當佈置。船之帆及舵互相有關，二

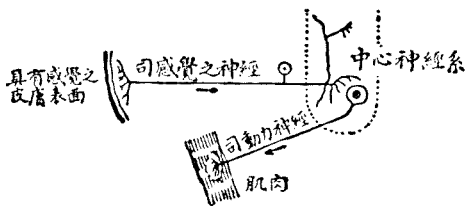
者之一苟其地位上有變更，則其他之一亦必變更其地位以應之。每一肌肉動作中，身體各部亦具有同樣之作用及相互作用，對於每一外界或內部之情狀起反應，而肌肉自身亦互相感應。在神經系病症中，其『輸入神經路線』“afferent neurones”，即傳達消息至內部之路線，間有受影響者，則平時使神經系獲知肢體及肌肉中一切事物之衝動不復能達到。患者如尙能張目，仍可有動作發生，及保持其姿勢，但其動作虛浮而痠癢，且不能互相連絡。如患者閉其目，身體必作劇烈之搖動而有傾跌之虞。對於動作上之技能及準確，則向內及向外一切消息之作用及相互作用。實最爲主要者也。

向外行之消息即答覆向內行之消息者，二者完全相同。向外行之消息亦爲『全部或全無』亦以高速度經過，惟循輸出神經路線 efferent neurones 而不由輸入神經路線，其途徑不同而已。且亦可以同樣方法探測之，即記錄其經過時與之俱來之電的變化是也。大概每分鐘有此等消息數百達於肌肉，當需要肌肉作更有力之收縮時，則消息由較多之神經纖維來，而較多之肌肉纖維呈反應。使肌肉之反應具有等差，其唯一方法爲調節其中受到刺激之肌肉纖維之數。至於感覺，

則可以調節其次數而使有等差，然在向外行之消息中則此爲不可能；肌肉纖維對於每秒鐘三十次至四十次之衝動，能呈充份之感應，苟衝動之次數低於此則其收縮不復均勻而作震顫狀。吾人如欲用較大或較小之力量，其唯一方法爲於運用此力量之肌肉中，使較多或較少之纖維受刺激。

各種內行消息及外行命令之相互作用，謂之『反射作用』“Reflex”。其字義中含有達到神經系之消息作反射或折回之意。圖四十二爲最簡單反射作用之圖。有消息循感覺神經來，使動力神經受刺激而作反應，而此反應則使適當之肌肉收縮。此項消息至少須經過交換所（或接線所）二三處然後出發而向外；在複雜之反射作用中，所經過之交換所甚多。此種交換所且發出信息以達神經系較高之各部，俾此動物（或人）獲知有何者發生；而其自身之活動亦爲由較高各部而來之消息所變更。

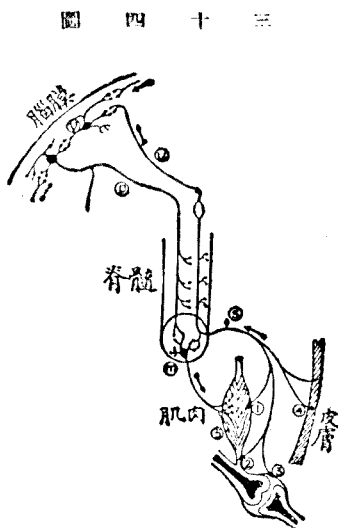
圖 四 十 二



最簡單之反射作用圖。

反射作用之種類甚多，自最簡單之腱之急引起，以至最繁複之成組動作，爲吾人由本能及訓練所學得，而能於不自覺中爲之者。使人作坐狀而加一股於其另一股上。當連接脛骨 tibia 及膝蓋骨 patella 之腱受輕敲時，卽有衝動出發而達神經系，在神經系中，經過可能範圍內最簡單之交換系統系而由反射回出，於是股之伸肌 extensor muscle 遂造成一極速之蹴踢。此項反射作用，所佔時間甚短，僅足容消息上達脊髓，在脊髓中經過極少數之神經細胞然後回而刺激肌肉。且完全在吾人支配之外：非至動作業已完成後，絕不能覺。此爲反射作用最簡單之一式；其他較爲繁複者亦有造成，則所關涉之肌肉及肢體較多，如犬之『搔癢反射作用』 scratch reflex 及在飢餓中之動物當目睹或嗅得食品時，其口津之分泌及胃臟之動作皆是也。長於乘自由車者，能知反射作用可加以訓練，當有精於此道者乘車過路上光滑處時，偶有將致滑跌之情形則乘車者往往能於尙未知覺之前，作適當之姿態以免之，然祇於避免滑跌後，方知已有何事發生（圖四十三。）苟執一貓於掌上使其足向上而背向下，然後突然縮手，貓於跌下時，四足先著地（附圖二十二。）若用高速度之電影畫片慢搖之（slow motion），可見貓身已曾作極速而準確之旋轉，故其足已

易而向下。縱使貓在手中，已實際上入於熟睡狀態中，或跌落時距地祇有數寸，但此項動作必能完成。貓之爲此，不假思索，非至其事已成過去，或尙未知覺其發生；蓋其事全屬自動或所謂反射作用也。



神經系圖。1, 2, 3, 4. 爲自肌肉，髓，關節及皮膚而出之神經纖維。因求筋明起見故於未入脊髓之前繪成一條感覺路線。自此種纖維而來之感覺消息經過動力神經細胞而立即使肌肉作反射作用的感應，再循脊髓而上達腦之外膜，由是分佈而成關於體中所發生事物之意識上的知識。(根據 Pear 所著 Skill in Work and Play)

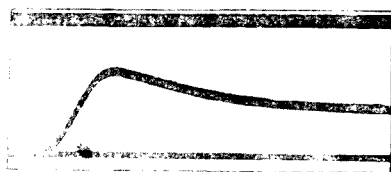
曾經使用鎗炮者，當知於射擊時避免瞬目之難；不習此道者，往往於放射前卽已瞬目而致敗壞其瞄準。人當突然聞有大聲時，頗難不驚起或躍起，而於有快樂事及不快樂事突然發生時，亦恆

不能隱匿其感情。有所謂「心理及電流之反射作用」『*psycho-galvanic reflex*』實爲頗具興趣之例。電線之電阻 *electrical resistance* 爲當電線兩端安放有規定之電壓 *voltage* 時，決定其電流之量者。苟使人置其雙手於盛有鹽水之二碗中而以電線接連其手（如附圖十二甲所示者），則可以視其身若電線而計算其電阻力。當已配置作此項用途之電橋（*bridge*），而記錄其電阻時，使光線一點自電流計上之鏡面反射而至量尺之中央；其電阻有變更，則光點亦移動，增高時向一方移動，低減時則向對方移動。將受測驗者連接之於惠斯登電橋上 *Wheatstones bridge*，平均此電橋以求得其電阻，務使電流計上所射光點停留於量尺之中央。然後注意使其人極爲安靜，絕不興奮其興趣及情感，則光點不動，或止作遲緩而穩定之移動，可以每隔若干時將電橋重行裝配以中和之。於是略刺激其情感，譬如向之言其所可信或不可信之事，或云將以針刺其體，或突然鼓掌，或曝射光線於其面。在二三秒鐘間，絕無任何反應發生（圖四十四）；及二三秒鐘後，則電流計忽大有移動光點經過量尺，然後方漸還至原處。此項試驗極爲簡易而頗具效力，由此吾人可見最簡單之恫嚇（譬如向言將以刀割其喉，此爲其所決不能信者），能發生極大之影響。或以名

單一張（其中所包羅者當然為異性之名字）向之宣讀，初並無若何感應發生，迨讀至某一特殊名字時，則忽有劇烈之感應。自此種感應，吾人固可推求而得任何結論，但受測驗者不能阻此感應，使不發生則確定之事實也。受測驗者雖立意欲不顯露其情感，然無論如何，此電流計終能啓示其秘密。此種試驗，頗為可觀，故讀者如能假得一電阻箱，一二至四伏特之蓄電池及一電流計，則著者頗勸其施之於其友人。此亦反射作用之一，於在催眠狀態中之人，亦能發生，與尋常人同。此種反射作用有一兩三秒鐘之潛伏期，並有電阻之變更與之相連，此項變更或高至等於其人兩手中間全部電阻之百分之十，且完全不受吾人之支配。此為造成吾人生命之自動機械作用之一。

人體之姿勢，即身體在種種目的上及效用上所需要之地位，為由肌肉之協調收縮所維持。肌

圖 四 十 四



心理及電流之反射作用。受測驗者，其心理之變化，引起電阻之變化，而此變化則使電流計移動。

肉非但對於人體每一新的地位須作一種新的協調狀態，且其協調亦須與自主及反射之收縮相符合。每一自主動作之完成，必與所涉部份之姿勢有關係。所謂協調，即係肌肉之輕微收縮，為其中神經終點器官或專司姿勢之器官（耳中之半圓形溝狀物及耳部器官 *otolith organ*）而來之衝動，以反射方法所維持者。肌肉有互相對峙者，如有屈曲一種肢體之肌肉，即有伸張此肢體之肌肉以對抗之。當二者之一縮短時，其相對者即退讓而由反射作用以廢棄其協調，俾其相對之肌肉可以縮短。肌肉之伸張苟不由其相對肌肉之自主的收縮而由人為的方法，則所發生者適成相反。當一伸肌突然被拉，其反應為一敏捷之反射性收縮，為由此肌肉中出發而達神經系之消息所引起。若此肌肉於其相對肌肉收縮時亦竟如此，則結果必致成僵硬狀態而一條肌肉與其他一條向相對方向緊扯。造物對於此種狀態，備有一種天然保障使不發生，此種保障，吾人稱之為「相對肌肉的交互遏制」。當動物受土的年 *strychnine* 毒時，此種交互遏制即行停止，而由另一狀態代之，在此狀態中，當一條肌肉收縮時，其相對肌肉亦同時收縮而造成肢體之僵直狀態。破傷風之傳染足以致牙關緊閉，患者每於進飲食時，努力欲張其口，則痛苦無殊受酷刑。此時閉合牙關之肌

