

萬有文庫

第二集七百種

王雲五主編

動物機構學

(上)

馬榮著

黃澹哉譯

商務印書館發行

萬有文庫

第二集七百七種

王雲五主編

動物機構學

(下)

馬萊著
黃澹哉譯

商務印書館發行

動物機構學

(上)

馬萊著

黃澹哉譯

漢譯世界名著

動物機構學

(下)

馬萊著

黃澹哉譯

漢譯世界名著

目次

第一編

第一章	力與器官	七
第二章	物理力的變化	一七
第三章	動物的熱	二六
第四章	動物的運動	三六
第五章	肌肉的收縮與功率	五二
第六章	動物中的電	六三
第七章	動物的機構	七五
第八章	器官與機能之間的和諧——進化的假定	八八

第九章 骨骼的變化性……………一〇七

第二編 機能——地上運動

第一章 一般的運動……………一二九

第二章 地上的運動（兩足動物）……………一四〇

第三章 人類採用的不同步態……………一五六

第四章 馬的四足的運動……………一七三

第五章 對於馬的步態的實驗……………一八九

第六章 對於馬的步態的實驗（續）……………二〇四

第三編 空中運動

第一章 昆蟲的飛翔……………二二三

第二章	昆蟲的飛翔的機構學	二四二
第三章	鳥類的飛翔	二五八
第四章	鳥翼在飛翔中的運動	二七九
第五章	鳥的翼面在軌道的各點上的變化	二九九
第六章	鳥翼的運動對於鳥身的反動力	三二三

動物機構學

小引

在各時代中常用機器來比較生物，但是直到今日，對於這個比較的意義與論斷纔有充分的了解。

當然從前的生理學家區別動物機體中的桿杆、滑輪、繩具、抽機以及活門，正如區別機器一般。在許多第一流的論文中，這全部機械的動作是稱爲動物的力學。但是這些被動的器官必需有一個馬達（電動機），他們說使這全部機構動作的就是生命，並且他們深信因此在非生物與生物的機器之間，有一條不可侵越的界線。

在我們這時代，我們至少要探求這種區別的另一根據，因爲現代的工程師創造了更像生物

電動機的機器，而在事實上，用了一點易燃性的物質，這些電動機就供給用以活動器官所必需的力，並且使這些機器執行各種最不同的動作。

用機器來比較動物，不但是恰當的，而且從各方面看起來是非常有益的。這個比較使我們明瞭生物中所發生的機械現象，就是把這些現象與相同但一般不大知道，而在普通機器的動作中卻很明顯的現象並列，在本書中，我們要常常從純粹的力學，借用關於動物生命的現象的綜合證明。至於機械學者也可以從研究自然而得到有用的觀念，這個研究要常常指示他怎樣用簡單的方法，來解決最複雜的問題。

動物的力學是一個極大的研究範圍。每一個機能都有一個特殊的機械，血的循環，呼吸作用等等可以並且應該分別討論，所以本書要限於從事研究一個機械的機能，就是各種動物的運動力。

說明運動力這問題的重要，是容易的，而這運動力的地上、水上及空中的不同形式，不斷的激起人們的興趣。人類是否會盡量的利用他本身與其他動物的動力；他是否曾設法擴張他的統治

權，而在海洋中開闢道路或自己升入空中；他的這種興奮總是從自然得來的，我們能希望對於動物運動力的不同方法的更深了解，必為新研究的出發點，而由此促成更大的進步。

每個科學的研究，本身都有一個有力的吸引，得到真理的希望，就是以援助那班研究的人努力追求。自然律的思考，就是那班發現這些定律的人的快樂之源。但是對於人文，科學祇是手段，而進步纔是目標。假使我們能指出一種研究可以引起有益的應用，我們就能誘導許多人去研究，否則他們祇是爲了好奇心而爭相追求罷了。在此我們並不詭然陳述研究自然所得的一切結果，我們要舉出對於自然更進一步，更審慎的研究所能得到的結果。

例如人類及大哺乳動物的地上運動力，至今還是一知半解。假使我們知道了在什麼條件之下，纔能得到生物所能供給的最大速率，力或勞力，那就必結束許多的議論以及不少無謂的推測了。一個時代的人不至爲了後來認爲無用而可笑的軍事訓練，而受責備。一個國家不至壓迫兵士運載重貨，而另一國家卻認爲最好的計劃是使兵士不載一物。我們應知道動物服務最多的速度，不論要他跑快，或要他拖曳貨物。並且我們也該知道什麼拖曳條件，是最適合於利用動物的體力。

在這意義之下纔有進步，但是我們若埋怨進步太慢，我們卻祇能責備我們對於運動力的機械學沒有完善的觀念。我們完成了這個研究，然後有益的應用自必立即隨之而起。

人類對於航海機械的製造，大受自然的鼓勵。假使船身模仿了水禽的形式，假使船帆抄襲了天鵝張開的羽翼，船槳像牠擊水的蹠腳，那這些祇是自然借給藝術的小小部分而已。二百多年前包來里（Borelli）研究魚的穩度及排量，發見了根據同一原則而建築的潛水艇計劃，而在美國戰爭時這隻可怕的 Monitors 出現了。

在現代的航海術中，關於動力學問題仍有幾點未明瞭。船應該要有什麼形式，纔能在水中遇到最小的阻力？應該選用什麼形式的推進器，以使機器的力用於最有利之途？對於這些問題最有研究的人，也自認這些問題過於複雜，而不能容納計算所決定為最有利於造船的條件。難道我們得等待經驗主義因為有害的猜想，而指示我們怎樣解決一個由自然給予我們這些不同解決法的問題嗎？聰明的建築家已進行創造這自然的推進器，他們造成了小船，有與魚尾相同作用的機器，左右的擺動。我們發見這工具雖則仍然不完善，但卻已成爲一個有力的推進器，也許勝過前此

所用的一切推進器了。

空中運動力一向激動人類最大的好奇心。這問題不知提出多少次，就是人類是否永遠要垂涎鳥及蟲的翼，他是否有一天在空中遊行，也像在海洋中一般？有不少的科學大家在不同的時期中。宣稱由於冗長的計算結果，證明這是幻想幻夢，可是許多申明為不可能的發明都已實現了。實則在自然的研究與實驗沒有正確的材料之時，一切的數學的採用是太早了，祇有正確的材料纔能作為這種計算的可靠的出發點。

因此我們要分析蟲與鳥的飛翔所產生的迅速行動，然後再想法模仿自然。此時我們又要見到於追求自然的鼓勵之中，我們有最好的機會解決自然已解決的問題。

現在我們就能證實在地上、水上與空中運動力的機械行動之中，沒有一點能越出我們所用的分析方法：我們不能再生產我們所了解的現象嗎？我們不要過於懷疑了。

化學在從事分解物質的時期中，久被認為必永遠不能再生產這些物質的。這使人灰心的預言結果如何呢？

我希望凡信奉本書中詳述的實驗研究的讀者都有這個覺悟：現在許多不可能的事，祇須短時間與大努力就能變成現實的。

第一編

第一章 力與器官

關於無機物界與生物界中的力。物質由其性質而表現。物質發生作用時我們就斷定有力的存在。從前承認力的多數，在無機物界中這些力有減至一個力的趨勢。力的不減性及其變化。根據古代生理學家的生活力的多數說。有幾個生活力變成物理的力。關於物理學與生理學的定律。物理力的一般學說。

我們祇能從物質的性質。而認識物質，而二者是不能分離的，性質二字並不與任何實在物相合，這是言語的一個技巧。因此屬於各種物體的性質的言辭如重、熱、堅固以及色等等，是指這些物體把我們由於日常經驗所知道的某種效果，來表現牠們的本身。

物質發生作用時，就是物質改變狀態時，就發生我們所稱的現象。並且我們用新的名辭稱產生這現象的未知原因爲力。一個跌落的物體，一條流動的河，一個使我們緩和的火，一個發光的電

閃，兩個混合的物體等等，完全與力的表現相符，就是我們稱爲重力、機械力、熱、電、光以及化學親和力之類。

在科學的第一時代中，力的數目差不多是無限的多，每個特殊的現象是認爲一個特殊力的表現。但是大家漸漸知道一個原因可以引起各種不同的表現，而從此一向所承認的力的數目大爲減少。

牛頓 (Newton) 把重與引力變成一個而相同的力。他從蘋果的跌落地，從星辰的維持在軌道之內，而覺察到一個相同原因——普遍的萬有引力——的不同效果，安培 (Ampère) 使磁成爲電的表現，從此光與熱被認爲是一個相同的力的表現，就是一個傳給以太的非常迅速的振動力。

在我們這時代發生了一個偉大的觀念，又把科學改變面目了。一切的自然力都變成一個力。可以變成任何的現象，可以成爲熱、機械力、電、光，可以引起化學的化合或分解。力又時時好像不見了，但其實是隱藏了。我們又能把牠整個的找出來，而使之重新循環的變化。

力與物質是不能分離的，並且也像物質是不滅的。二者都適用這絕對的原則：就是物質是不生不滅的。

我們在未詳細闡明「力不滅」的偉大觀念，以及力在無機物界中的變化之前，我們試先看。在有機物的科學中，是否已得到任何相同的通則了。

生物在表現感覺，智力與自然動作之中，表示本身與遲鈍而被動的無機物大不相同。動物的生殖與演進過於特殊，以致最早的觀察家在這兩個自然界之間，劃了一條分明的界線。

他們想像各種的力，而把生命的每個常態現象歸之於這些力，同時又有人支配凡有生命的東西可以得着的疾病的產生。

生命現象的複雜使觀察家許久不能辯別連合這些現象的關節，並且阻止他們把這些繁多的效果歸之於一個而相同的原因，而由此減少了最初所承認的力的數目。人類把他的幻想的假定作為現實，至此而止。不可解的魔力漸漸的把幻想支配了他，而最後他竟然否認物理定律對於生物有任何的影響。這個神秘說敘述有的動物能不受重量的影響，而且動物的熱是另一種的原

質，與我們的爐火之熱是不同的，有一種精細而不可觸摸的氣泡流動於脈管與神經之中。

至今還沒到解決這些謬誤的時候，但是我們能證明生命的科學現在趨向於物理科學所經過的變化，而後者的發展已概述於前。生理學有了經驗的指導，於許多的生物現象中探索物理的力，每天見到我們能應用普通的自然律的例子之增多。凡越出這些定律的現象仍為未知的，但卻不是不可知的了。在生命的現象中為我們所知道的，正是物理或機械法則的現象。

在生物的有機體中，我們要見到所謂的熱、機械作用、電、光以及化學作用等等的力的表現。我們要見到這些力的變化，但是我們切不可希望立即達到支配這些變化的定律之數字的測定。生物有機體並不適合正確的測量，牠的複雜性太大而不易於估價，而生理學家利用了最簡單的機器纔好容易得到這些估價。

每種科學，按其複雜的程度而多少必接近遲早務須達到的數學之精確。一個定律，祇是測定不同現象之間的數字關係，因此沒有完善無疵的生理定律。在生物的現象中，除了產生變化的狀態之外，是很難決定或預見任何事物的。至此生理學家祇得到像一個天文學家所必有的智識而

已。例如天文學家知道兩個天體之間的引力，隨二者的距離之增加而減少，但還沒有決定距離平方的反比律。或者他像物理學家，已證明了受壓的氣減少體積，但是他沒有發見體積與壓力之間的數字關係。

當然在生物的現象之間，是有數字關係的；並且按我們所採用的研究方法的正確程度，而定發現這些關係的緩速。

假使物理學家祇從事確定物體受熱之後就膨脹了，假使他們沒有設法測量這些物體的溫度，以及每次溫度變化時這些物體所取的體積，那他們對於物體受熱的膨脹現象祇有一個不完整的觀念了。許多年來，生理學家祇專心指出某某的影響增大或減少肌肉的力，使這些肌肉的動作速率發生變化，增加或減少感覺與原動力。在我們這時代中，科學愈形精確，而某種行動的強度與耐久，不同運動的形式，兩個以上的現象之間的連續的關係等等的測定；血的速度，以及敏銳或主動的神經因子的轉移的正確估計，這一切正確的測量都介紹給生理學了。我們由此而希望從更爲謹慎的測量，不久就要有更好的定律出現了。

我們在比較物理的力與鼓動生物有機體的力時，我們要認爲已知最近科學所採取的基本觀念，就是引起行動而使一切的力漸漸成爲一個的觀念。然後我們要對於這新學說加以概述：

一個學說的價值，是取決於所包含的事實的多少。物理力的統一說，有包羅一切事實的傾向。從看不見的原子以至天體，個個都受運動的支配，每個物體被一個極大或無限小的軌道所吸引。各分子之間的確定距離與支配牠們的運動相等，而有固定的關係，祇有增加或減少某定量運動時纔失去這關係。在大體上，運動的增加擴大各分子的軌道，並且由於擴大各分子之間的距離，而增加了各物體的體積。根據這定則，熱是運動的一個來源。在熱的影響之下，各分子愈分愈甚，而使各物體從固體變成液體，然後又成爲氣體。這些氣由於新熱量的增多而變得無限的膨脹了。但是給予各分子的運動以極大速率的力，就是在理論上所承認的力，由於實驗而變成確實可知的了。牠的強度，是用抵抗一個物體的膨脹所必克服的阻礙的方法來測量的。因此封鎖於機器的機筒中的氣或汽的分子，通到各部分及活塞——用以引起機械的行動的壓力。假使實驗的條件是相反的，這機械的作用就又變成熱了。例如一個外來的力若是推回抽氣機的活塞，那就由於劇烈的

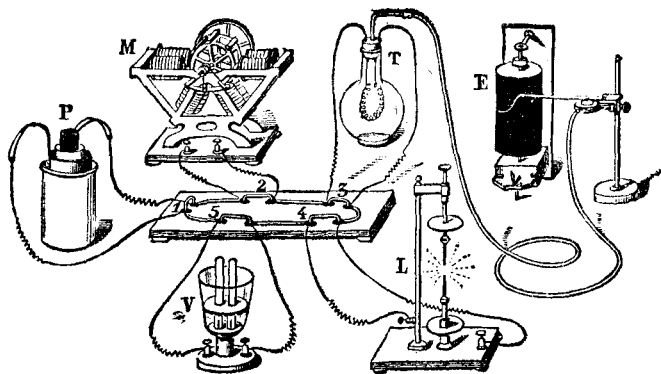
壓力而制止分子的運動。

這新學說闡明了有的假定，如主張承認熔解熱或物體的汽化熱、氣的膨脹熱等等。這新學說在另一方面卻壓倒有的假定。例如大氣壓力的發現排斥了現在認為荒謬的這個假定：自然與真空不相容。