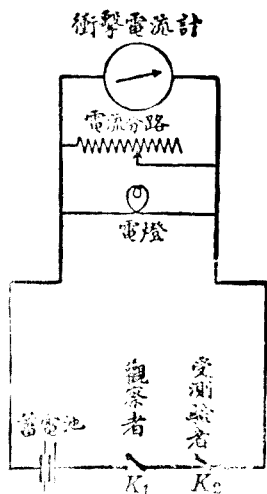
肉，不復有遏制作用，此肌肉反成興奮而牙牀亦愈緊閉。以上所述二種毒質均能在神經系中活動而顛倒平時之佈置，蓋在平時則每當一肌肉開始收縮時，其相對者立即成爲寬弛也。在日常生活此種程序，屬於自動，爲吾人所絕不知覺者，惟由試驗方知其存在，而此種試驗，則往往係造物所使之疾病也。

動物所具之反射作用，以根據訓練者爲最複雜。此種反射作用，非但涉及脊髓，且與大小腦有關。俄國生理學大家柏芙樂 Pavlov已演繹各種方法，可以研究下等動物中訓練之結果及辨別之能力者，實近代生理學上最大進展之一。柏氏所用方法俱恃動物進食時之反動。當置食物於動物口中，則足以刺激口津之分泌，以通俗語言言之，即此動物口中垂涎是也。此爲「無條件之反射作用」unconditioned reflex。然苟於給與食物時，作特殊之聲音，則歷若干時後，可以發見僅有聲音亦足以使動物口中流涎。此爲「有條件之反射作用」conditioned reflex。已造成之表示。視覺或嗅覺，或任何其他感覺均可以同樣方法用之，使供給有條理反射作用中之刺激品。由此方法，可以測知犬對於高度互異之聲音之辨別力，斷定一系連續之反射作用與另一系之抵觸，其程度

若何，及動物對於曾經訓練之反射作用，需時幾何方能忘卻或變更之。今述此種試驗所成結果之一：有一動物已加以訓練，使當聞音叉每秒鐘振動一百次時，則預期食物將至而口中流涎以應之。於音叉每秒鐘震動一百零四或九十六次，此動物口中竟並無津液之分泌。用此方法，吾人始能開始研究及於動物意識之內部，而關於可使此動物受訓練之方法，及其感覺之性質亦略有所知。或者心理及電流之反射作用可施之於猩猩，俾吾人對於人類最相近生物之一，亦可研究其情感而踪跡其訓練之方。

反射動作之性質愈複雜，其所需時間亦較長；當可能之反應祇有一種時，則必甚速。在『膝之急牽』中，腱之受擊及伸肌開始反應中間所需之時間，不過約一秒鐘之千分之五又半而已，而其費於脊髓本身中之程序者，止一秒鐘之千之二。『膝之急牽』為極單純之反射作用；其他較為繁複者，則需時亦較多。裝置電鍵二及電燈一，使作試驗者按一鍵則燈明，而當受測驗者按第二鍵時則燈立熄。受測驗者熄燈所需之時間可用電流計之與電燈成並行而吸收一部份電流者計算之。電流計指針之偏斜即可記錄電流停止前之時間（圖四十五）。此種『反應時間』reaction

圖 四 十 五



測量【反應時間】之佈置方法。注意衝擊電流計及電流之分路。K₁為作試驗者所閉之電鍵；K₂則為受測驗所開之電鍵。燈一發光則受測驗者須立即閉下K₁以熄滅之。因此所費之時間可由電流計在針尺之移動知之。

time 必頗短。今再加入辨別之元素。置電燈二具，一在左，一在右，每具有鍵一枚。受測驗者不先知所開者為何燈，則使之熄滅時，需時較多，蓋須先決定其意旨，然後方能有動作也。若裝置三枚不同色之電燈，附以三鍵，每鍵與一燈相應，則所需時間，必尤較多。在此試驗中，受測驗者之反動其大部當然為屬於有意識者。腦之本身，當須作判斷或區別時，較之神經系其他各部，頗形遲緩。然反射作用中，亦有同樣事實，即自動動作之較繁複者，需時較多於較不複雜者是也。

吾人以何法學得各種純熟而準確之動作，為工作及遊戲時所常用，而幾成或全成自動者？此

爲極有興味之問題。吾人記憶如何爲一動作時，所記憶者究爲何物？是否念及一切消息之經發出而達肌肉者——及肌肉之時間上調節及每一感應之強度上調節？此事一部份屬於生理學而一部份則屬心理學，但下列答案則似有根據：吾人所記憶者，並非所發出之消息而爲所獲得之感覺。吾人所記憶之一切，如跳高一次，或以錘敲釘，或簽一名字，大都自記憶其所給與吾人之感覺而來。

每一動作，無論其爲如何簡單，每一姿勢，無論其爲如何平凡，均足以發生一組『感覺』以經過縱橫交錯之感覺神經，此等神經之終點或在肌肉，關節，及髓中，或在專司人體姿勢之器官中，如示吾人以關於身體旋轉之半圓形溝狀物及示知空間方向之耳內器官等（與地心吸力有關。）每一姿勢中，吾人獲有身體將作何狀之印象，此種印象或可稱之爲『立圖』 *standing picture*，爲自人體各部（當然包括與地面或其他外界支持物相接觸之部份）向內行之消息潮流所供給。在此意義中，每一姿勢，如由主觀方面言之，實爲一組固定之感覺，惟既有動作，則此圖不復爲固定，但有時間之成份參加其間。擬之以電影表演頗較近是。跳躍，球之外擲，冷而重之鐵球之舉起，舞蹈中之動作，凡此種種，吾人所以能記憶之者，均由於一組連續而變易之圖像。此項圖像之造成，則

由於動作中每一成份所發生之感覺。吾人並不因念及爲一動作時作何狀而能記憶此動作，惟於記憶他人之動作則或由此法耳。對於吾人自身之動作，實由其所造成之連續感覺而記憶之。吾人苟具有肌肉動作之力，則且竟可以當自身爲某種動作時所獲得之感覺而解釋他人之同樣動作。此類感覺，非文字所能說明，但吾人關於熟練及準確肌肉動作之能力則實全恃對於此種感覺之記憶力及回想與引起此等感覺之力量。（註一）

吾人之動作，俱由反射之活動造成，此種活動，當其由簡成複時，已由神經系中較高而具有意識之各部併合之或使之互相連絡。此項事實既爲吾人所接受，今當研究吾人可以人體機械造成之數端成績而屬於熟習及能力之集中者。吾人之動作，間有極爲繁複者。高速度 *low motion* 電影片（註二）每秒鐘能攝圖多幅者（假定其爲每秒鐘一百六十幅）苟以遲緩之放射（假定每秒鐘十六幅）映之幕上，則其是使人口語及分析繁複之動作，較任何其他方法爲佳。於此可見女子舞蹈，男子跳高或潛水，其速度較之吾人所預期者，不及十之一，其功用非特可供娛樂，且足灌輸智識。飛鳥之翼，平時移動極速，故吾人不能見其所發生之一切動作；以電影片使成遲緩，即可睹其

中所有美妙而適宜之程序。今已討論用電影片以視察一切繁複之動作矣。當返而研究實事，及讚嘆神經系以極高速度組織其事業之技能。

苟用一計分表之可以計時至五十分之一秒者，則吾人可用以測量跳高之時間，在平時，跳高故絕少計時者也。吾人可以求得兩足離地及其重行落地中間之時間。如人之跳躍高度為五尺，其所佔時間約為五分之四秒。此項時間之半用之於上升，其他一半則用之於下落，其中間極微之一刹那則費於旋轉身體以越過橫木。已知跳高所費時間，則可以計算人體重心 *center of gravity* 之升高度為若干，而知其約為二尺半。假定其人原來重心之高度約為三尺，則當躍起時，其重心約在空中五尺半處。橫木之高度為五尺則所餘高度可使人體越過橫木者似覺極少。實則跳高者雖其重心略下於橫木，亦可越而過之，此為似非而實是之事實，繩之穿過滑輪而向對方下落者，即其顯例。苟能將身體作適宜之旋轉及牽動，則良好之跳高者，縱其重心並不較高於橫木，或竟略低，亦可越過之。較不擅長此技者，則所需廓清之地位亦愈多（附圖十九及二十一）。此種旋轉動作極為繁複而力量亦大，且須迅捷而純熟，能於一刹那間（一秒鐘之極小部份）完成之，頗足驚異，故在

跳高時，輸出及輸入神經與肌肉纖維之活動及相互活動，其機械作用定必已經喚起而達最高之程度。

再言投擲棍球之情狀。人體肌肉之聯動率 *coupling ratio* 雖高，然斷不能造成一種速率，可與棍球投出時之速率相比擬。擲球之成績，全恃『急動』(jerk)，與其他多種迅速而劇烈之動作相同。今以一鞭喻之，便可了解『急動』之意義。用一長而向下漸削之鞭，旋轉揮動之。僅由揮動，決不能使達極高之速度。但在某一時期，鞭之進行，稍有頓挫，有波浪循其逐漸尖削而柔韌之部份經過，向下集中力量於鞭之較細部份；最後此項力量之大部分達到鞭之梢，鞭梢為極輕之物，故受到若干力量，定能達到極高之速度。善於揮鞭者，能以鞭作大聲於空中，即因鞭梢移動之速率極高，可比聲浪，鞭之後方已造成真空，而真空復為空氣所充塞之故也。其性質與真空瓶或電燈泡破裂時所發大聲同，蓋空氣驟然充塞真空則必作大聲也。由此可知用一種集中力量之程序，則可使鞭梢達極高之速率。當長於球戲者擲球時，亦有同樣情事發生。其身體之移動極速，至適當時，則發生頓挫使波浪（或急動）循其臂而前，以集中力量於手指，球則執於手指中者也。此球於是遂能以遠過於

單純動作所能達之速度而射出。欲擅此技，須具悠久之經驗；亦有習之雖久而無成者。蓋各種動作，如造成動量 *momentum* 者，發生頓挫者，使急動循半僵硬物體——人臂——而前進者，均須具極度之準確，故久習不成，實無足異也。擲棍球之世界紀錄約為一百五十尺。縱置空氣之抵抗力不顧（實則空氣抵抗力於此中亦為一可覺之原素），其放射之速度，亦達每秒鐘一百二十英尺，或每小時八十英里。棍球之重量約五又四分之一盎司，由此以計算其放射之能力，則可知其為七十五尺磅，或約十公斤公尺。擲棍之工作，非為臂部肌肉所完成（無論如何，臂部肌肉祇完成一小部份工作而已），而由於自人體及肩部傳播以達臂部之急動。臂之大部份之移動速率，亦與球相彷彿，若再加以計算，則所得之工作量更高而其結果亦愈可驚異矣。

再言當此程序發生時之速率。於棍球以每秒鐘一百二十英尺之速率射出時，擲球者之手亦以同樣速率移動。事事咸須適合，而種種佈置亦均須齊備，球之脫手必恰在適當時，而急動亦必須集中於適當之地點。此種程序，不由思索，惟由其人之肌肉感覺中覺察而記憶之。肌肉與神經之工作，其時間止達一秒鐘之千分之幾。苟肌肉在時間上有千分之幾秒鐘之錯誤，則其投擲必成失敗。

「記錄」之造成，實若開動一自動鋼琴然，其動作之計劃，雖爲預定，但欲得良好之結果，則無時不須加以注意，全部程序中，事事須由肌肉及神經之作用與相互作用計其時間及加以調節。

吾人以同樣方法，或同樣時間，作同樣之事，可使頗爲準確，此盡人皆知者也。著者兒時，恆以步行一千七百六十步而求其適爲一英里否以自娛。在此距離中，間有錯誤，然亦不逾十碼左右。此事不由目力而實由肌肉感覺。長於射擊者，能閉目舉鎗至肩，當張目時，則目光適向鎗上瞄準具。蓋其神經系能準確記憶及重爲以前之肌肉感覺也。畫師或製圖師之精確，舞蹈家之技能及風度，卽吾人每次作簽字式可使相同之準確能力，均惟此是特。善於一英里賽跑者，幾乎能確知一英里中第一圈所費時間爲若干，其錯誤不逾半秒鐘。熟練之體育家，駕駛汽車者及航空機師，均須具有高度之肌肉感覺。

前已言自高處下落之貓『足先着地』已成言語中尋常習見之辭。執一貓於手，無論其或睡或醒，務使其足向上。置一墊褥於下以防有意外發生（然從不發生）時，不致受碰撞。然後突縮其手，則貓向下跌落（附圖二十二）。跌落之時間極短，故不能見其所爲何事，但其足必先著墊褥。由高速

度之電影片，吾人可以分析其動作而知其調節極爲美善。動物欲於空中完全轉身，既無可以支持之物，且不著邊際，無從推動其自身，由治機械學者視之初若不可能；然貓則可於五分之一秒鐘間完成之。貓於四足著地後，環視四週，微覺不安，似爲所已發生之事所擾，然後緩步而去，不自覺其所爲者之爲靈巧也。苟與批亞教授 (Prof. Peet) 論及『肌肉技能之智力尊嚴』吾人必將承認，在此一方面，貓之聰明實遠勝於人。

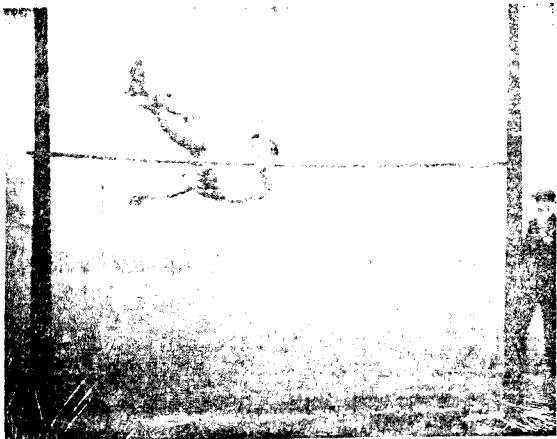
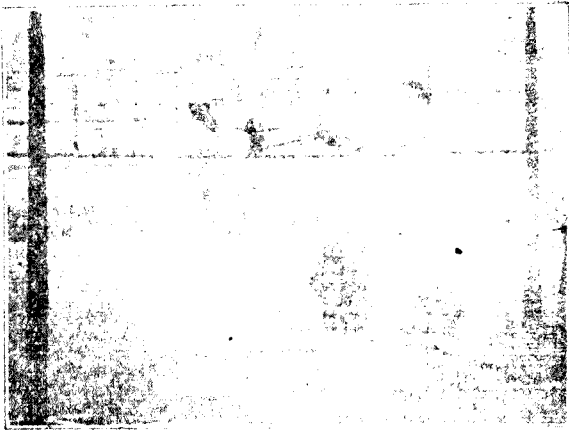
此種純熟之動作，其完成大都由於向內及向外行衝動之微妙機械作用者，對於運動及遊戲上，與夫日常生活程序上，均極爲重要。具有技能之人非但能爲他人所不能爲之事，即較簡單之事，盡人皆能者，亦可爲之較速，費力較少，而疲勞較輕。最後少許之力量，實爲許多工作中最重要之一部。吾人所能爲，但因疲勞而不爲者，往往發生絕大關係。吉泊林 Kipling (英國小說家) 曾云『人苟能強制其心臟，神經及肌肉，使於雖極疲乏時，仍能致力於其人之事業，』則必將奄有大地，非虛言也。然成功之途徑，不但可於使心臟，神經及肌肉『堅持』之『意旨』中獲得，且可求之於使人體機械不致易於力竭之技能中。苟他人爲之，覺其事爲繁重，而我爲之覺其事爲輕易，則當他人已

不能再有所爲時，我仍能繼續進行。故此種技能實爲持久力之基本成份，而苟具持久力，則事業未
有不能成功者也。

(註一)此事批亞教授 Prof. T. H. Pear曾於其所著『工作及遊戲之技能』Skill in Work and Play(一九二
四年出版)書中及發表於『英國心理學雜誌』British Journal of Psychology 第七卷一頁六十三頁(一九二一
年出版)之論文中，加以討論。批氏在其書中及論文中，鄭重聲言肌肉之技能具有智力上之性質，此種性質雖非言語文字
所可表示，但終爲極真實之事物。對於因動作而得之感覺，作具有智力之處置、分析及追憶，與夫重爲此種動作以求其感覺
重現之能力，爲造成熟練動作之方法。以各式動作爲試驗，注意何者爲有效，簡捷而經濟，何者爲笨拙而虛費，記憶與此二種
動作同時發生之一切感覺，即可再爲及獲得純然而良好之動作。此種事實，在生理上之根據，爲複雜而縱橫交錯之輸入神
經纖維，此種纖維自身體中與動作有關之各部傳達消息。至於神經系，其心理上之根據則爲全部此種消息所喚起之感覺。
(註二)在特殊情形下，每秒鐘所攝取之電影圖，可使遠過一百六十幅。攝影機之式樣，如爲每次露光，須將軟片搖動及停
止者，則每秒鐘所攝，大約以三百幅爲限。苟以繼續移動之軟片攝取電氣火花之攝影(火花於實際上爲即刻的)，則每秒
鐘所得圖幅，可達千數。如以每秒鐘十六幅之速率放射之於幕上，則吾人可見蟲翼之動作，其鼓動甚遲，故可詳加分析。巴黎

馬理學院 Marcy Institut, Paris 中，恆作此類試驗。

第五講 神經與肌肉之合作



甲、及乙、均為一神經衰弱者（圖中人為亞橋
大學之 A. C. Bellamy 君）越過橫木之圖。

附 圖 二 十 一

第五圖 神經與肌肉之合作



一七五

甲、及 乙、俱為極不善跳高者(一六歲一七歲)越過橫木之圖,其所需以廓清橫木之地位較前圖更大。

第六講 速度力量及持久力

盡人皆知動作之速率有數種較其他數種爲佳。乘自由車者，知有與其人最爲適宜之聯動率（或齒輪率）Gear ratio。當上山時，則聯動率宜低而於下山時則宜高。再若舉起重物時，或爲艱重之動作時（如旋轉不易搖動之螺絲釘），吾人咸知用遲緩而堅定之動作，則可具最大之力量。在園中運泥，自此至彼，所用小車及鏟，大小亦須適宜。苟爲太大，則吾人須作不必要之努力，苟爲太小，則亦因其所載太少而浪費力量。當賽跑時，不可忽而極速，忽而頗緩，自有其最佳之速率。登山亦然，行過速則先已力竭，過遲到枉費時間，且不能使吾人不感疲勞。故由實際方面而論，動作之速率，實爲極重要之問題，苟能求得關於工作中或運動中之最佳速度之一切事實，爲工人，運動家，游獵家等種種人所自行求得或獲之於他人者，實極美事。前文中已論及肌肉所能具之最高速度，且已詳述在此方面，同一動物之各種肌肉間，及數種動物之肌肉間，均大有差異。今當研究同一肌肉以數