雖則這學說不充分解釋光與電的現象，但因為這些現象與熱之間的十分類似，卻肯假定這些現象本身祇是運動的表現。加之，運動的變成熱，變成電，變成光，都可用實驗來證明的。

第一圖詳細說明這實驗。

在桌上安排了各種的工具，以使由蓄電池P所發出的電流通過全體。（註）這電流是由圖中小方板上橢圓形電路所傳導。這電路是用厚銅製成的，在有幾點上這電線被阻止而浸入盛水銀的杯中，從這些杯子中有其他的電線與傳導這電流的各種工具相通，在第一圖中，有金屬的橋1 2 3 4 5把各水銀杯連接起來，而形成一個完全的電路，以使電流通過而不必經過周圍的各種儀器。



第一圖 說明著電池中的電變成機械的作用，熱，光以及化學的作用。

(註)除了圖中的單一要素，我們必須採用一串本孫(Bunsen)的電池，以使這些實驗沒有缺點。

一四

假使我們把第1迴線移開，那經過這迴線的電流就不得不直達橢圓形電路，而不經過周圍的儀器了。但是我們若把第2迴線移開，電流就必通過儀器M，M是一個電磁的電動機。這個儀器要開始動作，而產生機械的作用。

同時我們試移開第3迴線，電流也必通過一個表記溫度計。(這工具的構造述之於下。這是一種雷斯(Reiss)的溫度計，是用鉛螺旋製成，電流由此通過，而導入一個滿盛空氣的瓶中。在通過的電流使螺旋發熱的影響之下，瓶中的空氣膨脹了，經過一條長管而到這表

記的儀器中，這儀器有一個金屬的鼓，在上端用一個彈性橡皮膜封閉着，在空氣穿入鼓中的時候，膜就張大了，而舉起一個表記槓杆，這槓杆在迴轉的機筒E的上面，追隨一個上下與溫度升降相符的曲線。）

我們移開第4迴線，就強使電流通過儀器L而發出碳點，就是電產出我們所熟稔的燦爛的光。電流經過伏特計V時，引起水的分解。電流的強度是用水的分解量來測量的，就是用解除的氫與氧的體積來測量。

第一、我們由這儀器見到電能變成M電動機中的連續機械動作，溫度計T的螺旋中的熱，碳點L之間的光，以及伏特計V的化學作用。

但是我們也覺察到在變形之中的電，是從電流抽出的，而後者的能量卻因此而減少。試舉一例，假使我們使電動機M動作，我們就要見到表記計指示溫度計中的熱的減少。我們若用手停止這電磁電動機，溫度立刻就增高，而表記的曲線上升了。

電磁電動機在動作時，我們看見光的強度減退，而伏特計中的水的分解變少。我們壓制這機

械作用的產生時，這一切的現象立刻又恢復原來的能量了。

在這時候，用於各種儀器的力，是在化學的作用之下而從蓄電池中放出來的。某數量的鋅變成硫酸鋅。因此蒸汽機的熔爐中，煤的燃燒（就是把碳變成碳酸的氧化）解除了熱，而這熱再變成功。

但是這從物體解除來的力，在鋅是金屬狀態，而碳是煤的形狀時，是包含在這些物體之中。這些物體構成時使用與發生變化時所放棄的同量的力。因此必須使硫酸鋅及碳酸恢復像放出的那麼多的電與熱，以再生產金屬鋅或純碳。

按現代的學說，在某時表現出來的力不是創造的，但祇是使潛伏的力顯示出來而已。

所謂張力，就是藏在物體中的位力，待機而表現自己。所以一個緊張的彈簧在無限期的終了，要送回用以伸張牠的力。一個重量舉到某一高度，在跌落的一刹那就恢復用以舉起牠的功。

第二章 物理力的變化

我們要證明力的不滅性，必須知道怎樣測量這些力。關於熱與機械功率的單位，熱力學的陳述，生物中力的測量，物體變化的連續狀態，在這影響之下力的遞次放棄，適用熱力學於生物。

我們見到力在不同的狀態中，也許現在是潛伏的，或在位的，或又發生作用，而變成熱，電或機械的功率了。

我們要追究力的一切不同變化，要確定沒有消失任何部分，就必須有一個測量力的各種形式的方法。化學家能證明物質的不滅性，他用一個天平，測驗一克（公分）的物質經過各種的變化狀態之後，仍保持牠的重量。不管這物質受稱時是液體的、固體的或氣體的，在各種最不同的體積與狀態之下，這一克的重量始終是一克。

因此對於力的不同表現，必須有一個測量。每個數量的熱、電或機械的功作，必須同一個特殊的單位相比較，正如每個重量務必同一個重量單位相比較。

熱的單位。我們從接觸各種物體而感覺的熱與冷，並不與這些物體所包含的熱量相符合。溫度計的儀器不能給我們熱量的測量，因為使我們感覺，並且溫度計表示同一溫度的不同物體，可以有極不相等的熱量。但是使同重量的物體熱到同度，那總是要用同一的熱量。

現在按法國及其他許多國家所協定的，熱的單位或卡路里 (Calorie)，就是使一仟克 (公斤) 的水從零度升到攝氏一度所必需的熱量。

功率的單位。機械力從功率的觀念輸入科學之後，纔有正確的解釋。法國所公認的功率單位就是瓦 (Kilogramme^{mètre})，換言之，就是使重量單位 (仟克) 升到高度單位 (呎) 所必需的力。

電力是用其效果之一 (水的分解) 來測量的，因為這證明分解同體積的水，總是要用同量的電。

這些對於作用中的力的測量，又供給我們用以估計一個物體中所包含的位力的方法。於此要說明在一仟克的煤中，在用以使煤變成碳酸所必需的氧量中，必有七千熱單位的張力，因為合

併燃燒所解除的全部的熱，必熱了七千仟克的水量。

但是一個燃燒的物質，未必總是完全氧化了；因此並不把這物質的張力中所有的全體的力，都發生作用。例如一仟克的碳，也許祇經過第一度的氧化，就變成碳的氧化物，而祇有五千的熱單位。這碳的氧化物又燃燒起來，變成碳酸，而祇得到其餘的二千熱單位。

上面我們已說過，物理力發生變化，並不消失變化的力的任何部分。要證明這一點，我們必須證明某數量變成功作的熱單位，能供給固定數目的麩枳，並且反過來，這功作在又變成熱時，能恢復原來數目的熱單位。

說明熱與機械功作之間的關係，並且規定熱的功當量的價值的科學，就是稱作熱力學。這個觀念，就是力的變化說的補充，就是證明這些力在變化之中毫無所失的觀念，真是可認為現代最超卓的觀念了。

先由沙地卡納(Sadi-Carnot)見到一部分，由梅耶(Mayer)明白的陳述出來，再由朱爾(Joule)用實驗證明，這力的等值觀念現在為一切的物理學家所公認了。每天有一個新的事實來證

明這學說，而使熱的功當量的測定更爲正確。現在一般對於這當量所公認的價值是四二五，換言之，等於四二五尅的功作必須變成熱以得到一個單位；反過來，能把在零度的一仟克水（若要變成功作）熱到攝氏一度的熱，又能把一個四二五尅的質量舉到一呎高。（註）

（註）里腦（Rebault）對於擊的速率及氣的擴張的實驗結果發表這當量的真值是四三九。在英國一般所公認的數目是七七二尺磅。

但是對於估計熱力學的變化，必有一個限制。沙地卡納懷疑，而克勞秀（Clausius）卻明白確定在用熱產生功作的情形下，熱不能完全變化，所以較大的部分仍然保持熱的狀態；同時在相反的情形下，爲此而用的功率，全部都變成熱。這並不排斥等值律，因爲若是在蒸汽機的例子下，祇有火爐所產生的熱的百分之十二的小量功率，是正確的；那消失的熱，產出恰恰與其機械當量相符的尅的功率，也必是正確的了。

這些觀念一輸入科學，生理學家就用牠們以闡明動物所產生的熱與功率的問題。生物的變成熱的機器，已經成爲半信半疑的觀念了。我們要看這新學說對於這問題有什麼說明。

我們曾說過力是產生於有機體之內。一切的生物都產出熱與功率，這些力的解除是由於食物的化學變化。

在生物中，可以約略測量所產生的熱量與功量，並且甚至能估計食物所包含的力量。我們要達到這一點，儘可以適用物理學家用以估計無機的方法。

因此，一個人坐在浴缸中一時，要給水某數目的熱單位，而這是很容易測量的。適用一架機器
的動作，一個人或動物的力能產生一樣容易測量的**鈣枳**。假使食物必須經過決定各燃燒物的熱力的實驗，那就必發見每個都包含某定量的位力。弗維 (Favro) 與薛卜曼 (Silbermann) 關於這一點，竭盡心力以得到最有價值的認識，而法蘭克蘭 (Frankland) 又繼續他們的研究。現在我們差不多知道了一切滋養物質的熱值，因此我們能計算這些物質完全氧化後所產出的力，不論是變成熱或功作。

但是我們已見到工業中所採用的燃燒物，並不總是完全氧化的。煤燒了一部分，產出固體或氣體的剩餘物如熟煤及碳氧化，而後者經過較為完全的氧化，就產出某定量的熱。消化的剩餘物

也是如此，也仍然包含未解除的力。這些力應該加以估計，假使我們要知道滋養物質經過有機體時失去多少張力，並且變成動力後應該又有多少。尿的分泌也排洩不完全的變化物，尿素與尿酸包含張力，而在計算時不可忽略了。

從肺部發出而飽和了空氣的水汽，離開有機體並且帶走了某定量的熱。這情形也發生於蒸汽機的汽鍋以及皮膚的蒸發中。

測量有機物的力的複雜，指示凡想證明動物中熱力學原則的人，必遭受許多困難。然而沒有證據而就承認在生物中物理力是不遵守自然律的，那是不合理的。有的確信熱力學定律的一般性的科學大家，曾用這些定律證明動物有機體。

比克拉(J. Beclard)是第一人證明在人的肌肉中，熱可替代機械功率，反之亦然。他爲此而考察兩個肌肉的溫度，二者都收縮了，但祇有一個動作；換言之，祇有一個舉起重量，而另一個不動。我們很可想到第一個肌肉的熱必較少，因爲在牠收縮時所產生的熱，必有一部分變成功率了。

支配比克拉的實驗的觀念當然是正確的，但是他用以證實肌肉的發熱的方法是有缺點的。

用一個溫度計在皮膚上，與肌肉的水準相等。以測量所產生的熱。比克拉由此而得到的溫度變化（按肌肉的動作與否）太小了，而沒有什麼真價值。

黑登海 (Hardenheim) 實驗蛙而得到較為明白的結果，他把蛙的肌肉收縮而產生或不產生功率，而用熱電的儀器來測量牠們的溫度。

漢因 (Hirn) 的實驗更進一步，因為他要測定生物電動機中機械功率的當量。

我們爲使漢因的實驗明瞭易懂，試考量一個較簡單的例子，就如一個機械師要確定一架蒸汽機的功率的熱當量，而知道這機器燒了多少小煤，發出了多少的熱，以及產生了多少的功量。

第一，他要估計應與他所燒的煤的燃燒相符的熱：他要證明他所得的熱較此爲少，而這是由消失某數目的單位而證實的，至於這消失他就認爲是熱變成「功」的結果。然而他既知道這機器所產生的耗狀數目，他祇要用失去的熱單位數目除這數目，以求得與每單位相等的耗狀。

漢因深信一個人所發生的燃燒，發出的熱，以及所產生的機械功率，可以同時加以估計。他把實驗的機器關在一間密封的小室中，使他轉動一輪，而這輪能迴轉而產生或不產生功率。

這小室中的空氣加以分析後，指示發出的碳酸是多少，而從這數量減去所產生的燃燒，以及這燃燒所必符合的熱單位。

這室中發出的熱是由普通的熱量計的程序所證實；而按所產生的功率說起來，這熱較小於用所發出的碳酸量應該產生的熱量。

失去的熱單位，是用牠們變成機械功率的原因來說明。

漢因從這些實驗推論到生物電動機的熱的機械當量的估價，但是他所得的數目與物理學家所確定的大不相同。我們想到這種實驗所必有的一切錯誤原因，這差別是毫不足奇的了。關於所發出的碳酸量錯了；關於解除這碳酸的化學作用的性質錯了，因此關於這解除所必產生的熱量也錯了；關於測熱室分散的熱的估計錯了；最後，實驗物所產生的機械功量錯了。在事實上，肌肉在舉起一件重物時的功量，是比較容易估計的，但是同時有構成功量的其他肌肉的動作，而至今我們還不能加以正確的估價。我們提及循環的運動，尤以運動器所產生的為甚。

我們對於確定數字材料的生理學實驗的批評，也可用以批評漢因。但是這實驗雖則不能予

我們以正確的測定，至少卻能使我們見到現象變化的狀態。這實驗說明凡產生外界的功率時，總要失去某定量的熱。在測量較多的蒸汽機的熱力學的變化，也不能更爲精確；但是沒有人反對這些電動機的熱與功，是按等值的關係而互相替代的。

第三章 動物的熱

關於動物的熱的來源。拉伏希 (Lavoisier) 的學說。這學說的完成。估計滋養物與分泌物所包含的力。這些估計的阻礙。滋養物質所產生的力，一部分變成「熱」而一部分變成「功」。有機體中的燃燒部分。腺與肌肉於動作時的發熱。發熱的部分。冷卻原因的阻礙。動物的溫度。動物溫度的自動調節。

動物的熱被認為是特殊的一種，為時頗久，大家以為這熱與無機物界中所表現的熱是不同的。這個區別是由於生物細胞組織變熱變冷的某種條件，而不容易發見這熱如何產出的，如何消失的。我們當然承認熱是與神經來源的影響相連的，因為我們見到某種劇烈的感情使人冷如冰雪，而其他的又使人突然變熱了。這些事實的說明，沒有一點是侵犯物理的普通定律。我們要充分了解牠們，就必考察有機體中各部分的熱的產生，以及熱的分佈。

我們早已確定滋養物是生物產生熱及肌力，所不可少的東西，營養不足就引起動物的冷，同時也減少動物的體力。拉伏希給我們一個有價值的比較，他把生物有機體比較一個燃燒或不斷

氧化從外界吸入的物質的火爐，這是從空氣中借用這些變化所必需的氧。這學說受了一切的抨擊而仍然成立，而且這些抨擊的唯一結果，祇是補充該學說而使之完善無疵。

我們試分析生物有機體與燃燒的火爐的比較，以得到二者的真比例。在二者之中，都有一個能氧化的物質與氧發生關係。但是在火爐中，自然氣與溫度已升高的燃燒物相接觸，而在有機體中，溶化於血中的氣與本身已溶解這液體的物質，或已深深滲入各器官的細胞組織的物質相接觸，因此這環流把解除力所必需的元素輸入有機體的每一部分。這些物件仍然互相接連而不互相引起反應，直到一個特殊的反應引起牠們的化合。這個職分——就像引起火焰的火星，也像發射火藥的帽的作用一般——是屬於神經系的。

這氧化終了時，而各功用所必需的力解放時，細胞組織中有些變成無用的物質，這些東西就像火爐中的餘灰，以及穿出煙囪的氣，這些物質必須排除了。於是環流又執行這職分，血就溶解碳酸與鹽（這些是有機氧化的最後產物），然後把牠們輸給（永續不斷的）排洩的器官——肺及腺。

在我們仍然深信熱與機械功率能互相替代之時，曾用估計一個動物在某定時所發出的熱量的方法，以說明生物有機體中所發生的一切燃燒。物理學家與生理學家竭盡心力以測定理想的熱（與有機體中所發生的燃燒相符），與受實驗的動物所供給的熱量之間的相等。

正如一架機器在工作時，對於測熱器所發出的熱，比一個使用同量燃燒物質的火爐所發出的熱較少；一個生物在執行機械的功作時也發出較少的熱。由於漢因的實驗，我們已見到完全是爲了實驗所得的熱與理想上估計的熱之間有差別，而我們現在要探求生物中機械功率的當量的價值。

不論在有機體中的力的不同表現是怎樣，這力總有一部分變成熱，而予動物以較高於他們的身體溫度。

我們難道不能由於證實動物身體的各部分的溫度，以發見形成熱的各位置，並且解釋這些燃燒（我們祇確定不明瞭的結果）的實在部分嗎？

現在我們證明肺（空氣中的氧由此而穿入身體）不是燃燒的部分，因爲從肺出來的血大

半比進入肺的血較冷。假使我們用兩條測熱針放到心臟，以證實從身體的全部靜脈而回到右心房的血的溫度，以及從肺出來而到左心房的血的溫度，那就要發見心的左邊的血較熱，因此可見熱大半是在環流之中所產生的了。

我們若要特別確定心臟的來源，就必研究一個特殊的器官，而比較從動脈到這器官的血的溫度，以及由此而到靜脈的血的溫度，這樣我們覺察在動作中的肌肉與在分泌中的腺，是產生熱的器官，並且在這些器官中發生最有力的化學作用。

但是我們在全部肌肉及腺動作之中而加以考察時，決不要想發見牠們的靜脈血的溫度會有不變的高低。這問題有第三個要點出來了，這就是在血經過這器官時所引起的熱的消失。然而身體的各部分不是一樣的受到熱的消失，最表面的就最容易受到，同時較深的器官卻避免了冷的原因。（註）在這些條件之下，腺中熱的每次解除必表現於靜脈血的溫度之升高。在另一方面，我們若把舌下腺曝露於冷天氣之下，而研究這腺的靜脈中血的溫度，就要發見這血比從動脈來的血較冷，從這點看起來，我們非斷論在這腺中沒有熱的解除不可嗎？決非如此：我們必須承認這

一點：熱的消失超過了熱的產生。

(註)我們要證實腺中血的溫度之增加時，我們爲這實驗，必須選定肝或腎的靜脈的血。這些是避免冷卻影響的器官。

總言之，在一切的器官中都產生熱，不過按其中所發生的化學作用的強度而有不同罷了。一個器官的溫度，自必來自血所供給的熱，來自牠的內部所產生的熱，來自牠所消失的熱。這樣，這是某部分的靜脈，例如四肢的靜脈，送回較冷於動脈所送回的血。像下肝靜脈，就送回比進入肝腺的較熱的血。在事實上，一切都補足後，變熱的靜脈血在生物機體中超過了變冷的血，所以血再進入心臟的時候比出來時較熱攝氏一度半。

這引起我們研究動物的溫度的問題。

在各種的動物種類之中，有的在產生熱的時候，必受周圍的溫度變化的支配，所以他們被稱爲冷血動物。現在他們被稱爲能變溫度的動物，這較爲正確。至於稱爲熱血的動物，他們有一種特性，就是血是在他們的身體的較深部分之中，溫度差不多總是固定不變，不管外界的熱的變化如何。因此一個人從南北極到赤道，在幾個星期之內也許受不住周圍溫度的華氏五十四度的變化，

但是他的血仍然保持華氏一〇五度左右。

我們很容易明瞭在有機體內部產生熱的不斷變化之中，以及熱的浪費的原因之不斷變化，祇有用一個溫度的調節器，纔能得到一致，現在我們要進行討論動物溫度的調節器的驚人功用的發展。

人類的工業常覺得很難有固定的溫度，或至少能抵抗過多的熱與冷的原因。一間溫室非低於即高過某個溫度。但是這問題是比較簡單的，溫室總是比外邊的空氣較熱，牠祇受強度的冷卻原因的支配，而這能由適當的熱的變化而補償的。

在動物的體系中，有兩個法則不斷的引起溫度在產生與使用時的變化。溫度的消失的原因，正如上述的例子一般。在一方面，就是我們的衣服保護我們以抵禦的周圍空氣的溫度，在另一方面，就是按空氣的濕量而發生由於皮膚發汗的蒸發，此外風的行動，氣流的動作，我們洗浴水的溫度等等的不同原因，都趨於增加或減少身體中所不免的熱的浪費。在這些影響之中，我們也得加入我們所吃的冷食或熱食，以及我們從肺吸進去的冷空氣或熱空氣等。這一切影響構成熱的消

失的一般原因。

在確定動物的溫度的另一能變的要點，就是在有機體內部所發生的熱的產生，而這熱以及熱的消失，在無數的影響之下發生變化。我們所吃的滋養物，由於牠們的性質與數量而影響於這內熱的產生。腺的功率引起熱的發射，而在肌肉動作的情形下也是如此，這動作必引起肌肉的發熱。

的確在某種限度之內，我們的官覺警告我們按外界影響的減少或增多熱的浪費，而限制熱的產生或增加之。因此所吃的食物數量隨氣候而變化，以使在酷熱的國家中的住民的沈着，在嚴寒的國家中是沒有存在的理由。在烈日當空的熱天中的不得已的懶惰，就是減少熱的產生的一種狀態。反過來，北歐的人用肌肉的活動，以補償他們所受的冷。

但是這些不是動物溫度的真正調節器。我們的意志命令這一切的動作，而這些動作的影響也許有益於我們的溫度的調節，但是在大體上，「自然」爲要得到生命所必需的機能，把牠們移開我們的意志的控制。我們要在一個自動的儀器中，發見溫度的真正調節器。

這個儀器必須同時服從外界與內部的影響，牠必須在熱消散過速時而保持之，在另一方面，牠必須在有機體中熱的產生過多時而減少之。

這二重的目標是由於環流體系的性質所促成：血管（爲伯納（M. Cl. Bernard）發見的神經作用所鼓動）在冷的影響下關閉，而在熱的影響之下開放。這個特質調節每個器官中血的行動，同時也調節整個體系的溫度。

我們試看一個剛殺死的動物，血的環流已停止了，而一切的機能也隨之而消滅。假使把這動物放在低溫度之下，他就變冷了。按物理的定律，四肢的末端及身體的表層最先失去熱，而中間各部分仍然十分熱，受表面各層的保護而抵抗減熱的原因。這個屍首就像一個無生氣的身體，受熱之後又變冷了，在有生命時，血的環流抵抗有機體中各部分的熱的不均分配。這環流把動脈血送到表層的各部分（約在攝氏三十八度左右），而在外邊溫度漸漸冷卻牠們時使之緩和。在另一方面，在生物中熱的產生若增多了，這血的環流就抵抗身體中部的無限發熱，牠把這熱送到表層，而由此熱因與外部較冷的介質相接觸而消失了。

因此血的環流的影響，是使有機體的溫度變成一致。但是這統一性從沒有完成。在事實上，在這動物處於攝氏三十八度的蒸汽浴的情形下（熱一點都沒有消失），身體的表層總是比內部較冷，但是這冷沒有引起什麼有害的影響，因為這冷並不影響於主要的各器官。

假使血的環流在每部分的速度是相等的，這種的一致不至引起身體內部所必需的一致溫度的保持。我們這時要見到這環流祇是隨熱的各原因的占優勢或熱的消失，而更受溫度的升降而已。要產生中部熱的統一性，就必需有一種影響每次增大環流的速率，以使有機體產生較多的熱，或使周圍溫度的升高而減少冷卻的各原因。身體的表層各部分的環流是變化極多的，而我們能由於觀察這些部分的不同狀態而加以確定——有時紅、熱、脹，有時白、冷、縮；完全是按環流其中的血的多少。這個變化是以小動脈的鬆縮為轉移，而這些小動脈的肌肉外層服從特殊的神經，在這些神經的影響（稱為血管的運動）之下，脈管收縮，環流延滯；而同時由於相反的作用，脈管的鬆懈加速了血的行動。這是溫度本身在調節脈管的鬆縮之中最有影響，所以動物的溫度在實際上有一個自動的調節器。

每個人覺察到皮膚中冷熱對於環流的影響。假使我們把一隻手浸入熱水中，而另一手浸入冷水中，前者就必變紅，而後者變白：因此可見熱能引起脈管的鬆懈，冷能引起脈管的收縮。換言之，按我們所看見的，熱由於對環流的影響而喜歡熱的消失，同時冷是相反作用的，而要減少冷卻程序的強度，並且這些效果不是祇在外界溫度的變化影響之下而產生的，在動物的熱於產生中變化時也一樣見到的。與肌肉的活動而俱來的，或由於吃極熱的飲品而發生的有機體的發熱，引起表層環流的加速率，而把這過多的熱發到外表。營養不足，肌肉的休息，冰水的飲食等等，延滯了近於表層的環流，並且制止其冷卻的作用。

這些是我們在這短短的一章中，所能說明關於動物有機體中熱的分配來源。血的環流對於熱的分配的重要，也許要加以更詳盡的敘述，而我們在別處卻曾詳加討論。在本章中，我們研究熱之力的表現，如此而已；並且我們也祇想說明這一點：不管一切的形狀如何，在無機物界中的熱以及生物界中的熱，完全是同性同質的。

第四章 動物的運動

運動是生命的最顯著的特性，牠影響於固體、液體及氣體。有機的與動物的生命之間的區別。我們祇討論動物的運動。肌肉的構造。仍然有生命的纖維組織的外形不起波動。肌肉的波動。震動與肌肉收縮計。收縮的許多動作。收縮對於肌肉震動的頻率的強度。纖維組織在身體中各部分的特性。

運動是生命的最顯著的特性之一，牠在一切的功用之中表現出來，甚至牠是其中一部分的要素，我們必須占很多的篇幅以說明血環流於脈管中的機構學，就是空氣怎樣穿入肺，而又由此逃出來；腸與腺怎樣永久的受緩而長的收縮的影響，這一切的運動，不受意志的指使而在各器官中發生，甚至常常有人發生這些運動而不自覺。這些就是有機生命(Organic Life)的動作。

其他的運動受我們的意志的支配，我們的意志統制牠們的速率，能量以及持久性，這些是運動的肌肉作用，以及關係的生命(Life of Relation)的不同動作，我們對於這些易於觀察，易於分析的現象的法則，要特加以討論。在此我們得說在有機生命的動作與關係生命的動作之間的

絕對劃分，不應完全承認。比加 (Bichat) 是確定這區別的人，他所根據的解剖學上與機能的區別，在今日不如在他那時的重要。有機生命的肌肉要素是無條紋的纖維組織，服從一個特殊體系的神經，稱爲大交感神經系。而意志對之沒有影響。這種纖維組織所產生的運動，有時在神經或肌肉受刺激後而表現出來，並且繼續很久。在事實上受這些動作（用以維持各人的生命）的人，使這些動作有特殊的性質，關係生命的肌肉要素，是一個有條紋形狀的纖維組織，而在意志的控制之下，牠的作用是取決於直接從腦或從脊髓發出的神經，這些運動一受到刺激，立刻就表現出來。牠們的延長時間很短，並且對於動物生命的維持不是必需的。

在大體上，這個區別雖則是正確的，但是未免太武斷了，並且我們能引述這區別對於牠所確定的解剖與生理定律的許多例外，因此心臟（一個爲有機生命所必需的，而不受意志支配的器官）是一個極像隨意肌肉的結構。有的屬於 *Tinea* 類的魚，在大腸中有條紋的肌肉，如韋伯所指出的。在另一方面，意志常常對於有的肌肉沒有控制權，而這些肌肉的構造以及激動牠們的神經的性質，是屬於關係生命的體系。此外由於反覆練習的習慣，似乎把意志支配肌肉的動作無限

的延長。幼小的動物的笨拙動作，指示他還沒有完全的肌肉機能。他似乎學習最簡單的動作而表現不出來，同時體育家或技巧的鋼琴大家奏演敏巧精確而有力，從所得的結果說起來，意志一點沒有費力。許多生理學家以為（我們也以爲然）在腦中及在脊髓中，有神經動作的中心，由於習慣而得到某種的力量。這些中心達到指揮及調整某部分的運動，而不用支配我們動作的推理及自覺的那部分腦力的完全協助。

我們姑且放下這些問題（現仍在研究之中），而考察一個隨意肌肉中運動的產生。發生運動的器官，是由幾種要素所組成。雖則如此簡單，也必需肌肉纖維，血管（不斷把化學原素輸入，而運動就是由此而產生），以及激起纖維的運動的神經。