種不同之速度而從事工作者。

附圖二十三甲所示之機器，爲一沉重之飛輪，經裝置於座上，且具有球軸承者 (Ball-bearing)。附有大小不同之滑輪 pulley 數具。可將柔韌之鐵絲繞於任一滑輪上，俾受測驗者拉動裝置於鐵絲一端之柄，即可轉動飛輪。每一滑輪，其前樹立一短栓而將鐵絲之其他一端作圈繞之，使不致脫落。當鐵絲已完全從滑輪上解脫，此圈即自栓上落下而飛輪於是可以自由旋轉。臂之上部肌肉，在短縮中所成工作（當在如圖中所示之地位時），傳達至於飛輪，可以記速計 speedometer 或 tachometer 求得飛輪之角速度 angular velocity 而計算之。臂部肌肉於縮短時所成工作之全部成爲飛輪之動能 kinetic energy，而由飛輪角速度自乘之半與根據飛輪重量及大小之固定數（即其慣性之能率 moment of inertia）相乘之積以求得之。（註一）

其程序如下：受測驗者執柄於手中，手掌向上，將鐵絲一端之圈，套於滑輪之栓上，然後繞鐵絲於飛輪，至極緊張而後已。於是塞一針於輪側之孔中，務使非至此針拔去後，則輪不能轉動。先命受測驗者作準備，繼之以發動之命令，而受測驗者遂盡力拉動所執之柄及其拉動力已發展達於極

度，即突然拔去塞針，受測驗者之肌肉短縮，飛輪亦遂轉動，而其速度則於可能範圍中，立即以速度計量之稍作數學若干或由一事前備就之表，即可得其所完成工作之尺磅或公斤公尺數。

肌肉縮短之速度可以使之不同。如鐵絲繞於極小滑輪上，則其佈置與自由車之高度聯動率同而動作之發生頗緩，或須時數分鐘方能完成之。若繞之於大滑輪上，則與低度聯動率同而臂之動作發生極速。在此二種情形下，肌肉所用之力相同，受測驗者，盡其能力以拉之，非至已發展其全力時，則不去其塞針而使飛輪轉動。苟不用人臂而用鋼絲彈簧，緊繞鐵絲於滑輪之一，使彈簧之緊張程度相同，則無論其縮短之時間為幾何，飛輪上所完成之工作及最後速率，總屬相同。然以人臂為之，則二者中所完成之工作頗有差異。當肌肉之縮短遲緩，則所完成之工作量高，縮短極速，則工作之完成者無多。此種事實雖不能確稱之為『欲速則不達』，但實可謂為『速度高則工作少』。

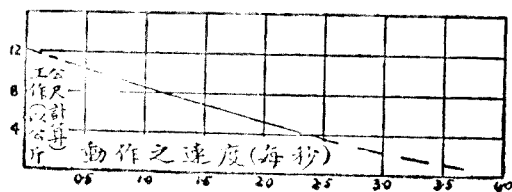
圖四十六示在一單獨之收縮中，臂部屈肌 *flexor muscles* 於可能範圍內所完成之最大工作與速度之關係。實際祇有一個動作，而速度即由分開此動作所佔時間秒數以計算之。吾人當注意（一）一雙肌肉，其重量不逾一磅者，所完成之鉅額工作，（二）動作之速度如何使此項工作

低減。

此種試驗所證實之事實，其性質極為普通，然頗屬重要且大可施之於實際用途。至其真實原因，則著者祇能言其為由於與肌肉所具而與其機械作用有密切關係之特性。此種特性（在肌肉的『黏滯伸縮性質』名稱之下）近數年來，已經過許多研究工作。此書則因限於篇幅，祇能論及此種工作結果之見之事實者。

今宜先明瞭吾人之所已知者。在肌肉之一次單獨收縮中，苟其外界之佈置（譬如與肌肉以較重之負擔）足以使其工作之速度較遲者，則所完成之工作亦較多。故在一次單獨收縮中，速度高則工作少；但當注意，——苟從事於同一工作而為之多次，則如速度較高，即可於一指定時間中，完成較多之次數，由此或足以抵過每次動作中所少之工作。

圖 四 十 六



圖四十七即爲此種事實之一例。如規定時間

爲一百秒鐘，而欲知一人於此規定時間內能完成

工作幾何。假定其肌肉弛懈以準備下一次拉動之

時間常爲半秒鐘，而所負擔重量之每次配置，足使

其人於一百秒鐘內作任何指定次數之拉動（自

最低一次至最高一百三十三次。）欲使其速度高

至一百秒鐘達一百三十三次，則其負擔之重量必

須極低，而其所完成工作之全部亦必甚少。若欲使

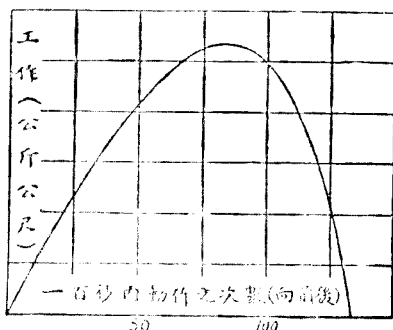
其人於一百秒鐘內不能作一次以上之動作，則其負擔之重量，必須極大，其人於此一次之動作中，

所爲工作雖屬頗多，但其全部工作則仍爲甚少。從圖中所示曲線，可知當用一特殊之速度時（即

一百秒鐘內動作約八十五次時，）工作之完成者爲最多。速度較高或較低於此，工作之完成者漸

少，而對於此種工作（每動作一次，與以半秒鐘，俾得弛懈其肌肉，）其最佳之速度，即吾人稱之謂

圖 四 十



臂部屈肌在規定時間（一百秒）內所完成之工作與完成此工作時分立動作之次數間之關係。

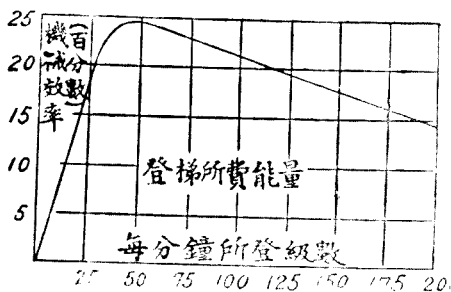
『最適宜之速度』“optimum speed”爲每分鐘八十五次。苟速度較高於此，則『速度高而工作少』若速度低於最適宜者則『速度低而工作亦少』。故如欲以最佳方法從事工作，顯須擇一『最適宜』之速度，任何肌肉動作之技能，其大部份必有特於完成此項動作所用速度之選擇。(註二)

乘自由車時，有特手工作上速率之適當選擇者甚大，實爲上述事實之顯例。現今之自由車，大都具有三種聯動率。當緩行上山時，用較低之聯動，俾腿部之動作，約略等於在平地行駛較速時。用高度聯動上山，實爲浪費，且易感疲乏，但此種情形，較之在用低度聯動在平地上進行，未必更甚。吾人平時固不考慮此事在生理上之關係，但由已往之經驗而能決定各種用途中最適宜之聯動率。短距離自由車比賽者欲於規定時間中，完成可能範圍內最高量之工作；長距離競賽者則必須注意經濟而以最節省力之方法從事工作。二者各有其最『適當』之聯動率，俾其入腿部之工作，可以最『適當』之速度爲之。

迄今已經考慮者，爲所完成之工作，但吾人恆須計及完成工作時所費去之能量；蓋所費之能

量高，則發生疲勞，而疲勞足以使吾人完全停止或不能以全力從事也。故荷負擔之重量極大，而其動作需時頗久者，肌肉須於全部過程中維持其活動狀態，實為浪費能量。緊拉重物，其重為力所不能移動者，則雖無工作完成，然頗易疲乏，且虛糜能量。故如與肌肉以過重之負擔致其動作過遲者，則為虛耗能量，蓋所發生之效果雖少，而其能已用之於緊拉中也。若動之過速，亦非經濟之法，但其原因與此不同，而由於每次動作所完成之工作太少。用其他各種速度，則工作之效率不高，總須費去若干不當費之能量。圖四十八用人於登梯時之情形以示此種事實之一例。在此圖中工作之效率（即所完成之工作及因此工作而消耗之能量二者間之比率）先則上升，達某一速度而再行下落。於此圖所根據之試驗中，梯之高度為四十尺，其直上之級數為七十八，由此圖可見效率最高之速度

圖 四 十 八



登梯之「機械效率」與登梯時速度之關係。速度以每分鐘所登級數計之；效率（作為百分數）則由所完成之工作及其所需之能量計算，其關係如下：

$$\text{效率} = 100 \frac{\text{所完成之工作}}{\text{全部所費能量}}$$

爲登梯所用時間約在一百秒左右者，或每分鐘行四十八步。每一步之『最適當』或『最高效率』之時間爲一・三秒鐘。苟用此速度以登梯，似覺其爲極遲緩，蓋在日常生活，吾人對於節省時間，較之節省能量，更屬關心也。若須全日作登梯之行，而欲於可能範圍內以最經濟方法從事，則如圖四十八所示而緩緩爲之，當能獲得最高度之效率。於此亦有一『最適當』之速度，但爲節省能量之『最適當』者，而非若圖四十七所示爲關於擡節時間者也。

此種『最適當』條件（“optima”或best conditions）之存在，實爲一極重要之事實，非特對於從事各種遊戲、運動，及有恃乎持久力之成績者爲然，而對於注意工業中各種勞動程序者，關係尤大。吾人一方面固欲求在規定時間內，獲得可能中之最多工作，而於另一方面，則欲求其完成時所費去之能量爲最少；蓋能之消耗足以發生疲勞，而疲勞繼續過久則足以致人之健康不良及效能低落而發生怨望。速度問題與肌肉工作之關係，當以專書詳論之。著者於此不過欲引起讀者對於兩種不相同之『最適當』速度，注意其存在而已，既知此種事實之存在，則當需要時，自能再事研究而獲知更多也。

此二種『最適當』之速度，並不定可發生。譬如在平地上步行或奔走，進行愈速則能之耗費者愈多。著者已於前文中言及當步行一英里時，行愈緩則所費能量愈少。關於能之消費之『最適當』速度，祇能在與制勝身體外界抵抗力有關之程序中發生。當在平地上步行或奔走時，並無外界之抵抗力，但有肢體自身之動作而已，故無『最適當』之速度。然苟欲在規定時間中完成一規定之距離，則亦有其最適當之進行速度。其應用之法，極爲簡單，祇須於全程內保持絕對相同之速度而已。時而行速，時而行遲，則所耗能量較多。欲於五分鐘內奔馳一英里而使所感疲勞爲最低量，則必須於全程中保持每分鐘十七·六英尺之速度。美國克納萊教授 Prof. Rennelly of Boston 曾謂打破一英里賽跑『記錄』之最佳方法，爲於馳道周圍裝設鐵絲，鐵絲上置有小旗，用機器以完全固定之速度，循鐵絲以拖動小旗，奔走者如能於全程中與小旗平行，即可打破『記錄』。此法可使奔走者不致因有時進行太速有時過遲而浪費其能之處。此種人工的調整步伐之法，苟能施之實驗，或足發生驚人之效果。在數人比賽時，則與僅欲打破記錄不同，其情形有別：當競賽時，引誘敵人使在其中某一時期進行太速或太遲或其他種種足使其受損較多於我者，實爲極妙之策略。

譬如人之具有強大之終點奔馳力者，(finisher)，可計誘其他與賽者使在比賽時進行較緩，俾其人於全程中可以追隨，而於終止時則用飛奔 (sprint) 勝之。在自由車競賽時，此種情形最爲顯然，一八九七年英國一英里自由車競賽之優勝者，其時間爲五分五十二又五分之二秒鐘；非但人力奔走之速率可遠過於此，卽一英里競走 (mile walk) 之記錄亦止較長半分鐘而已。此種事實足示競賽勝利實與打破記錄大有區別。

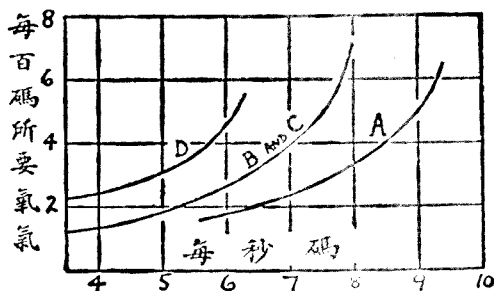
著者對於效率最高之速度及能之消費量，當使達於最低，言之不厭其詳，蓋工作良好之各種原素，如在長時間中保持同一程度則謂之持久力，於可能範圍內完成最高量之工作則謂之力量，均有恃乎動作之效率。苟人之肌肉所費能最多，則其人不能長久繼續工作，亦不能於規定時間內完成多量工作。卽吾人所謂技能，雖頗微妙，其最後意義亦不過以經濟方法從事工作而免作無謂之紛擾而已。在上一講中，吾人固曾言技能全恃肌肉、神經及神經系之合作，但此種合作之最後結果，爲於可能範圍內以最低之能耗費量從事工作。苟從事於一規定之工作時，能之虛糜者少，則可以爲之次數較多而所感疲勞較少。

由此方法，且可作技能之定量的測量，無論如何，可以在數種情形中爲然。有數種技能，則自非此法所能顯示，譬如機械師，棍球家及畫師，其技能顯然與其工作時所費能量無關。然在其他數種事件中，則技能與能量之關係極爲密切，測量一規定工作所費之能量，即可以反比例測量其人完成此項工作之技能。今當舉一簡單之例——奔馳——以明之。吾人於此頗易求得一切有關係之定量，苟能測量各種事物，則對於此種事物之了解，必更良好。科學始於觀察事物及求得其相互間之關係，然非至能測量一切後，科學之進步不多。吾人恆幻想事物間之關係，如以甲爲乙之原因，但當求得二者之定量時，則知乙之較大於甲者遠甚而決不能因甲發生。反之而測量得乙之定量，適與對於甲所預期者相照合，則吾人對於二者間關係之意見，獲得更有力之證明。肌肉之技能，不常能顯示其定量，但於奔走或其數種類似之事件中，則可以數字表示之，此著者所以再述及奔走之理由也。

圖四十九示曲線四，或祇可稱之爲三，蓋其中二者，實際上適相符合也。此種曲線表示四奔馳者。其中之一 A 爲極有經驗之賽跑家（爲劍橋大學田徑隊員），自百碼以至一英里內各種距離，

俱所擅長。其他二人B及C爲中級賽跑家，均康健而活潑，且在訓練中，其中一人於在學校時，曾在二英里競賽中獲勝（事在數年以前），其他一人，苟曾極力努力，或亦可得如此結果；但二人之於競足，殊無足以驚人者。第四人D爲極不善奔馳者；其人雖亦健康而活潑，能游泳五英里，且能於十一月底在海水中存留一刻鐘之久，但其體格不適於奔走，或因腿部太短，故或因對於肌肉之使用上有錯誤；彼嘗言此非其罪，實其父母之咎也。

圖 四 十 九



四人以互異之速度馳行百碼所需之能量。注意(一)當速度增高時，能量消耗增高極速，(二)在一規定速度中，苟其人較長於賽跑，則所費能量亦較少。

圖四十九示此四人各以一組不相同之速率疾馳百碼時所費之能量。平行線示奔馳之速度，而垂直線則示用此速率以疾馳百碼所需之能量。能量則以供給上所需之氧氣表示之。但苟將五乘氧氣之公升數，即可使化成大卡路里，而以一五，八〇〇乘之，則得尺磅數。由此圖中，可知A較

之B、C，其效率高出極多，而D則效率極低。圖中曲線係由化驗室中測量而得，由此曲線，顯然可知A之能保任何持一種速度，為時遠過於B及C，而較之D則相去不可以道里計，蓋其所費之能量較餘人為少而奔馳之技能較高也。

奔馳時須盡力從事經濟，其所以極為重要者，因奔馳時所費之能，為量極多。當吾人開動一時計時，所費之能究為最低量與否，殊無若何關係，蓋無論如何，其量必為極小，縱十倍之，亦不致發生重大影響也。今日考慮受測驗者A，A較之餘人，曾受更注意之研究者也。其人體重祇約一百三十三磅，肺之活動量為四·四公升，在受測驗時所用之最高速度為每分鐘九·二碼——即奔馳百碼需時十零五分之四秒。倘能繼續以此速度奔馳（此當然為所不能）則其所費能量之全部，將達一三·七匹馬力。但彼斷不能以此速率進行長久；蓋其所能獲得之能，消耗頗速，且乳酸堆積於肌肉中，而使之不得不停止也。

再從另一方面言之。若其人以十另五分之四秒鐘奔馳百碼時所需之能量（連其恢復程序所需者），用之於舉起其身上升空中，則將使直上達六百九十尺，幾兩倍於泰晤士河上聖保羅大

教堂頂之十字架。此種計算之結果，近於滑稽；而在一種意義上，亦實爲如此，蓋吾人假定其所費能量之全部，均已化成機械工作也；在實際上無論何種機器，無具有百分之百之效率者。最近之研究已示吾人當奔馳之人以最高速度進行時，實際上所發生之推進力約等於體重之百分八十五，故疾馳一百碼時所完成之機械工作，足以使其身上升達二百五十五尺，約兩倍於屈拉發加場中納爾遜碑之高度。此項計算足以明示吾人凡實爲迅捷而剽烈之動作，其所費能量，實屬非常，及解釋此種努力何以不能維持長久之原因。

各人間力量上之差異極大；有人之體，某數部份弱而其他數部份強；有人能長時保持其力量而他人爲之則感疲乏；有人能發出極大之能量，他人則不能。苟力之意義爲能於短時間內消費大量之能，短跑家實可謂之具有大力者。欲成良好之賽跑者，自須以高效率使用其能，然其最後所恃，必爲其所具極速消費能量之力。有十二匹馬力之汽車一，其效率極高，裝配盡善，一切俱可稱完善，但苟與另一同重量之汽車，其機件調整後所能發展之馬力，非十二而爲五十者作競賽，則決無獲勝之望。於人亦然，良好之短距離賽跑者，非持須具高度之效率，其最重要之點，實爲當發展高度之

馬力而可從速使用其能量。

人之肌肉及汽車之引擎間，有一根本上之差異點。苟汽車能以每小時一百英里之速率行一英里，則實際上即可以同一速率行二、五、十，或五十英里。縱距離之長，過此遠甚，亦決不致使汽車感覺疲勞；其全部能量，俱在適當工作時石油之燃燒獲得，且不須在努力後「恢復」原狀。當汽車停止，則能之消費亦即完畢，與人體情形大不相同。人當奔馳百碼時，實際上幾全不自外界採納氧氣，其工作所用之能，實為以前所儲藏者，及運動已畢，則須消費氧氣及燃燒燃料以重行儲藏所耗之能。換言之，即其人於運動時積欠「氧氣債」，而於運動停止後，則須清償之。運動完畢後所吸收氧氣之量，俾其人可以恢復原狀者，即為運動終止時之「氧氣債」。今當以譬喻方法解釋之，使更明瞭。

吾人如欲使用金錢，則可先自進益中取之。此與輕微之運動可以無限制繼續進行者相符合；所用能量可自在運動時由肺部吸收之氧氣供給之。或則先事長時間之積蓄，然後於需要時迅捷用去之。人體亦可以此法從事工作，但以他法表示之則較佳耳。使用金錢之第三方則為貸借，或自