生理學家要分析肌肉中所發生的運動時，他並不先分析隨意的運動，這太複雜了。他把一個肌肉分隔，而用人工的刺激放到牠的神經以引起牠的運動。

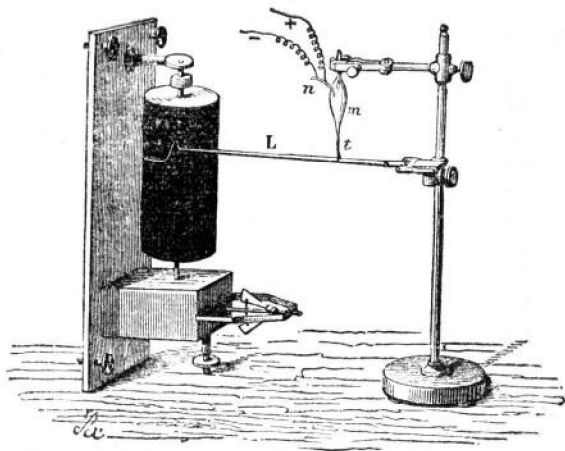
我們要明瞭主動器的每個要素對於產生運動的職分，祇要測驗一隻蛙的腿。把蛙腿展開，而分離坐骨的神經；對於意志於肌肉的影響必加壓制，以使肌肉祇執行由刺激其中所存的一部分

神經（電或其他方法）所產生的運動。在坐骨神經之旁有一個動脈及一個靜脈，壓緊動脈就阻止血流入肌肉，壓緊靜脈就使血停滯。於是我們可以觀察不同的環流狀態對於肌肉機能的影響了。最後，把腳皮切割就使肌肉暴露，而改變牠的動作的冷、熱或各種毒質，可以使之直接受影響。

蛙的神經受電的刺激時，肌肉中就產生一個極短促的痙攣的運動，德國的生理學家稱這運動為 *Zuckung*，而我們提議稱之為震動（*Shock*），以區別真正的收縮，這運動非常迅速，而我們的眼力不能區別牠的狀態，所以要確知牠的特性，非用特殊的工具不可，祇有自記儀器纔能滿足這需要，因為這種儀器能正確的把一切的運動狀態記出來。這些儀器形式的配置（在氣象學實驗中曾有長時期使用之），為一般所熟稔，氣壓計或溫度計對於力、風向或雨量等等的指示，是一條曲線記錄，按其升降而表現所表記的現象的強度之增加或減少。這些變化的完成時間，可以用曲線在紙上所占的時間的長短來估計，這曲線在表記筆之前按確定而十分有規律的速率而移動。

伏克曼，魯維及海姆荷茲等人首先對於生理學，採用這一種的工具。我們曾推廣這些工具的

用途於許多的現象，並且我們造成不少的工具，而在此不能加以敘述。表記肌肉運動的儀器稱作



第二圖 肌肉收縮計。

肌肉收縮計 (Myograph)，牠用一條曲線說明肌肉的變動，立刻使我們研究牠的狀態。我們在別處已充分說明這工具的性質，這工具所適合的實驗，以及這工具所產出的結果，此處我們要限於概述肌肉收縮計的主要結果。

爲充分說明儀器的功用起見，我們第一先使之歸於主要的部分。第二圖指示一隻蛙的小腿肌肉 *m*，用一個絞剪夾住這肌肉上部附着的骨頭。這肌肉的腱 *t* 割斷，然後用線縛在桿杆 *L* 之上，一端能升能低，而另一端是固定的。神經 *n* 能感電的刺激，而隨肌肉的鬆懈而引起一種收縮，這就是所謂

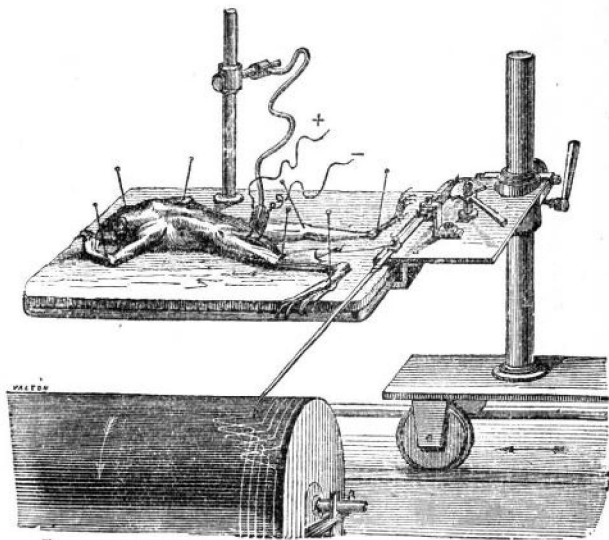
的震動。肌肉的這些運動每個都與或升或低的桿杆相通，而這桿杆在末端擴大牠所受到的運動。這桿杆在一個迴轉的機筒上追隨一種曲線，這些曲線上升就指示肌肉的收縮，下落就指示肌肉回到原來的長度。

按我們對於肌肉收縮計的配置，一個肌肉可以不用分離動物之身而受試驗，能使這器官仍保持牠的機能的常態狀況。

在第三圖中，受實驗的蛙是用針釘在一片軟木板上。

這蛙的腦及脊髓都預先毀壞了，以消滅一切隨意的運動及知覺。這動物在外表雖則是死了，然而在電的影響之下，血的環流及動力仍可保持幾個鐘點。一個電的刺激器把電流從感應線圈輸入蛙的神經。

我們要記錄這些運動並且用曲線描寫，以表現牠們的不同狀態，所以把這些運動移到肌肉收縮計，已述於上，這肌肉的腱割斷了，而用一條一端縛着自記器的桿杆的電線連起來。這桿杆受到肌肉的收縮力的影響時，就在橫面上移動，肌肉一停止動作，這桿杆處於一個彈簧的壓力之下，



第三圖 麥瑞的肌肉收縮計。

而又回到原來的地位了。這桿杆懸空的一端是一個尖針，在蓋着黑紙的迴轉機筒之上，畫出肌肉的收縮與鬆懈所引起的運動。

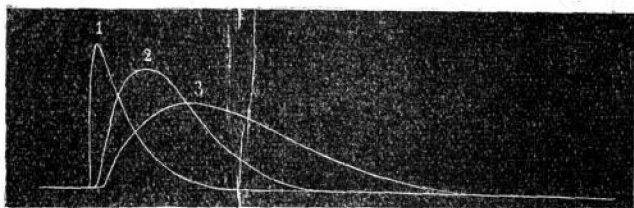
機筒不動時，這桿杆為每個肌肉的震動畫一條直線，說明（擴大之）肌肉的收縮範圍。有幾個科學家祇用這一種的肌肉收縮計，他們藉此以確定肌肉動作的強度的不同影響所引起的變化。使機筒急速轉動，可以得到一條曲線，牠的高度表現收縮的範圍，牠的斜度（常常變動）指示肌肉經過不同震動狀態的

速率。最後，我們爲要得到許多連續的繪圖，把這肌肉收縮計放在小軌道上，這軌道與機筒的軸線平行。這繪寫的尖針於是在機筒的周圍畫了一個無限的螺旋，而在這螺旋之上畫了一些有規律的漸次變短的曲線，這是由於一串相等距離的電的刺激，其中每條曲線都與一個電的震動相符合。

假使機筒轉動的速率增大了或減少了，曲線的形狀就發生變化，在紙上非占較大即占較小的地位。假使維持機筒轉動的一致速率，那祇要肌肉的運動不變，曲線就保持原形。

這些運動的性質在某種的影響之下，發生變動，肌肉的疲乏，這器官的冷卻，牠內部環流的停止，改變了震動的形式，減少了牠的力並且增大了牠的持久時間。在這些影響之下，筋肉收縮計的曲線經過不同的形式，就如第四圖中的 1 2 3。

在動物的各種族之中，震動的持久時間變化極大，而在鳥類中這期間就極短了（一秒的百分之二至三。）在人類中較久，而在龜與蟄伏的動物中就更久了。有的毒藥使這運動的特性發生極特別的變化，以致動物的環流中有一點點的毒就能從圖中看出來。

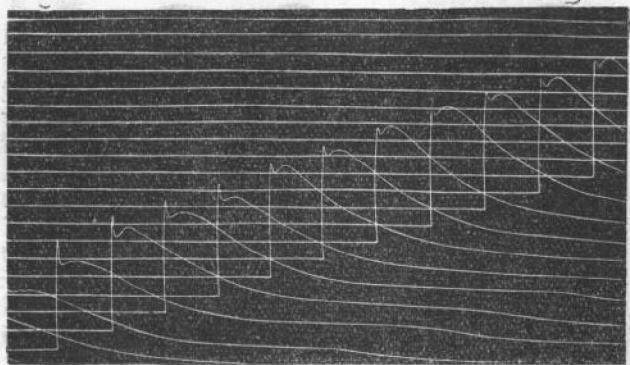


第四圖 震動的性質，按肌肉的疲乏程度而變化(1)未疲乏的肌肉(2)稍疲乏的肌肉(3)更疲乏的肌肉。

我們從第五圖，可以斷定一隻蛙的肌肉的震動所有的遞次形式，就是肌肉漸漸吸收藜蘆鹼後的變化。

這些實驗也祇表明一個事實：這是肌肉受一個運動的縮短或伸長，而這運動的狀態在我們上述的不同影響之下發生變化。假使我們要研究肌肉收縮的這個現象，我們就見到這祇是這器官的形式之變化，並且長度的減少同時必有一個伸展（就是不能壓制的細胞組織所發生的。）但是這伸展的狀態是很奇特的。

我們早已見到在活的肌肉受刺激的各點上，有一種瘤或結節流行於全部的肌肉，就像水面上的波浪。阿比（Aeby）曾說明這是常態的現象，並且他用肌肉的波動的辭來敘述這運動；而這波動從受刺激之點流到肌肉的兩末端，每秒約行一呎。我們用



第五圖 肌肉漸漸受藜蘆鹼的毒質後的震動之遞次變化。左下端指示受毒後的最初影響。

所稱的筋肉收縮計的絞剪器，可以在生物中確定這波動的實情。

肌肉中出現波，就必引起收縮。在波動流行之中，這收縮總是繼續下去，而在達到肌肉纖維的末端而波動消滅時，收縮就隨之而完了。

這些事實就像顯微鏡在生物肌肉纖維中所發見的。試從一隻昆蟲取出一束的肌肉纖維，而放在顯微鏡之下（甲蟲類最合此用）；第一我們先觀察這些纖維的美麗的橫條紋，然後我們看見上面有一種波動而常交替的運動，極像在水面上的波動。我們再仔細考察這現象，就見到這纖維的橫條紋在有幾點上是緊聯起來的，由於這纖維的伸展就可見到。這就

是顯微鏡所看見的波動，在這點上肌肉的縱凝結比其他部分的更爲不透明（見第六圖）。這不透明的波動流行於纖維的長度之上。換言之，這些條紋相接近的地點不是始終一樣的，縱凝結在一地點消散了，而在相近的部分又出現了。

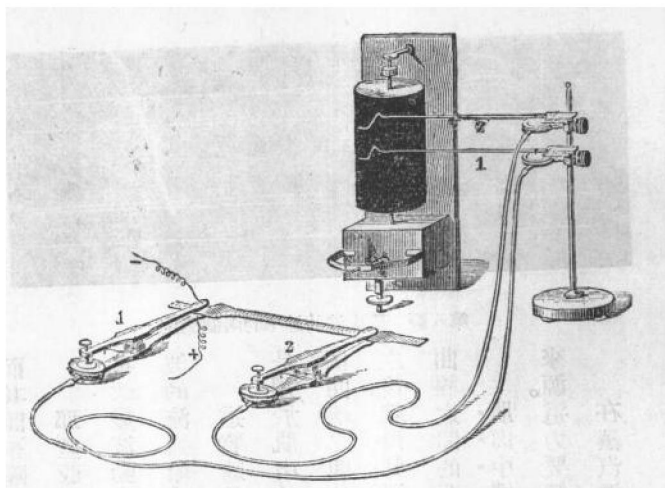
肌肉的收縮既是隨牠的橫伸展而發生的，我們就可按這伸展而研究肌肉中所產生的運動的特性了。我們已能表記肌肉的體積中的這些變化，就如我們表記牠的長度中的這些變化。在這些條件之下，我們可以研究人本身中的肌肉作用，因爲這不必割手斷腳就能進行的。

我們試假定在絞剪的兩平端之間有一個肌肉，這肌肉的每次伸展要使這絞剪張開，而這運動也可以表記的。這方法使我們能研究肌肉波的現象，以及這波動流行於全部肌肉的速率。

第七圖中有一束肌肉，兩端夾在筋肉收縮計的絞剪1與2之間。這些工具有特殊的構造，以使在兩端給肌肉的伸展推開時，這運動壓緊一種小鼓，而這小鼓把其中



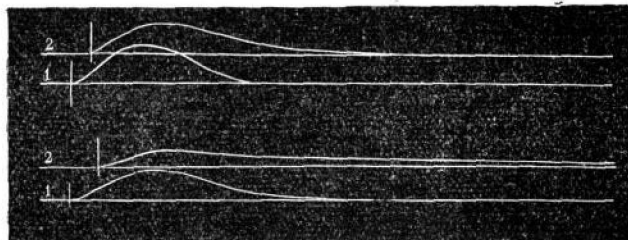
第七圖 肌肉纖維中波動所引起的形狀。



第七圖 把一束的肌肉放在一對肌肉收縮計的絞剪之間，絞剪1夾着肌肉的電刺激線，在波動越過每個絞剪時就表記出來了。

的空氣由一個彈性橡皮管送一部分到一個相似的小鼓中。第七圖指示這兩個小鼓是裝置在一個柱腳之上。鼓膜的膨脹舉起一個自記的桿杆，而由此表記肌肉受絞剪——的壓縮的地點的伸展。這運動也是由與上述相似的一個曲線所繪寫的。

我們試假定肌肉在第一絞剪的平面上受電的刺激，有個記號表示這部分肌肉的波動的形，但是絞剪2還沒有動靜。爲要使之動作，波動在流行於肌肉之中非達到這點不可。這情形發生時，絞剪2就發出記號，而由於繪圖我們見這第二次運動比第一次的較遲，



第八圖 肌肉波的速率的兩個測定。

而其間相隔的期間可以按機筒轉動的速率而加以估計。那些改變肌肉震動的強度及期間的影響，在我們看起來似乎也改變波動傳播的速率的強度。因此第八圖中下端的兩曲線，指示波的流通給冷所延滯了。

這實驗是用兔腿的肌肉絞剪分得愈遠愈好，約七釐米左右。電是用於肌肉的下末端，而第八圖的上端二曲線就由此而得的。這兩個曲線之間的距離，就是表示肌肉波流通的期間，這肌肉受冰冷卻之後，就得到圖中最低的曲線。我們見到波的流動延滯了，因為這些曲線之間的距離比第一個的距離較長。

肌肉中機械力的產生。我們已見到化學的作用是肌肉力的來源。這力要經過什麼介質纔變成機械功率呢？

在蒸汽機中，熱是燃料的氧化與發展的機械功率之間的必要



第九圖 用一條彈性橡皮把熱變成功率。

介質。在肌肉中也發生這情形，是很可能的。肌肉纖維中神經所產生的化學作用把熱解除出來。這熱又有一部分變成功率，我們說一部分，因為按熱力學的第二原則。熱不能完全變成機械的功率。

有的事實似乎能證明這些觀點：我們熱一個肌肉能使之改變形式，並且能看見這肌肉擴張闊度時收縮長度。在這肌肉冷卻時就沒有這些效果。

肌肉纖維把熱變成功率的力量，並不特別。例如彈性的橡皮也有一個相似的性質，而這物質能用以仿效某程度的肌肉現象。假使我們拿一條彈性的橡皮（未硬化的）夾在二指之間，而把牠

伸到比原來長十倍或十五倍的長度，我們就見到這橡皮變白了，並且是真珠色的。同時這條橡皮變得很熱，而要回到原來的狀況，所以我們若放鬆任何一端，牠就立刻恢復從前的長度，而降到原來的溫度，按我們的觀點，這能感到的熱消失了而變成功率。假使我們把這條伸長的橡皮投入水中，以消除牠的熱，那牠仍然保持其伸長的形狀，而並不發展任何的機械功率。但是我們若恢復這伸長的橡皮條所消失的熱，那牠就用力恢復牠的彈性了。第九圖說明一條彈性的橡皮如此伸長及冷卻。這條橡皮掛着一個重量，以使牠沒有恢復原狀的趨勢。但是我們若把這條橡皮夾在二指之間，就覺到牠在舉起這重量時同時也伸長與縮短，這是有機械功率產出了。

假使我們如此在各點上把這條橡皮發熱，那就必引起一串橫向的膨脹，其中每個都舉起某數量的重量，最後我們若使這條橡皮全體發熱，那除了懸着的重量所產生的小小伸長之外，牠必恢復原來的大小。

這些現象以及肌肉細胞組織中所發生的現象之間，有極大的相似點。這條橡皮上為熱所引起的波動若傳播於各端，那就完全相同了。在肌肉纖維中，這流動是指連續傳播解除熱的化學作

用。這就是我們若在一端點着一串火藥，這白熱就分散於全體了。

我們覺得這些相似點是很可注意的，牠們對於肌肉動作的來源予以新的觀點。

第五章 肌肉的收縮與功率

神經的機能。神經因子的速度。生理學中時間的測量。強直牽擊與肌肉的收縮。收縮的學說。肌肉的功率。

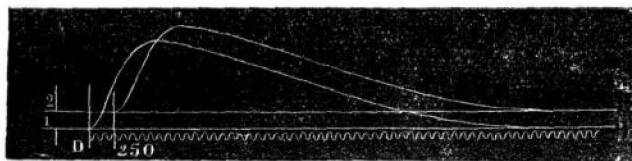
前章中所敘述的實驗，指示在人爲的條件下的肌肉，也許會引起我們懷疑所得的結果。用以刺激動作的電因子，能否與意志從神經送出以命令肌肉動作的未知因子同化呢？這些人爲的運動，這些短促的震動（肌肉的狀況若不變，總是相同的），什麼地方與意志所指揮的動作（形式與期間的變化極多）相像呢？這些異議至少值得我們加以簡括的討論。

神經的機能。一個神經受放電刺激時，所用的電並不總是通到發生反作用的肌肉，在神經上一切電流的傳播都受阻止時，也是一樣有震動，並且在採用另一完全不同性質的刺激物（如壓窄與撞擊）也一樣發生震動。因此所用的刺激物祇在神經中刺激牠固有的因子的流動。這神經因子本身豈不是電嗎？德國的生理學家雖努力研求（尤以雷夢（Reynold）爲甚，）但科學至今仍不能解決這問題，我們知道電的現象在神經受到一種刺激時產生的，並且這些現象的傳

播於神經線的速率，似乎與神經能量本身的流動率恰恰相等。這速率怎樣測量的呢？

海姆荷茲 (Helmholtz) 首告奮勇而從事這測量，並且他由於測定這神經因子的速率，而給予生理學家一個方法，使他們能測量與神經或肌肉機能相連的其他現象的期間。因此上述我們測量肌肉中波動的速率的實驗，祇是應用海姆荷茲的方法而已。

我們爲使這實驗的狀況明瞭易懂，試用一個比較。我們假定一封信從巴黎寄到馬賽，而我們是後者的居民，所以我們要知道郵車離開巴黎的正確時刻，同時我們除了知道這封信發出的時刻之外，對於幾時到馬賽一點沒有通告。按這些事實，我們怎能估計郵車的速率呢？當然我們接到這信的時刻並不指示火車到的時刻，因爲在到站與發送之間，有不少的手續如整理信件，發送等等所必需的時間，我們一點都不知道。我們要正確知道發送這信的火車的速率，就必從介於巴黎與馬賽之間的車站（例如地熊站 Dijon），得到火車通過的記號，於是我們要見到信是在離開地熊站後，而比離開巴黎後少六小時之內發送的。知道了這兩站之間的距離，我們就能確定所經過的時間，就是火車的速率。我們假定這速率是一致的，就可知道火車達到馬賽的時間，而這使我們



第十圖 測定人類中神經因子的速率(1)在極近肌肉而刺激神經時所引起的震動(2)在距離30釐米的地點刺激神經所引起的震動。(D)測時計的音義的振動，每秒振動250次，可用以測量與各震動之間的距離相符的時間。

知道用於整理及分送信件的時間。

海姆荷茲在實驗神經主動的因子時，先在離開肌肉極遠的地點刺激神經，而注意在這刺激分送神經所帶的消息，與肌肉中運動的出現之間所經過的時間。然後他又在極近肌肉的地點刺激神經，而確定在這些新狀況之下，運動更服從刺激的指揮。他從這兩個實驗所見到的時間的差異，測量在已知的神經上神經因子流動的期間，並且表示牠的速率，每秒有十五至三十次的變動。這在蛙就比熱血的動物較弱。

現在從海姆荷茲的實驗說起來，在刺激與運動之間所經過的一切時間，不是給神經因子的流動所占用了。但是肌肉在接到神經所送的命令時，於未動作之前滯留片刻。這就是海姆荷茲所稱的失去的時間。這個時間在上述的比較中，必與在信件送到及

分送之間的準備工作期間相符合。

生理學家會用海姆荷茲的實驗而加以修改。在第十圖中，可以見到我們在測量神經因子的速率時所得到的繪圖。

兩個肌肉的震動，連續的記錄於同一的機筒之上。我們要注意這神經必用兩個實驗而在不同點加以刺激，但同時注意到機筒的轉動。試舉一例，就是恰恰在筋肉收縮計的尖針經過與 1 及 2 的原線相符的縱線的時候。

在從事支配第 1 線的震動的實驗時，神經在極近肌肉的地點受刺激。在第 2 線的震動的實驗中，神經是在相離三十釐米的地點受刺激的。機筒轉動一致時，我們就能估計與兩個震動相隔距離相符的時間，爲使這距離的測量容易進行，縱線就指示這些震動的出發點。在第十圖中，這些震動相隔的距離與一秒的百分之一的時間相等，而在這時間中神經因子經過了三十釐米的神經，就是等於每秒三十呎的速率。我們要使這時間的測量十分準確起見，我們採用杜哈米 (Duhame) 的方法。這方法用機筒繪寫一個測時計音叉的震動，有一個極精細的尖筆在紙上畫線，我們

的一切實驗都用這方法。

我們再看看第十圖，假使劃分這兩個震動的出發點的距離，與神經因子通過卅釐米神經的時間相符合，那第1與第2線有更多的時間，就是在三縱線的第一條發出的刺激記號與第一個震動之間所測量的。這就是海姆荷茲的失去的時間。在這實驗中，這時間不止一秒的百分之一。

有許多生理學家以為在某種影響之下，這神經因子的速率會發生變化；就是熱使之增大，而冷及疲乏使之減少。

反之，我們卻以為這期間的變化，差不多完全是屬於至今尚未發見的現象，就是在海姆荷茲的失去的時間中肌肉所產生的未知現象。

正如郵局的郵務員，疲乏了或受冷了，以使信件的分送延遲，而帶這些信件來的火車的速率卻沒有任何的變化。肌肉也是如此，按其休息或疲乏，受熱或受冷，而較速或較緩的執行神經所指揮的運動。

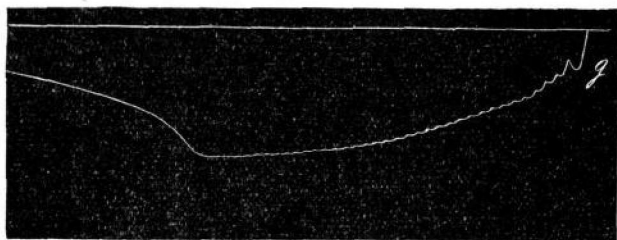
除此之外，一切使肌肉震動出現時發生變化的影響，也使波動在內部的傳播速率發生變化，

這證明這完全關於加速或延滯化學作用的各狀況——就是這一切現象的第一原因。

肌肉的收縮。至此我們對於神經祇用一個刺激，而祇引起一個運動——肌肉的震動。這雖則很短促，但這震動卻多少有一個期間的，在人類中，肌肉要經過一秒的百分之八或十的時間纔完成牠的收縮，而要更長的時間以恢復原來的長度。恢復後若從神經接到一個新命令，那就又發出新的震動，但是這神經的刺激若接連相續，而相隔的距離太短，以使肌肉在接到第二命令之前沒有時間完成第一震動，那就有特殊的現象發生了。這些運動混成一個永久的收縮狀態，而在刺激按短距離相繼時總是維持下去。

因此震動祇是肌肉機能的初步動作，這就像形成聲音的複雜現象中的洪亮震動。在意志命令一個肌肉的收縮時，神經在肌肉中激起一串的震動，個個緊相連續以使第一個未完了而第二個又開始了，因此這些初步的運動合併起來而產出肌肉的收縮。

伏特 (Volta) 在給亞丁尼的信中，指出這一個奇特的事實：一隻接受連續刺激的蛙（用兩個不同金屬反復接觸他的神經，）對於這些接觸並不反應，祇是受一種永久的收縮而已。韋伯說



第十一圖 遞增類率的電刺激所引起的震動之漸次合併。

明連續誘導的電流的作用也屬於這一種的，而他稱肌肉受這樣刺激後的狀態為強直痙攣 (tetanus)。海姆荷茲見到在這些收縮影響之下在牠的細胞組織的中心震動，因為把耳朵貼着這肌肉，能聽見一種聲音，而這聲音的尖銳正是取決於在一秒中送到肌肉的電刺激的次數。

用一個極靈動的筋肉收縮計，我們就能使肌肉在強直痙攣所產生的震動影響之下的震動看得見。

第十一圖說明一個肌肉的收縮怎樣表現這震動的熔解，外狀雖是永久的，但是從繪圖中可見到這些震動的形跡，從馬錢素在動物的肌肉中所引起的強直痙攣，以及由熱與化學品刺激神經所引起的痙攣，也可見到這些震動。

總之，這些隨意的收縮祇是一串的震動，由於牠們的急速連續

而合併起來。

我們早知道用耳朵貼着在隨意的收縮狀態之下的肌肉，能聽見一個沈低的聲音，而這聲音有許多科學家想加以測定。胡拉斯頓 (Wollaston) 霍頓 (Haughton) 以及柯命格 (Collongue) 諸人對於這聲音的性質的見解差不多相同，與每秒三十二或三十五的震動頻率相等。海姆荷茲 以為這每秒三十二震動的聲音，是肌肉收縮所發出的常態的聲音，並且按他對於引起電的強直痙攣的實驗，他認為這數目是用以產生受電痙攣的肌肉的不動狀態所必需的最低限度。

假使用肌肉收縮計而研究隨意的收縮，那就沒有震動可見，我們不必驚奇，因為這動作的主要性質是包含在這些震動的合併之中。但是隨肌肉的收縮而來的聲音，就是以證明這現象的複雜，我們試再引述一個有利於這學說的證據。在肌肉受到相等強度的刺激時，由此而發生的收縮比較刺激的頻率猛烈得多。現在我們試收縮我們的牙牀的肌肉，就能相信肌肉聲音的銳度隨用力的能量而增加，由此我們在肌肉聲音的調子中可以得到一個五音度的變化。

此後我們也要見到在收縮中肌肉的電的狀態，怎樣更證明這現象的複雜性。

我們所達到的結論是：在隨意的收縮之中，電動神經是連續動作的地位，其中每個都產生一個肌肉的刺激。後者又引起一串的動作，而各產生一個引起震動的肌肉波，我們就是必須在這肌肉的彈性中，探求這許多震動的合併的原因。這些震動的消滅，就像一架救火機活塞的跳動在牠的貯氣器的彈力中消失了。

肌肉的功率 我們見到機械力怎樣產生之後，就想加以測量——就是用瓦特（功率的測量單位）來比較，假使我們把一個重量懸着一個我們使牠收縮的肌肉的腿，那就很容易得到功率的測量，祇要把這重量乘肌肉舉起牠的高度。

在生物的電動機中，功率的測量比較難一點。有時一個動物的氣力是用以舉起一個重量，但是使用動物體力的動作，大部分祇能由於擴大機械功率的定義而加以估計。因此一匹拖船的馬，一個刨平木板的人，一隻用兩翼擊空氣的鳥，都是機械的功率，不過他們不舉起重量。我們要把這種的例子變成合於一般的定義，就得承認下列是表現功率的名辭：用力與所經過的空間相乘。加之這用力，總是可以與重量相比較（舉起這重量必用相等的力），所以我們說一個收縮或一個

衡量，與十或二十尅相符合。一個工人刨平或轉動一片金屬時，假使所用的工具祇有受到一尅狀的衡量才穿進去，那這工人爲要得到一尅狀的功率，就必刮下長一尅的質量。一匹用二十尅狀的力而拖一隻船的馬，在他走了一千呎時就必用二萬尅狀的力。