銀行，或自其他，而於使用後清償之。此適與人體對於氧氣之所爲同。若運動劇烈過度，其進益不足以應付時，則人體積欠債項而於運動完畢後清償之。銀行放款與人，必需抵押品，人體貸借氧氣之『抵押品』爲一種確定之事實，即人體所感覺之疲勞，爲對於呼吸系及循環系之有力刺激品，足使二者進行吸收氧氣而於血液中傳播之。迄至債務已清而後已。故從事工作有不同之方法：一爲量入爲出之法而唯恃運動時所吸收之氧氣；其他一法則爲倚賴貸借而恃人體肌肉於運動完畢後所必須吸收之氧氣二者適與溫和及劇烈之運動相脗合。介乎二者之間，則有種種之運動：參加一英里賽跑者於奔馳時吸收氧氣約十六公升（此即其進益）而於到達終點時，或已積欠氧氣十六公升，與其所借之能量相符合。短而劇烈之運動，全恃貸借；長久繼續之運動則大致全恃進益。二者間之各種運動，則對於貸借及進益俱有所倚賴焉。

人之持久力受兩種條件所支配。關於金錢方面，其人以規定速率消費時，所能支持之時間，全恃其進益及爲銀行所認可之信用。人體亦然，運動時氧氣進益愈多，則其人能繼續運動之時間愈長，且可爲愈劇烈之運動。其所可借得之氧氣債較多，則能於短時期中作較劇烈之努力，而對於

任何規定強度之運動，繼續之時間亦較長。故研究此種定量——氧氣進益與氧氣債項——之實際價值，頗足令人發生興趣。

每分鐘內，肺部所能採納氧氣之最高量，全恃其人體格之大小，與肺部之活動量，及其心臟使血液循環之速率。心臟所須爲之工作，其量極爲鉅大。就習於運動之人言之，其最高限度似爲每分鐘吸收氧氣四公升，苟呼吸於氧氣中而非尋常空氣中，則此項氧氣吸收量可以使之增高，蓋氧氣之傳入血液者較多，因而肌肉、心臟、及腦部等一切需要氧氣者所獲亦較多。當在尋常空氣中呼吸時，苟其人能每分鐘吸收氧氣四公升，則當在氧氣中呼吸時，即能吸收氧氣六公升。故若使此人在地道中奔馳，苟充塞此地道者非尋常之空氣而爲具有百分五十氧氣之氣體，則其氧氣進益即能增高百分之五十，而其消費氧氣之速率亦可大爲增高。由此而能借得之氧氣債，卻不甚多，故在短距離中，其影響不大。然在較長之距離中，則在此種氣體中奔馳，必能極易打破世界紀錄。長於一英里之賽跑家，能於空氣中以四分十五秒鐘行一英里，若置身於此種氣體中，當能以不足四分鐘之時間完成之。尙有頗爲重要之一端，則此種方法，與用藥物者不同，並不致損害身體。其人於氧氣中，

奔馳較在尋常空氣中爲速，但到達終點時，所感疲乏之程度，實與在尋常空氣中同，不因奔馳較速而疲乏亦遂較甚也。此種試驗，定必極具興趣，惟代價則殊昂貴。假定地道爲圓形，高八尺，闊六尺，周圍二百碼，則其容量達三〇，〇〇〇立方尺。若其中三之一爲自外界引入之氧氣，而其餘爲尋常空氣，即可得吾人所需之混合氣體。自外界引入之氧氣，其全部量爲一萬立方尺；如每一立方尺之氧氣，價值四分之一辨士，其全部價值約爲一百鎊。此種試驗，其價固昂，但尚非絕不可能，惟建築隧道之費必遠過於此。惟嗜運動之富豪，且具有科學興趣者，或力能爲之耳。

氧氣進益，其大略情形如此，今當考慮氧氣借款之最高額，此種最高額，視人之體格及典型而定。肌肉有力且在健康狀態中之人，體重一百七十磅左右者，其量可達極高。比較短時間之努力，其恢復時所需氧氣可達自十五至二十公升之多（在其人靜止時，此量足敷一小時以上之用）。由此氧氣借款之量，可計算而知運動終止時，實際上存留於肌肉中之乳酸量。恢復時每費去氧氣一公升，即在肌肉中除去乳酸六克。由此可知人於尚未完全力竭時，乳酸之釋釋出而在肌肉中者，其最高限度可達一百克（四英兩）。乳酸在人體中爲有力之酸素，其力量大約等於同重量濃厚硫

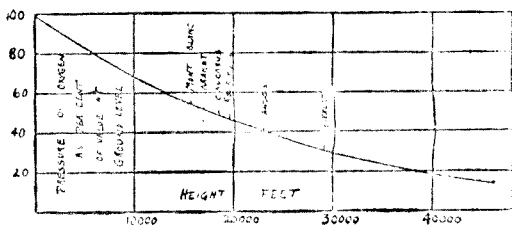
酸之半，若注入二盎斯之濃厚硫酸於肌肉中，則所能發生之嚴重結果，不難想像而得。乳酸實亦足以發生嚴重結果，但吾人則認之爲疲勞及力竭耳。

吾人何以能於身體組織中，容納如此大量之酸素？人體肌肉纖維中貯有鹼質頗多，可以中和此種酸素。及鹼質已竭，則肌肉亦成酸性而不得不即行停止活動。運動家與尋常人不同諸點，其一或即爲肌肉對於中和其中酸素，及容受肌肉中酸素存在之力量，使不至當酸素增多時即行停止工作。吾人能忍耐努力之程度，大部與吾人所能容受之酸素量相關。視一切運動成績爲容受酸素之能力所造成，似乎言之過於平凡乏味，然人體中斷然無疑之事實，其平凡乏味尚有過於此者，如人類之智力全恃甲狀腺之適當作用，若呼吸停止則數秒鐘內生命即行斷絕是也。

有多種運動及探險，其成功全恃人體當需要時能作劇烈之努力及忍受與勝過疲勞。今以登山之情形爲例以示之。攀登高處，本已頗爲劇烈，況其劇烈之程度又因存留於高地帶之低度氧氣氣壓而增加。水平線上一萬八千尺地方之氧氣氣壓，祇等於水平線處之半，而高達二萬七千尺時，則祇三分之一（圖五十）。前已詳言空氣中氧氣氣壓增高，可使人因每分鐘內吸入血液及肌肉之

氧氣較多而奔走愈速；若氧氣壓力低，則有與此適成相反之影響發生。凡曾登高山者，咸知到達自一萬尺至一萬四千尺間之高地帶時，即因缺乏氧氣而有疾病來襲。苟人於此種地方停留，則不久即能『習居』(acclimatised)；其血液中負荷氧氣之血球，數目較多於前，肺部之空氣流通亦較增進，而其身亦習於忍受缺乏氧氣。雖仍不能作與在水平線處同樣劇烈之運動，且其面部或因血液中未曾完全充滿氧氣而常呈青色，但可居留其地，經歷歲時，仍頗健康，且覺舒適。苟再升至較高處，則高山病之像徵仍將發現，但如停留時間稍久，依舊能成習居。然雖如此，苟其人行愈高，則作劇烈運動之力量，愈成微弱，因此需要良好之氧氣供給，但氣壓甚低故不能得。其惟一救濟之法，為飛行家所採用者，為自備純氧氣以應用，將氧氣與空氣混合，以增高其氧氣壓力。在飛機中此事為之極易，但對於攀登高山之人，則殊困難，或竟不可能，即屬可能，亦祇可略攝少許，偶一用之而已。愛佛累斯德峯

圖 五 十



Mount Everest (喜馬拉雅山之最高峯)之攀登問題，大部不過爲制勝與低度氧氣壓力有關之生理上困難點而已。欲成此舉，須人之肺部、心臟及血液循環俱天然能與以大量之氧氣供給者，方克有濟。若惟裝置於圓筒中之人造氧氣是恃，決無成就。他事無論矣，即其重量亦已太甚。苟長距離賽跑之優勝者，亦爲具有技能之登山家，則其安抵峯頂之可能性，自亦較他人爲多矣。

人處高地帶時，其氧氣進益必因氧氣壓力之低而成極微，故舍極溫和之動作外，一切努力俱足致氧氣債之積聚，而須於恢復時清償之。欲爲劇烈之努力，則爲時必須極速，然後作長時間之休息，俾可恢復原狀。在最高之處，繼續進行，實屬不可能，每次努力後必需靜立若干時以資恢復。苟人之進益甚少，則欲使用金錢，自非出於貸借不可也。

運動及遊戲之成功，舍消費能量之力及技能外，自尚有恃乎其他。或謂苟以科學方法研究運動及遊戲，足以使之失去一切神奇，其弊與開樂隊奏國歌或步入教堂時不去其冠同。昔日固有人以爲苟天文學者未曾宣洩天文界之一切秘密，則蒼天更覺美妙者，此種人於今或尙有之。甚之竟有在主義上反對糖尿及白喉血清者。對於此種人之唯一答復，爲彼等苟出自願，儘可自處於無知。

無識中，但餘人若欲求知，則當任其進行以獲知一切事物。運動優勝者之『組成』，舍其肌肉及體格之一切機械動作而外，尚有許多事物，此固著者之所承認，著者且亦深知一切事業，無論其爲工作或遊戲，如欲成功，則必須具有勇氣，自制，決斷，及其他關於技能及了解上之種種性質。然在多種體育方面之成績中，能之供給及其經濟的利用實爲最主要之原素，此不可磨滅之事實也。今當舉事實以明之，俾可置信。其事實則得之於受測驗者A，其人吾已曾於圖四十九中見其奔馳之曲線，而於附圖二十三乙中可睹其所施之試驗。

A之最高氧氣借款額，爲吾人所能求得者，約計十三·七公升。其最高氧氣吸入量則如下：自休息完畢時起，一分鐘內爲一·七公升，兩分鐘內爲四·九公升，四分鐘內爲一一·八公升，十分鐘內則爲三二·七公升。假定其人於每一次奔走完畢時，業已完全力竭（苟未力竭，則奔馳尚當較速）而已盡耗其氧氣進益及銀行所認可之信用額（即指氧氣借款）在一分鐘內，吸入之氧氣爲一·七公升，借得之氧氣爲一三·七公升，故所獲氧氣，合計爲一五·四公升。既知其在一分鐘內所可用之氧氣爲一五·四公升，即可自一與圖四十九相類似之曲線（但每分鐘（非每百

碼)所需氧氣係以速度之函數 function 表示之者)求得與此氧氣量相符合之速度吾人所求得者爲每分鐘約四百八十碼。在兩分鐘內,所借得之氧氣仍爲一三·七公升,氧氣進益爲四·九公升,合計爲一八·六公升;每分鐘以九·三公升計,則自曲線上求得與相符合之速度爲每分鐘約四百四十碼。當作四分鐘之奔馳時,所借氧氣仍爲一三·七公升,吸入者爲一一·八公升,總計達二五·五公升,每分鐘得六·四公升,再查曲線則知其速度爲每分鐘三百八十七碼。在十分鐘之奔馳中,借得之氧氣仍爲一三·七公升,進益爲三二·七公升,合計四六·四公升,每分鐘得四·六四公升,而每分鐘之速度則爲三百四十八碼。凡此均爲吾人預期當受測驗者於所述各種時間內,每次竭其全力所能達到之最高速度。但其人適能記憶其奔馳數種距離之實際上最佳時間,故可與上述自計算而得者相比較。下列表格,取自沙勤德 Carpent 之論文(發表於 Proc. Roy. Soc. B. vol. 100, P. 11, 1926)足示二者間互相符合之之程度,幾高至令人不能置信,在另一試驗中,恐其未能若此適合也。

附 表

距離	離	百碼	1/4英里	1/3英里	1/2英里	1英里	2英里
出計算而得之最佳時間		三三·三秒	五一·五秒	一分十二秒半	二分一秒	四分四十一秒	十分十二秒
A之實際最佳時間		三四秒	五一·四秒	一分十五秒	二分二秒	四分四十秒	十分十秒

此表足示雖僅考慮受測驗者之能及氧氣之消費，亦足對於其成績作頗為準確之推釋。吾人須使受測驗者奔馳而測量其奔馳之效率，然後用與圖四十九相類似之曲線以紀錄測量所得之結果。再決定其可能獲得之最高氧氣進益及最高氧氣借款，即已具有全部根據，可以計算受測驗者奔馳於任何規定距離中之速度。著者深信苟以充分之注意，重施此種手續於其他運動家，則所得結果，大致必能相同。故在一方面言之，吾人用化驗室之測驗以計算及證實運動力量之主要元素，實已成功。

神經及肌肉之機械作用，大略如上所述。今日為工程學之時代，機器為人人所使用，而多人所製造，且有人竟能了解其一切。吾人生存時，無時不利用身體，而身體則造物所賦與之機器也。吾人多樂於使用此機器，且因其工作良好而覺自得，惟不能學習而得其製造之法，蓋人體當吾人生長

時即能造成其自身，吾人但能於其生長時扶助之或損傷之而已。然吾人可從事於了解此機器之一切，蓋使用為吾人所能了解之機器，樂趣較多，讀者對此諒有同情也。兒童間有不喜拆卸機器而目睹其運用之法者，雖成人中亦有之，人體固非可以拆散之物，然自有他法以獲知其一切。現今對於人體中具有生命之機械作用，雖尚未能完全了解，然即吾人所已知之少許，已足增加身體努力時之樂趣，且可使吾人深覺肌肉性、技能之複雜及力量與持久力之性質；而欲求獲得了解之努力，亦足以使吾人認識造物賦與人身一切計劃之瑰奇偉大也。

(註一) 在圖中所示之飛輪，其公式為

$$\text{工作之尺磅數} = 6.5 \left(\frac{x}{10} \right)^2$$

其中 x 為每分鐘飛輪旋轉之速度，如每分鐘旋轉四百次，其人已頗屬努力矣，蓋即等於在飛輪上完成一〇四尺磅之工作也。

(註二) 對於如附圖二十三甲所示之機器而工作，則其所完成之工作可以左列公式示之：

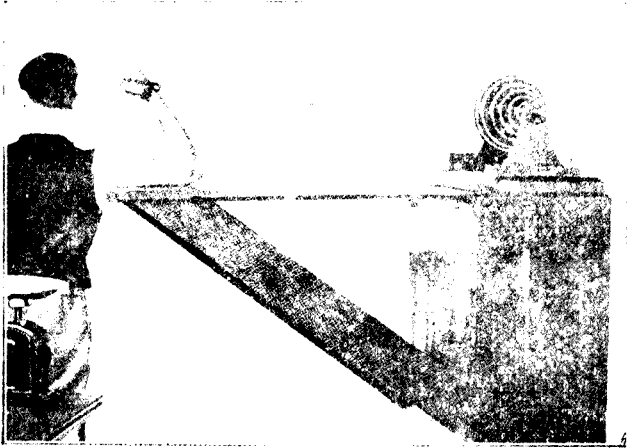
$$W = W_0 \left(1 - \frac{k}{t} \right)$$

此公式中， W_0 為完成之工作， W 及 k 為固定數，而 t 則收縮所費之時間也。尋常壯健之人，僅用其臂部雙頭肌及 *brachialis* 肌以作扯動（如附圖二十三甲）時， W_0 約等於十公斤公尺，而 k 則約等於 〇・二五。苟在肌肉之繼續受縮間，與以

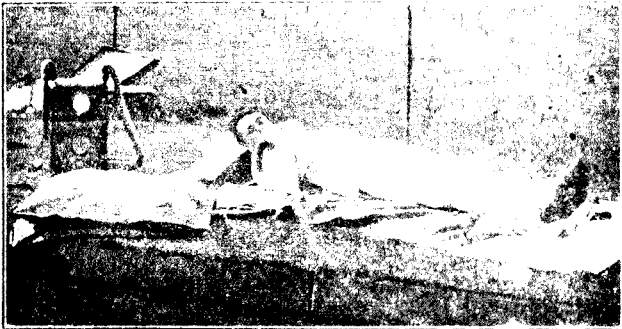
半秒鐘之鬆弛，若其人工作歷時一百秒鐘，則其所完成之工作（以公斤公尺計）如左：

$$\left(\frac{10000}{4 + 0.25t} \right) \left(1 - \frac{0.25t}{100} \right)$$

肌肉之收縮，假定其每次必竭全力，且不感覺疲勞。圖四十七所示之曲線，即示此公式計算而得。



甲。男子拉動車輪以計算肌肉收縮之最高額工作。此項工作，幾完全為雙頭肌biceps及brachialis anti u 肌所完成。



乙。倫敦皇后俱樂部內，測量受測者A之氧氣消費。



活
機
器

甲. 康乃年大學之跑道, 設有計時電綫圈以記錄奔跑者之速度。

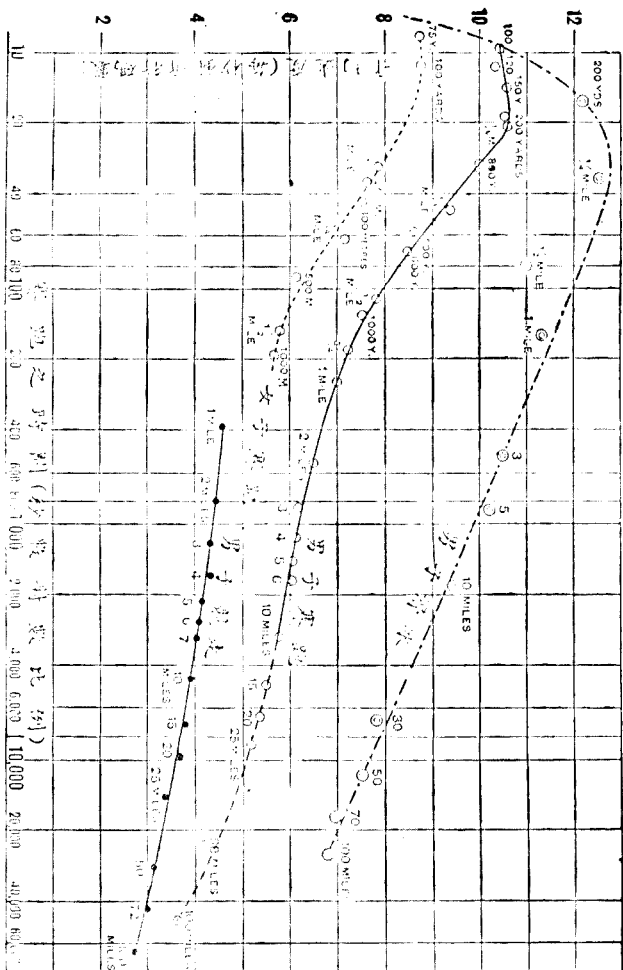


乙. 奔跑者來經過磁化之鋼片, 此鋼片能在電線圈中引起電流。

附錄一

各種賽跑之世界紀錄，見於各種參考書者，如 Whitaker's Almanac 或 World Almanac and Book of Facts。苟以圖表方法研究之，頗足發生興趣。當一九二五年著者在 Southampton 地方就不列顛會生理組 Physiology Section of the British Association 組長任時所作就職演講辭中，對於運動紀錄之生理根據曾加討論，而此文之於印刷後發表者，則附有各種圖表以示每種競賽之平均時間及其所佔全部時間。圖表中有各種曲線以示男子奔走，女子奔走，男子游泳，女子游泳，男子划船，男子乘自由車，及男子滑冰。圖五十一示此種曲線之數種。在普通方面此種曲線可以著者於上一講中所述理由解釋之。其中有足引起注意且頗具興趣之一點，則為代表各種記錄之點間有略在經過其他記錄點之線下者，亦有略在其上者。曲線下之各點，為記錄之比較易於超過者，而曲線上各點所代表之記錄則絕難打破之。蓋後者為運動家所最注意之事項，如四分之一英里及一英里等各種距離是也。