但是這仍然不能適用於一切的機械力。試舉一例，假使要用力以移置一個體量，那這運動所必需的力要隨加在這體量的速率而變化，我們試想像一塊木板懸着一條極長繩子的末端，祇要用極小的壓力加在這石頭片刻就引起運動了；同時用拳重重一打竟不至引起任何的移轉，因爲移置體量所必需的力，按加在體量的速率的平方而增加的。（註一）

（註一）這動作是用下列公式來說明

$$\frac{mv^2}{2}$$

加在一個體量的一個極短期間的力，祇引起一個不能移置牠的震動。但是這同一的震動，若是用一個彈性的東西來激動的，那就變成一個較長期間的動作了，並且不增加運動的數量而能產生功率了。

這彈性在動物的體系中引起利用這極短促的動作，就是組成肌肉波的動作，這祇支持一秒

的百分之幾的波動之形成，就代表每個要素應用肌力的時間。每個新的波動，必引起一個真正的震動，倘使纖維的彈性並不消滅這急動，或把這些急促的小收縮，變成使肌肉延長用力的漸增張力。

一個電動機祇在這兩重的條件下（發出力與完成運動）纔有作用。因此一個收縮的肌肉，除了收縮之外，沒有外部的的工作。在這肌肉一達到收縮的限度，就停止工作，不論發出的力是如何。我們舉起一個重量後而維持牠，這維持的動作並不形成功率。

但是在這些條件之下，要維持肌肉的伸縮力，內部引起與在工作時相同的動作，肌肉波按短距離而互相連續，而熱為化學的作用所解除。然而這本身不能變成作用的熱，非存在肌肉中不可，而使肌肉發熱。這正是我們所觀察到的，所以在稱為強直痙攣的病症（就是肌肉的永久緊張）中，確定熱是按過大的強度而產生的，全體的溫度上升幾度之高。

第六章 動物中的電

一切的有機的細胞組織差不多都有電。肌肉與神經的電流。電魚的放電，舊學說，這現象的電性質的證明。電儀器
的放電與肌肉的震動之間的相似。電的強直搔擊。電鰩的電神經中神經因子的速度，牠的放電的期間。

動物的或植物的細胞組織，大半是化學作用的地位，而由此引起電的不斷的解除。動物的神經與肌肉就這樣而予以動電的表現。麥惕西 (Matteucci) 發見了普通產生肌肉的電流的狀態。雷夢對於這電流，對於牠的強度，對於牠在肌肉每部分的方向，有更多的補充。關於生理學的論文，詳細說明與神經及肌肉的電流相關的各實驗，這研究得到更熱切的追求，因為想在這些電的現象之中，發見神經與肌肉的機能的近因。

與肌肉的電（關於力的變化）相連的最有趣的事實，就是一個肌肉在收縮時，或在痙攣時的電的狀態的消失。由此看起來，發於肌肉中的化學作用，完全是用以產生熱與運動。

我們要觀察這些現象，必須用一個極靈敏的電流計。假定一個肌肉與其中一個器具相連，牠

就發電流，並且把磁針移歪幾度。這針偏斜時，並且這針在地位固定不動時。祇要引起肌肉的強直痙攣，這針立刻就退回到零度了。這就是雷夢所稱的肌肉電流的負變（negative variation）。在肌肉的隨意收縮中也見到這同一的現象。

關於這負變的解釋是十分重要的。雷夢曾提出這一點：單一的肌肉震動不至引起磁針偏向零度，然後就結論這是由於隨一個震動而來的電變動的短期間。反之，在強直痙攣中，肌肉的電狀況的連續變更與所產生的連續震動相等——牠們的累積影響使磁針偏斜。

這現象為物理學家所熟稔，我們知道受屢次中斷的電流的電流計針，停在介於零度與牠所處的極點之間的一個地位，假使這電流是連續不斷的。

在延長震動的肌肉中，正如龜一般，電的狀態有一個極長的變動，因此這些肌肉的每個震動能引起磁針的偏斜。心臟的運動也是這樣，每個運動祇是心臟的肌肉的一個震動，但是牠使磁針偏斜，就如一個平常肌肉的強直痙攣一般。這事實：在非隨意收縮的肌肉中也見到負變，是十分重要的。這證實使收縮與強直痙攣同化，就是與中斷或振動的動作同化的學說。

有一個關於肌肉電的表現而討論頗久的要點，就是這負變是否由於肌肉電流的方向之改變，或由於這電流的暫時受壓制，有不少的實驗證明後一假定是十分可能的，而在這些實驗中，電流計的針從未退過零點之外。因此負變的現象，似乎能證明在本文開首時我們所定下的原則：就是力在活動與休息之中，用不同的狀態而在肌肉中表現出來，並且在機械的功率的形式下的表現，替代了電的表現。

電魚。動物的電，在有的魚所產生的放電中更為顯著。在這情形之下，有用以產生電的特殊器官，然而這些器官的構造，化學成分，以及對於神經系的依賴，使我們連想到肌肉機械的狀況了。有電器官的種類，從前限定為五；（註一）但自從羅冰（Robin）指出這魚屬射線的一切種類，有電機械及比較簡單的電機能之後，這數目增加了。加之對於這奇特的動作——就是所謂的放電——的分析，在物理學家本身知道了電因子的不同性質後，較有進步。

（註一）這五類從前稱為 *Raya torpedo*, *Gymnotus electricus*, *Silurus electricus*, *Tetraodon electri-*

cus 及 *Trichiurus electricus*

在十八世紀中，他們提到電鋪時，說道：「這魚被碰時放一種毒質，能麻木捕魚人的手。」默斯真卜魯 (Muschenbroeck) 在十九世紀中，確定了電鋪的放電的電性質。華爾希 (Walsh) 在一七七八年見到這動物所引起的麻木，與一架電機的放電所引起的麻木，一點沒有分別。他用許多實驗，來證明這魚所引起的影響顯然是電的。他使這放電受多次的試驗，而證明這放電有與機器的放電相同的效果。例如他證明用一個電的非導體作為相通的介質，那碰着這動物就可免危險了。此外他使這放電通過一排手牽手的人，而大家覺到由這萊頓 (Leyden) 瓶所產出的相同的效果。後來大維 (Davy) 用電鋪的電流而得到電流計的偏斜，在放電所通過的銅電線的螺旋中的鋼針之磁化，以及含有鹽性液體的分解。

貝克里 (Bequerel) 與白里斯希 (Breschet) 在電流計的電線中證明了這同一的事實，電流從動物的背通到胃。

關於火星的證明為期更晚。李那里 (Linari) 與麥惕西 二人用了各種方法中斷一個金屬電路（電鋪的電流由此通過），而得這火星。最聰明的程序是麥惕西的，他利用銼子試驗於下一個

附着一條銅電線的金屬板，放在電鰩的肚子之下，在牠的背上放一個銼子，而金屬的電線就在這銼上磨擦。然後對這動物加以刺激，而在黑暗中可見到一個或幾個火星在電與銼之間通過。在電路恰恰在電鰩的電流通過時而中斷時，大概就產生這火星。

這銼子的用處是很明顯的，阻力既使電路按短距離而關閉，而中斷，那其中必有幾個與放電相合，因後者也祇有短期間的。我們試觀察在電鰩的放電中所產生的兩個火星，明日指示這是一點期間的，至少用電線通過銼子的兩齒時所經過的時間來測量。

馬魯 (Moreau) 用一個容電器以收集這電而告成功，這容電器的金葉驗電器的表示，使他能測量強度的變化。我們已見到經過了多少的階段，纔認識電鰩的電的現象；以及物理研究對於這問題的進步，怎樣侵入了生理學的範圍。

然而上述的實驗所說明的電鰩的放電，好像是一種混雜的現象，其中緊張機器的影響似乎與流動池的影響相混了。我們有了新的研究，必須在電的表現系之中，指定電魚的放電所應占據的地位。

從生理學的觀點說起來，這現象有另一種的興趣。最近的發現趨向同化這電機械的機能與肌肉的機能。試舉一例，我們若比較某種魚的電器官的神經系的作用，與神經影響於肌肉的作用，那我們就得見到下列的相似點：

電的放電就像肌肉的震動，能在動物的意志的影響之下而產生的。這些放電也可認為回後的現象；電神經的刺激引起放電，就像電動神經引起震動一般。在神經割斷時，整個的電機械就麻木了，正如肌肉與神經分離的情形。在箭毒(curare)的影響之下，這麻痺也會發生的，雖則這毒對於電神經的影響似乎比對於運動神經的影響較緩。我們用馬魯的電的強直痙攣這名稱來說，這現象確是不但在電鰩的神經受急速相續的刺激時纔表現，並且在這動物受黎蘆鹼毒或其他引起痙攣的毒質時也有這情形的。

我們很可用魚的電機械的不同細胞或薄層，比較流電堆的各要素；並且很可按這觀念，而研究什麼是這些要素的電動力，以及這些要素的合併所引起的張力有什麼影響。下列是麥惕西的實驗的結果。

電鰩的一部分電機械（與一架電流計相連）產出與其餘部分相同次數的電流。由此而分離的稜晶愈長，這種動物的流電堆的要素就必愈多，並且在放電時電流計的偏斜就愈大了。至此電機械與流動堆是完全相似的，因為張力的增加影響隨所用的要素數目而增加。我們想比較從這機械各部分所得的電流的強度時，一切的電魚都有這相似點。

在電鰩中，我們發見放電在我們碰着牠最厚部分上機械的兩面時最大，這部分包含最多互相重疊的圓盤。在電鰻中（牠的電稜晶極長）我們見到這放電更爲強烈，這是由於要素的體積與數目之大。這放電與接受這衝擊的兩點之間的空間成爲正比例。在鯰類中也是如此，我們在相離更遠的各點上碰着這動物時，得到更大的影響。

在事實上，我們可以從這電鰩的電機械的一面得到這放電，這是由於接觸不均稱的部分，就是接觸流電堆的要素數目，因爲其中稜晶的長短不等而不大的部分。因此兩極性在這機械的同一平面上雖則可以是相同的，但這平面的各點上電的張力的不平均，足以引起一個電流與測定牠的方向。

至於電力的來源，我們以為現在沒有人能看見什麼，除了這機械的內部所產生的化學作用的結果。

但是生理學家在未達到這見解之前，提出了不少的假定，作為動物的電的來源。因此在雷夢指出神經的細胞組織有一個頗有力的電動力，並且在生物的神經中有一個固定方向的電流時，大家以為屬於魚的電機械的許多神經輸電於其中，正如血管供給血於各器官一般。麥惕西證明了電鰩的腦葉，是屬於牠的電機械的神經的來源。他觀察可以移去其餘的腦，而不使這動物失去了隨意或回復放電的力量，但是這腦葉毀壞了時，就不能如此動作了。他為這理由而稱這是電鰩的電葉 (electric lobe)。

在一個將死的動物不能再自然的放電時，麥惕西說要得更猛烈於這動物在活跳跳時所發出的放電，祇要碰碰這電葉。

然而把這思想：電是發生於電鰩的腦中，而由神經輸出；歸之於麥惕西時，未免太誇張他的觀念了。這就像說動力是發生於腦中，而由運動神經送到肌肉。電鰩的電是發源於這魚的特殊器官

中，正如機械功率是發源於肌肉中。我們見到電或運動的現象時，主動或電神經祇執行傳送從腦接到的命令之職。但是環流於神經中的電，不是在放電中所表現的電，麥惕西本人曾說這就像我們混亂了火藥的效果，與用以引起這爆發的起火藥。

因此最適當的學說，就是同化電神經與運動神經，同化放電與肌肉震動，同化連續放電與強直痙攣的學說。

我們為證明這學說，而想確定電鰻的神經傳出意志的命令的速率，是否與運動神相同。（註二）假使在電機械接到神經所傳送的命令時，像肌肉一樣，於未反動之前遲疑一刻（失去的時間），那這電鰻的放電（與緊張的機器所發出的相反）在事實上是否有能與肌肉震動的期間相比較的期間。

（註二）*Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*（一八七二）對於這些實驗有詳細的敘述。

我們已見到熱、冷、動脈的結紮以及某種毒質的作用，使肌肉震動的形式與期間大為改變。假使實驗指出了電鰻的放電在遲滯期間以及其方面，與肌肉的震動相符合；假使證明了在兩個情

形下，同一因子產生同一的效果，那我們就可使電的現象與運動的現象更爲同化。前者的生理學必說明後者的生理學的許多要點。

在意大利的那坡利住了幾個星期，我們能把這研究方法的大綱寫出來，結果雖不完全，但卻能使電的與肌肉的動作同化。茲將這些結果述之於下：

(1) 電鰩中電神經的神經因子的速率，好像與引起蛙的運動的神經因子相同。

(2) 海姆荷茲所稱的失去的時間的現象，也見於電鰩的電機械中，並且延持的時間與在肌肉中的差不多相等。

(3) 電鰩的放電不像緊張的電機械的放電，不是卽刻的。但是這大約延持一秒的百分之十，與蛙的肌肉震動的期間頗爲相同。

在此我們不能詳述得到這些結果的各實驗，但是我們在有的方面，要說明我們所用的方法。自記的儀器能測量時間的最小距離，這在我們討論神經因子的估計速率時已見到了。但是我們要用圖表的方法，就必有能發出所需的記號的動作。

因此在海姆荷茲的實驗中，肌肉震動本身報告神經所傳送的運動命令達到目的地了。我們要得到電的放電的記號，而用這電以刺激蛙的肌肉，所引起的震動印在自記的機筒之上。

在引起刺激之後，這蛙的記號機所現出的繪圖，的確受片刻的阻礙；但是這延滯是一個已知數量，而很容易加以計算的。

下列就是用平常的筋肉收縮計，來測量電鰻放電之前的不同動作的期間的方法。

在一個初步的實驗中（第十二圖），蛙的神經是直接受刺激的，而記錄刺激的時刻（ e ）與蛙所發出的記號（ g ）之間所經過的時間（ $e g$ ）。

在第二試驗中，電鰻仍然在（ e ）時刻加以刺激，而牠的放電的電，是用傳導電線（把電送到蛙的記號機的神經）來收集的。這要在（ t ）點發出震動的。

這差別 $g t$ 就指明電鰻在牠的神經的刺激與放電之間所消耗的時間。我們改變這試驗（就像主動的神經的實驗），就得到電神經因子的速率以及電鰻器中失去的時間的測量。（註三）