圖 五 十 一



同樣之曲線，可自各種賽跑中得之。自知距離以至長距離，平均速度於其初略見增加，蓋由人體出發時之慣性 *inertia* 使然，純粹為機械上之原因也。出發時，時間上全部因慣性所致之遲延達一秒鐘左右。此事在短距離中，其影響自較在長距離中為大，故二百二十碼之平均奔跑速度，較高於百碼。然實際上其真正速度已見低落。如百碼之記錄為九零五分之三秒，出發時遲延為一秒，則百碼中之速度每分鐘為一一·六碼，二百二十碼之記錄為二十零五分之四秒，若前百碼所費時間為九又五分之四秒，則其餘一百二十碼所佔時間為十一秒，在此一部份距離中，每分鐘之速度為一〇·九碼，固已較低於每分鐘一一·六碼矣。半英里賽跑中，其速度祇及二百二十碼中速度四之三，惟直至二十五英里賽跑，其速度方低落至半耳。由此曲線，可知極速之動作最足發生疲勞，而所能支持之時間亦極短，此與第六講所述之試驗結果適相照合。苟以最高速度之半進行，則其努力可以維持至數小時之久，決不致數秒鐘即須停止也。

今人以圖表方法研究各種運動及賽跑之結果者頗多，且欲於由此求得之曲線，尋取其方程式。自著者從事於運動生理之研究以來，此類論文之經發表者，已有若干，其中最可注意者為美國

開納來教授 (Prof. Kennelly) 所著 (見

Proc. American Acad. of Arts and

Sciences, Vol, 42, p. 275, 1906; Vol. 61,

P. 487, 1916) 以賽跑距離之對數 (或平

均速率之對數) 及所佔時間之對數作圖,

所得曲線, 在廣泛範圍內幾成直線。圖五十

二即示以此法製成之圖表。然開氏所述之

簡單關係, 究足以代表生理上事實至於何

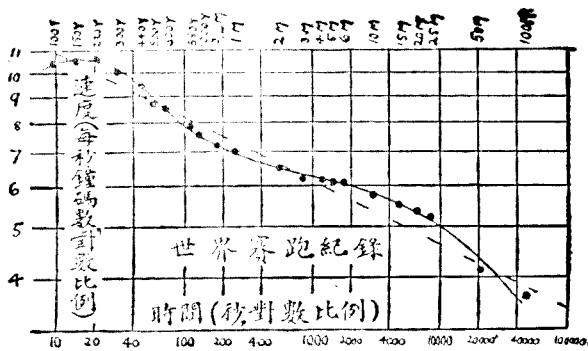
種程度, 頗為可疑, 且其線亦顯然非直。自生

理學的立場言之, 決定在規定距離中奔馳

之可能速率為奔馳時所耗之能量, 而根據

此項假定所得之方程式則殊與開氏所用

圖 50 二

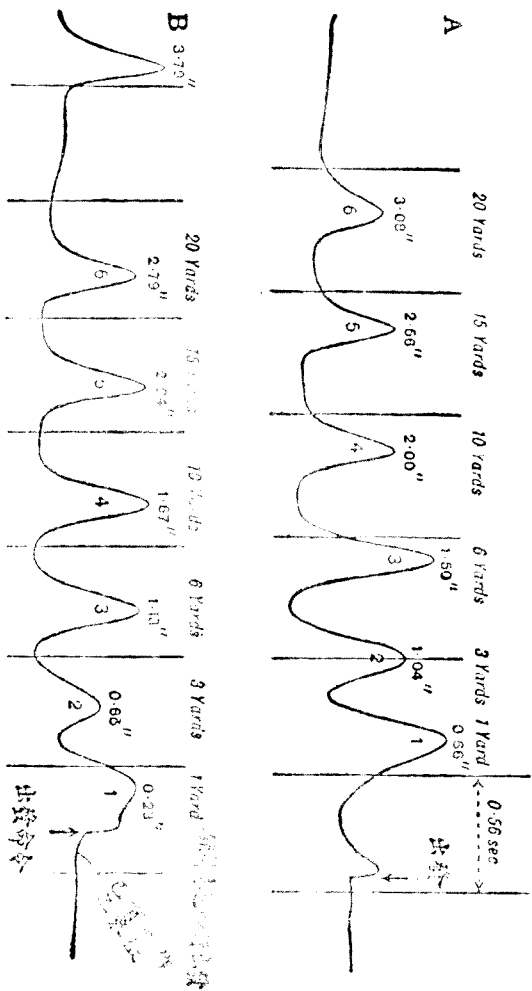


不同。且實際上猶有許多其他之複雜元素，故謂此種簡單公式而能應用適合，實非近理之談也。

若就用科學方法研究運動之立場以觀，則世界紀錄之圖表，實因其取材於各種不相同之人而頗成複雜，長於百碼賽跑者未必即為長於十英里賽跑之人，二者之體格構造往往頗有逕庭，且時有大相差異者。其內部之一切機械作用，差異更多。長距離賽跑家之動作更極經濟，而短距離賽跑家之主要需要，為巨額之最高馬力。若欲使求得之結果，為完全可自生理的立場分析之者，則宜求之於一人。須用受過訓練之運動家，長於吾人所欲研究之各種運動者（如競走，賽跑，游泳等），使其人常在訓練狀態中，然後求得其自最短至於最長各種距離之最佳時間。如此則可以避免因各種距離分別為數人所完成而發生之複雜元素。第六講中所述施於受測驗者A之試驗，為對於運動作定量研究之開始，頗望以後關於此類問題尚能作較為廣遍的試驗也。

附錄二

以科學方法研究各種運動，有特殊需要之事一，即準確之計時是也，非但於賽跑之全程中爲然，即其中之每一段，亦須求得其準確時間。平常用計分表 *stop watch* 以計賽跑之時間，實不甚準確，因其全恃觀察之人，而其人之觀察，容有錯誤也。況非用極繁複之方法，則決不能用計分表以求得二百二十碼中每十碼之時間。吾人今之所知，不過賽跑優勝者，經過全程所費之全部時間而已。苟能求得其出發時迅速若何，歷時若干方達其最高速度，及當疲勞來襲，則速度如何低落，實足以發生絕大興趣。用電力以計賽跑之時間，法頗簡單，其費亦比較不甚昂貴。附圖二十四甲示美國康乃耳大學 *Cornell University* 冬日之馳道，有電線圈一組，分置於距賽跑出發點一、三、六、十五、二十、三十、四十、五十、六十碼處。此種電線圈（每枚係二百圈絕緣之銅質電線所成）與篷帳中所置電流計連接成系，而可以攝影方法記錄其動作於活動之平光攝影紙上，所用攝影機，則與用於



用電力計時儀器所獲得之兩個紀錄。(自右至左)

細絲電流計者同。賽跑者攜磁鐵一小片，繞束腰際（附圖二十四乙）在附圖中，其人所攜，不過磁條一片，惟經磨去其齒並置於電流螺絲管 Solenoid 中加以磁化而已；其物輕而其彈性故絕不妨及人之動作。每當其經過一電線圈時，磁鐵即於電線圈中引起電流，而此電流則由攝影機中之溴化紙加以記錄，如圖五十三所示者然。圖中有記錄二，均須自右至左觀之。造成居上之記錄者能於十秒鐘疾馳百碼，而造成居下之記錄者，則不克臻此，惟鎗聲未起即已出發，故其到達距出發點一碼處，較早於前人者計○・四三秒，而於二十碼處，則較早○・二九秒。下列之表示其他兩組記錄，亦以此法求得者。第一組爲X所造成，其人頗長於賽跑（附圖二十四乙），第二組則爲Y所造成，其人則極不善此技，蓋即著者本人也。

距離(碼數)	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
X之時間(秒數)	○・三六	一・〇〇	一・六六	二・三〇	二・七二	三・二六	四・〇六	五・〇四	六・二一	七・六六
Y之時間(秒數)	○・八〇	一・七六	二・八二	三・九三	五・〇七	六・三三	七・七三	九・一九	一六・〇六	二七・三三

下列一組觀察成績，係自一良好之賽跑家（其人爲康乃耳大學之 H. A. Russell）得，於

二百碼間以最高速率進行時所得：

時間(秒數)	距離(碼數)
〇三・六	一
〇・七五	三
一・二〇五	六
一・七二五	十
二・二七五	十五
二・七六〇	二十
四・五九五	四十
六・三八〇	六十
八・一二五	八十
九・八八五	一百
一一・六九五	一百二十
一三・五五〇	一百四十
一五・四五五	一百六十
一七・四二五	一百八十
一九・四五五	二百

賽跑者於六十及八十碼處所置電線圈之中間，達到其最高之速度。在此二點間，其進行速度為每秒鐘一一・四六碼。

用此種方法，顯然可以研究『短跑』之一切程序，為昔日所不能知者。計時可達百分之一秒，或竟達二百五十分之一秒。全部佈置，其值不逾百磅，而所示結果則對於各種運動及運動家之研究有永久價值者也。無論何人，苟稍具電學知識，即可為之，而其平日維持之費，則舍所用攝影紙外，

亦殊無幾。

電線圈不定須置於馳道之側，亦可懸之空中。苟用電線圈六組，及如歐戰時探測聲音之電流計六具，則同時可以計六賽跑者之時間。此種佈置，苟用之於亞令匹克運動會中，當能發生異常興趣也。