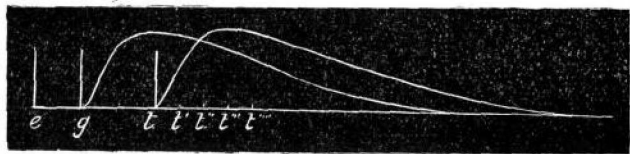
(註三) 我們沒有了適當的儀器，就不得不造成一種日記計，能正確的測量時間的知距離，對

於這些實驗的真正置配，請讀者參閱 *Journal de l'Anatomie et de la Physio-*

logie (一八七二) 凡用上述的日記計，都可得到第十二圖的繪圖。

最後，我們要測量電的作用的期間，就得採用這方法：在極短時間中收集這放電（一秒的百分之一），而送到蛙的信號機，並且漸漸變更電舖的電被收集的時刻，由此可確定從 t 點出發，在一秒的百分之十四的時間之中能從蛙得到一串的記號—— $t' t'' t''' t'''' t''''''$ 。但是超過這時間之外，這蛙就不發出記號，而由此證明這放電已完了。

我們對於電與肌肉的動作的比較，不能再進一步的追究。但是按實驗所已得的結果，我們能預見在生物中，這兩個力的表現——機械功率與電之間，必仍有新的相似點。



第十二圖 測量電神經的剌激與電舖的放電之間所經過的時間。

第七章 動物的機構

關於機械功率所表現的形式。每架機器必按牠所執行的功作而建造。肌肉形式與牠所完成的功作的相合。包來里的學說。肌肉的特殊力。關於機器，牠們祇改變功率的形式，而不增加牠的性質。生物主動力的交互運動的必要。生物電動機的動力能量。

假使我們對於生物界中熱，機械功率以及電的來源再三論述，那就是因為要明白確定這些力與無機物界中所見到的力，是相同的。早期的觀察家必見到幾個明顯的區別，但是科學的進步，愈形證明了這二者的相同，而這相同現在祇有仍然執迷於陳舊學說的人不加信任。

我們現在所必須專心討論的機械力，至今祇探求其來源，而我們卻必追求牠在動物的機構中，所執行的各種不同的功作。

在技術中所用的一切機器，都必有器官，用作我們所用的力與所必克服的阻力之間的介質。器官二字，正是解剖學家用以指定構成動物機器的各部分的名辭。力學的定律可以應用於生物

電動機以及其他的機器，然而這真理必加以證明，但是像其他的許多真理一樣，也是很久不爲一般所承認。

關於機械功率的形式。我們有某定量的力時，要利用牠就必在隨我們所欲產生的效果性質而變化的狀況之下，加以收集：

我們已見到對於實際所用的力的測量，就是阻力與其所必經過的空間相乘的積數。這個測量（兩個因數的積數）可以固定不變，倘使兩個因數按反比例而變動。因此一個大重量舉高一點點，所得的功率結果與一個小重量舉起較高的結果相同。

這要成爲同量功率的兩個不同形式。但是在這情形下，形式是十分重要的。要使所用的功率，可供利用，那牠的形式就必與阻力（就是必需完成的功作）的形式相同。

假使我們有一架蒸汽機的活塞作爲動力，而這活塞的直徑大，長度短，能把一百仟克舉起一釐米的高度，並且必需用這力的發動機把一仟克舉起一呎高（這也代表一仟克的功率）那這機器的主動力就不能直接加以利用；因爲在活塞擊動之後，一仟克的重量祇舉高一釐米，而我們

能用的力有百分之九十九未曾使用。因此每架的機器，務必根據必需克服的阻力所表現的特殊形式而建造。

用某種的新機器（桿杆或輪機的配合適當）的確能使某定量的功率變更形式，而用之於必需克服的阻力。但是這是本研究的題外目標。在目前我們祇論及力直接用於牠所必克服的阻力的情形，而這是生物主動力中極常見的情形。

現在我們討論這假定：一架機器的活塞的動力，必直接用以克服阻力。在這些條件之下，造機者必須考慮活塞的平面，以使這平面上的壓力恰恰與牠所必克服的阻力相等。他又要注意到機筒的長度，以使活塞能像阻力移動那麼遠。祇有在這些條件之下，這機器纔能執行所欲的動作，而利用牠的一切動力。反之，在適應一尅狀的功率必由於把一百仟克舉起一釐米高的情形下，機筒就必極大，以使在活塞的平面上的蒸汽壓力，能產出一百仟克的力。祇有機筒的長度如此，而活塞的運動纔僅僅是一釐米。

我們不能把上述之一的機筒替代另一個，因為在一個情形下力必不足，而在另一情形下範

圍又太小了。

在兩個情形下，祇有兩架機器所能做的功量是相等的，就是所用的力的積數與經過的空間相乘，而這又是機筒一部分的平面與長度相乘的積數，或者說這是每架機器所包含的蒸汽容積，這汽是假定爲在相等轉力之中。

在每個使用動力的情形下，必發見功作的物質體積與所執行的功作的這個比例。

兩個鉛體從相同高度跌落，必有與牠們的體積相等的功率，或者說與牠們的重量相等。兩條長短相等的彈性橡皮，二者都伸張到同一長度，所有的功率就與牠們的橫軸部分相等，因而與牠們的重量也相等。最後，兩條直徑相等而長短不同的線，按牠們的原來長度而受同一的伸張之後，在收縮時必有與牠們各自的長度，也就是與牠們各自的重量相等的功率。

這使我們想到肌肉。肌肉與我們上面所闡明的一般定律，十分符合。肌肉愈長，就是說肌肉的截面愈擴張，就愈能感到很大的力。但是在另一方面，一個肌肉祇按其本身的長度而收縮。我們可以估計使肌肉在非離開動物時而收縮的平均數，大約等於肌肉休息時的長度的三分之一，因此

一個肌肉所有的功率，必與牠的長度與橫截面，也就是必與牠的體積或重量相等。

因此根據肌肉的解剖學上的性質，我們能確定這肌肉所有的力（與同類動物的其他肌肉比較起來），以及牠的功作的形式。

肌肉（就是紅色的肉）的物質，在動物的各部分的密度是相同的，因此重量是最正確而最適當的方法，以估計兩個肌肉質量的相對重要性，以及預測牠們所能執行的功量。

至於肌肉的功率所必產生的形式，祇要從肌肉的形式而推定。假使肌肉是厚而短的，那就必產出一個與短射程相乘的大力。假使肌肉是又長又細的，那射程就較大，但祇產出小小的能量。

關於統制肌肉動作的定律，有許多例子可以證明——如 *sterno-mastoidal*, *sartorius* 以及 *rectus abdominis* 是長射程的肌肉，或者用別的話來表明，就是有大射程的運動的肌肉。這些肌肉的肉部分較長。至於大胸肌 (*pectoral muscle*)，臀大肌 (*gluteus maximus*)，以及顛肌 (*temporal muscle*) 等，是大而短的肌肉，就是能有大力而收縮不大的肌肉。

包來里已了解肌肉的力的定律，而在他的時代中功的觀念未輸入力學。他對於肌肉動作按

體積或長度的衡量而有的兩個相反特性，加以極明顯的區別。一個學說既然總必使人滿意，所以他要用肌肉構造的學說，來解釋這兩個不同的效果。

他說我們試想像一條用彈性環子做成的精細金屬練，而一個伸展力用於這練上。每個圓環要改變形式而成爲橢圓形，並且整條的練子必按其圓環的數目而伸長。這練在彈性的影響之下而恢復原狀時，必按其長度而變得更短了。包來里的這條精細的練，就是顯微鏡所表現的動物體系中的原纖維組織，但是他說我們若做成一束這些練子，其中每條練要按其圓環的彈性而抵抗伸展力，而這伸展的一束練子恢復原狀所用的力，必按同一的比率。

現在我們不用別法推論組織學已指示我們，肌肉中的一束纖維的動作，就像這位那坡利教授所提出的練子那樣合併起來的。

這位教授又論到其他問題，而研究這些纖維對於牠們所產生的力所加的影響。他提出這些在同一腱上而會聚的肌肉，就像在中心軸上的羽毛的鉤刺一樣，沒有與牠們的長度及截面積相等的射程或力。我們對於肌肉的器官中力的構成的估計，沒有什麼更正。

肌肉的特殊力。在人類所造的機器中，要知道活塞每次擊衝所產生的功量，測量機筒的縱橫面積是不夠的，我們也得知這蒸汽在什麼壓力之下動作，這是用蒸汽逃出時所能舉起的大氣壓的數量來測量的。在其他時，蒸汽的力是用牠對於機筒平面上每平方釐米，所加的壓力的仟克數目來測量的。在每個情形下，這是對於必加測定的某體積的蒸汽的特殊力之估計。

我們對於水壓機器，也必知道水或壓力的放射，以確定這機器所能執行的功作。

生理學家也曾測定各種動物中肌肉的細胞組織的特殊力，並且用肌肉橫截面的單位比較牠所能引起的力。他們就這樣而估計蛙的肌肉截面的每平方釐米，能產出六九二克（韋伯）的力，而人類的肌肉能產出一〇八七克（柯斯脫 Koster）的力。在鳥類中，這力大約是一二〇〇克（麥瑞），而在昆蟲中必更大（白拉杜 Plateau）。

按杜克海姆（S. Dürckheim）的意見，一個重二十釐克的鹿角蟲的肌肉，能載七仟克的重量，倘使我們測量力的時刻與阻力的時刻。

有了這些估計，我們可以比較生物動力與在不同壓力之下功作的機器。我們可以說這蛙功

作的壓力較少於一個大氣壓，而人類的壓力較大於一個大氣壓。在鳥類中的壓力較大，而在昆蟲中卻更大了。

關於機器。機械力因為與所必完成的功作形式不相合，而不能直接利用時，在技術中有各種方法使之變更形式。所謂的輪、桿、杆等的機械，為這目的而不斷的使用。在動物有機體中，也見到改變肌肉的功作形式的機具。桿、杆差不多完全給自然用以達到這目的，構成骨架的骨桿、杆的排置是大家所知道的，而不用在此說明，但是關於這點有一個極常見的錯誤，就是在生理學家中也常見到，所以有提出的必要。

在有機體中發見的桿、杆，差不多完全是屬於第三目，換言之，就是在肌肉的力是用於支點與阻力之間的地方。在這些條件之下，在桿、杆末端所能產出的力比肌肉的較小，但是這桿、杆的末端所經過的空間隨之而增加，所以力與距離相乘的積數仍然不變。

因此我們在許多第一流的論文中，見到告發自然的罪狀，而指出自然使肌肉在不利的桿、杆作用之下動作，而完全浪費了我們大部分的肌肉的力。他們為減輕這罪過，確曾承認這排置（從

經濟的觀點是不利的（給予我們一種優雅的形狀，否則就沒有，比如從胸骨到肘桿有一條長肌肉帶就不雅觀了。這些機械與審美的觀念，應由較正確的觀念來替代。總之，我們應記住一個肌肉產出與體積或重量相等的功率，不管這肌肉與所附着的桿杆的比例如何。後者的影響祇支配牠產出這功率的形式，而不加以增減。關於考量人類在功作中所用的桿杆的地位，也常犯這同一的錯誤。人類的力不能舉起某種重量，是常有的事；在這些情形下，我們憑藉第一或第二目的肌肉，而我們按桿杆的較長與較短的臂的比率，而增加臂力。

我們就這樣利用一個主動力，而這力不能產出外部的功率，倘使我們想使之直接影響於必須克服的阻力。但是一個增大所用的力的桿杆，減少相等的功率，而對於主動力所執行的功作一無所增。

在功率的觀念未輸入力學之前，並且在我們未明白了解不能用機構學以增加我們的力量時，有許多關於機構的地位的錯誤理想。我們想到埃及的奇大的金字塔，以及有史之前英國人所建立的石屋時，我們承認這些偉大的功作必先有極深湛的機構學的知識。即使在現代，也必要用

極多的時間以及大隊的工作，纔能執行這些祇用人力與動物力的相同功作。

我們決不能想像古代高爾(Gauls)人或埃及人，在機械功率的唯一來源是從生物而來的時代中，能避免雇用許多工人與經過長時間的必要。

但是我們處於較新較優的狀況之下，這是由於產出機械功率的機械的發明之賜。除了利用自然的原動力之外（如風與水），人類現在能使用蒸汽機，而由此祇要小量的燃料就能完成許多動物的功作了。埃及就是有了這些方法，纔能在幾年中穿過了蘇彝士地峽，而這個事業在四千年之前必須吸收許多年代的勞力呢。

生物主動力中交互運動的必要。一架機器的活塞達到擊衝的終了時，衝動這活塞的蒸汽非逃出不可，而這活塞必從相反方向回來以完成新的功作。肌肉也是這樣，在收縮之後，必須放鬆以重新動作。但是機械師曾發見在交互的運動中，引起功率的損失。在一個重物體迅速向前推進時，必從相反方向送回，第一必須消滅了這物體所包含的功率——就是動力。生物也正是如此，在一肢忽然伸展而要急速彎曲時，所必需的動量必先加以消滅，而這卻要用去功率。

機械師爲要防禦這主動力的損失，儘量的採用循環的運動，以替代前後的運動。因此人類在發明中常受自然所給予的例子的鼓勵，而在這情形下卻不遵從他的模型。他想超過這模型，而他是對的。要明瞭這一點，我們最好引述佛柯 (L. Foregat) 的一段話，他比較船的螺旋推進器魚的游泳器官，他說道：

「在我們的機器中，常有許多各相區別的部分，而這些部分祇在某點上互相接觸。在動物中就相反了，各部分完全是緊緊相附的，在身體中任何兩個部分之間必有一個細胞組織相連。這是由於不斷進行的滋養功用而成爲必要的，每個生物在生存期中非有這功用不可。加之我們能明瞭絕對不能得到一部分在另部分上轉動的連續運動，而同時仍保持這兩個部分的連續性。」

因此有一個極大的差異，分離了自然所用的機構與人類所發明的機構，前者必受後者所能避免的特殊需求。肌肉祇能在脈管及神經與機體其餘部分相連的條件下動作。身體中沒有一部分，甚至生活力最小的骨格也不能避免這要件。

在動物有機體中，我們可以見到許多其他的機械，而其配置就像人類所發明的機器，但是所

有的差異正是我們上述的各點。

試舉一例，在生物中血的環流，是由於一架真正的水壓機，有抽機，活門及管子。但是這複雜的機構與人類所造的機器之間的基本差異，是由於沒有獨立的部分，尤以活塞爲甚，心臟是一個沒有活塞的抽機，而牠的容量變化是由脈管本身的外衣的收縮性而來的。除了這個差異，我們就見到動物的環流器具與水壓主動力之間，是完全相似的。在兩個情形下雖有明顯的差異，但活門的功用是相同的。

上面我們對於血的環流，曾提出一個支配及增加心臟抽機的實在功率的勢力，這是取決於動脈的彈性。在水壓機中也是如此，人類採用了有彈性的貯水器，以盡量利用抽機的功率，並且使液體的運動成爲一致，雖則主動力有斷續的性質。這效果可以與前面提出的肌肉的彈性相比較。生物電動機的動力量。生物主動力與機器，是受同一的功率的估計，是用前者的動力量比較後者的。

與每秒七五瓦特相等的外部功率，是稱爲馬力(horse-power) (註1) 或用更普通的話來

說，就是一匹馬的主動力，我們假定一匹馬能產出同量的功率。

(註一)在英國馬力是公認爲每分三二〇〇〇尺磅。

但是動物電動機不能不斷的功作，所以馬力若用作一個主動力，在一日的終了必有較大於動物所能產出的功率。

人類的動力能量低得多（占一馬力的十分之一），但是我們倘若祇需要人的短期間的肌力，那必有超過馬力的動力能量了。在事實上，一個人的重量大半是超過七五仟克，每次人走上樓梯，而每秒舉高一呎時，這人就在一秒中產出與一馬力相等的功率。假使在這短短時間中，他上樓的速率每秒是二呎，那這人就必產出等於二馬力的功率了。

因此我們估計最大或最小的動物所完成的功作時，必認之爲普通馬力標準的一個倍數或分數。

第八章 器官與機能之間的和諧——進化的假定

身體中每個肌肉的形式，與牠所必執行的動作的性質完全調和。在不同的動物種類中，同一的肌肉必表現不同的形式，假使牠在這些不同種類中所必執行的機能不是相同的。胸部肌肉在鳥類中，按飛翔狀態的變化。在哺乳動物的形式，假使牠在這些不同種類中所必執行的機能不是相同的。胸部肌肉在鳥類中，按飛翔狀態的變化。在哺乳動物中，按飛翔狀態的變化。這和諧是預定的嗎？進化的假定。拉馬克與達爾文。

普通的機器與生物主動力之間的比較，若是指出了器官的形式與機能性質之間的密切關係，並且這個符合是受普通的機械定律的支配，那就不白費力了。我們見到一個動物的肌肉與骨骼的構造時，就能從牠們的形式而推定牠們所有的機能的一切性質。

我們知道一個肌肉的橫體積與其動作的能量相等，例如體育家，從他的皮膚下凸起的肌肉就認出來了。但是關於肌肉的長度，就是肌肉的收縮纖維的較小或較大的長度，在生理學上的重要，所知道的較少。但是包來里已有正確的說明了。按他的意見，這紅纖維的長度，是與肌肉所產出的運動範圍相等。

腱的收縮或紅纖維與不活動的纖維之間的區別，是十分重要的。實驗已證明肌肉在收縮時所縮短的範圍，就是肌肉的長度的一個固定分數。我們可以正確的估計這是牠們的長度的三分之一，這就是肌肉所能收縮的範圍。但是不論這收縮的絕對價值如何，這總是與紅纖維的長度相等。這就是引起肌肉中功率的現象的性質的結果。

因此凡是兩個連結點易於受收縮的影響而移置的肌肉，必為一個長的肌肉。反之，凡是產生短度的運動的肌肉，不論兩個連結點的距離多少，必為一個短的肌肉。因此手指與足指的屈肌是短的肌肉，但是牠們有長的腱，而把在很遠的前臂或小腿所發出的小小運動，也傳送到手指或足指的指骨去。

在一個死屍中，很容易估計一個肌肉對於連結的兩點所能移置的範圍。我們引起手足中屈曲或伸展的運動，就能很正確的確定這些運動把肌肉的骨質連結點分離或相合的限度，在一個新的骨骼中，我們也能從關節平面能交相滑過的範圍，而很正確的判定這些運動的數目。

考察人類的肌肉構造時，我們必驚奇縫匠肌 (*sartorius*) 之長。我們很容易見到沒有其他的

肌肉，能把牠的骨質連結點移置這麼多。其次最長的肌肉就是 *sterno-masoidal* 以及 *mag-nus rectus abdominis*。這些也是有極長運動的肌肉。我們可以檢查有機體的一切肌肉，而必見到紅纖維的長度與這肌肉所必執行的運動範圍相等。但是在這研究中，我們必謹慎而避免錯誤，就是把有的短肌肉列入較長肌肉之中了。

包來里本人也曾注意這錯誤的原因。他指出了羽狀肌肉 (*penniform muscle*)，就是纖維傾斜的插入腱中的肌肉（像羽毛的鉤刺的插入中間的羽軸），就是形狀像長肌肉的短肌肉。我們要了解有機體的各種肌肉的動作，就必注意這些問題。祇有用這方法，我們纔能估計牠們收縮部分的實在長度。

雖則在人類構造的解剖學中，處處見到各種肌肉的形式與機能的和諧，而然我們若把各種類的動物互相比較，那這和諧就更為顯著了。比較解剖學指示在關係密切的種類中，凡肌肉的機能不同時，這些肌肉的形式就有一個特殊的差異。因此在袋鼠中（是一種跳躍的動物），我們見到跳躍的肌肉如 *glutei*, *triceps extensor cruris* 及 *gastrocnemial* 等非常的發展。

在鳥類中，飛翔的機能在不同的種類中有極不同的情形，所以移動羽翼的肌肉（就是胸部肌肉）的安排，在不同的種類中也是極不相同的。要說明機能與器官之間的完全和諧，就必詳細討論飛翔的機構學，讀者以後必見到關於這題目的說明。我們目前祇略述在羽翼的運動中，以及在引起這些運動的肌肉的形式中，所見到的差異。

大家都說在有大大平面羽翼的鳥類中，如鷹之類，祇發出小範圍的擊衝，這是由於大平面的羽翼在空中所碰着的大阻力。

反之，有極小羽翼的鳥類，使羽翼大大的移動，而由此補償了在空中所碰着的小阻力，海鳩與鴿之類就屬於第二類。假使我們承認第一類的鳥必有強猛而限定的運動；而第二類必用較少量移動，但是擊衝的範圍較大，那結論一定是第一類必有大而短的胸部肌肉，而第二類的肌肉必長而細。實情正是如此，我們祇要大約檢查各種類的胸骨，就能證實這一點了，因為這骨多少能測量在牠側面胸腔中的胸肌，因此有長羽翼的鳥類，有寬而短的胸骨，而其他的就有長而細的胸骨了。



第十三圖 紅鵲的骨骼，翼極大，胸骨極短而深，即表示胸肌的大小與短度。

比較各種哺乳動物的對等肌肉，在我們現在考察的情形下也頗有益。但是我們常常因為難於認識這相同，而在比較時感到困難。有時十分差異，以致解剖學家對於不同種類的相同肌肉，用各種的名稱來說明。

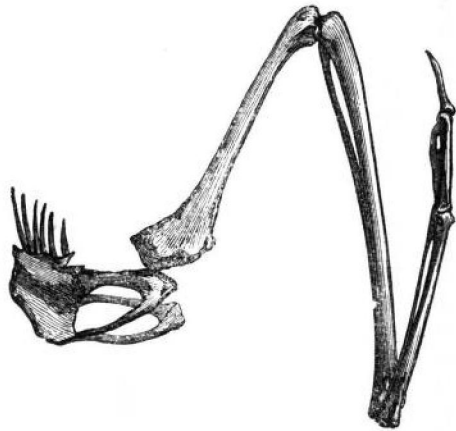
更有許多的例子中，這種相同沒有什麼可疑。這種相同是由於用相同名稱表示不同種類中

的某種肌肉。這些正是我們要舉例的肌肉，以表明機能與器官之間的和諧。



第十四圖 企鵝的骨骼：胸骨極長，翼極短。

因此在一切的哺乳動物中，很容易認出股部雙頭肌（*femoral biceps*）的，這種肌肉變化很大，尤以下部連結點爲甚，在有的四足獸中，這肌肉插入全部的腿，差不多到踵部。在這些動物中，腿



第十五圖 軍艦鳥的翼與胸部的骨骼，指示極短的胸骨與很長的翼。

從來不伸到股部。在有跳躍力的動物中，雙頭肌的下部連結點較高，在猴屬中更為顯著，腿差不多伸到股部而能站直起來。在人類中，雙頭肌是插入腓骨的很高部分。假使我們認邱維（Chieriet）與勞里拉（Laurillard）的解剖圖版為可靠，那黑人的雙頭肌的腓骨附着點，不如白人的那麼高，而與人猿之類的地位差不多。

目前我們暫且不論支配雙頭肌的運動的連結點，為什麼有這變化。我們祇論及這配置對於機能上所能引起的結果。在膝部的彎曲與伸展之中，骨的每部分在這關節畫了一個圓弧，而這圓弧比從運動中心退回時較大。這些部分各按其執行的圓形運動的範圍，而離開股骨或坐骨較遠或較近。大的運動既然必與長的收縮纖維相符合，那我們必見到在不同的哺乳動物中雙頭肌

的長短不等了。

這正是我們所觀察到的。在人類中，雙頭肌的下部附着點極近膝部，而能動的連結點的運動範圍不大，所以收縮纖維必較短，同時腱卻占了雙頭肌的一部分，在人猿中這肌肉的較低連結點，必有較大的移動性，因此必有較長的主動肌肉，這是由於腱的部分較短。在四足獸中，雙頭肌的腱差不多完全沒有了，而這肌肉的全部差不多都是由紅纖維所組成的。

大股的 *rectus internus* 肌肉的連結點與構造，也有相同的變化。假使我們考察這肌肉在人類中的排置（見十六圖），我們立刻就見到這肌肉與腿的連結點是極近膝部，而牠的腱是很長的。我們試考察這同一肌肉在人猿中的情形（見第十七與第十八圖），我們要發見這肌肉的脛節連結點離膝部很遠，而因為這連結點所執行的較長運動，我們見到肌肉的纖維因為腱極短而成爲很長的了。

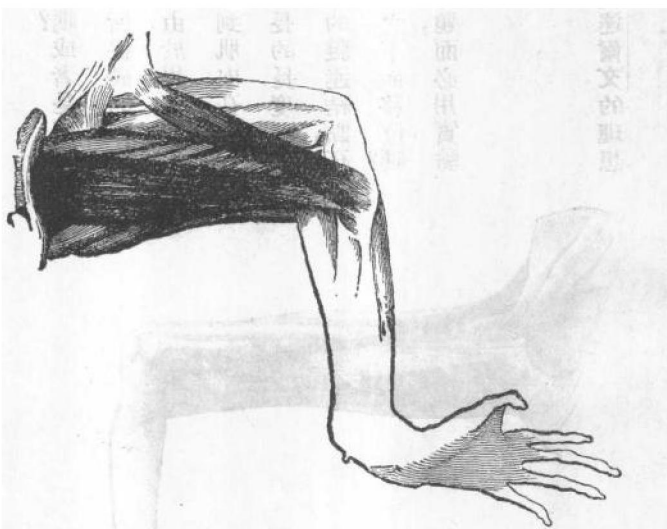
在半腱 (*semi-tendinosus*) 的肌肉中，這連結點的變化性仍然是很明顯的，而這肌肉之所以得這名稱，是因為在人類中，這肌肉大約一半的長度爲腱所占有了。在事實上，人類的半腱肌肉

的下部連結點是極近膝部的關節，但是在人猿中，這肌肉的連結點更低，而差不多完全沒有腿了。在其他的哺乳動物中有大部分完全失去這腿，例如浣熊（*coon*）之類。



第十六圖 人類的股部的肌肉，縫匠肌(上)與 *rectus internus* (下)加黑，以便容易認得出，*rectus internus* 的下端有一條長腱，肉的部分較短，以與這肌肉的小範圍運動相合，而其連結點極近膝部，縫匠肌在下部連結點有一條短腱。

我們可以無限的舉出例子，以證明肌肉形式與其機能性質的完全調和。這些器官的橫發育部分處與體力相連，如袋鼠的三頭肌以及獅子的咬筋等便是。並且肌肉的長度也是處處與運動的範圍相連，



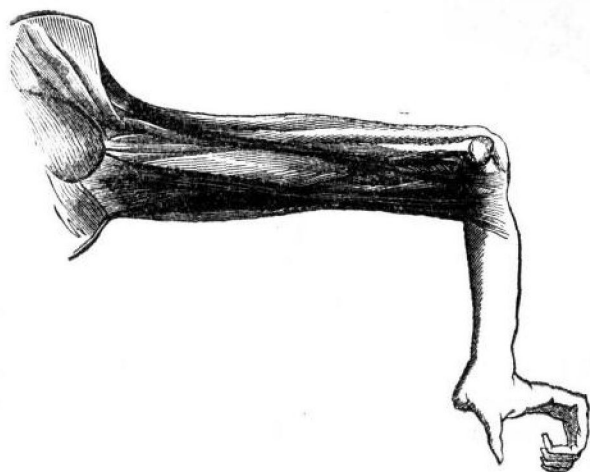
第十七圖 隻猴的股部肌肉，*rectus internus* 肌肉差不多完全是由紅纖維所組成，這肌肉的連結點離膝部頗遠，在把腿彎到股部時予以大範圍的運動，縫匠肌有一條極短的腱。

就如我們上述的各例子。

這個和諧是預定的嗎？或者是在不同動物的機能影響之下所促成的嗎？正如我們見到肌肉的體積由於用強力的習慣而增加，而我們也見到肌肉在較大的運動影響之下得到較長的長度嗎？我們能見到肌肉對於骨骼的腱連結點，在肌肉收縮力的變化影響之下而移位嗎？這是我們提出的第二問題，而必用實驗來測定的。

進化的學說

自然科學在今日從達爾文的理想



第十八圖 猿態的股部肌肉，*rectus internus* 離膝部頗遠，差不多完全沒有腱。上部連結點離 *Coxo-femoral* 關節極遠的縫匠肌，有極大的運動，因此這肌肉有很長的紅纖維，而不是長的腱。

的影響，得到一個極大的刺激。並非這位著名的英國學者的見解尚為一般所公認，我們最近會見到這學說的擁護者，怎樣的熱烈地否認這進化的假定。但是達爾文學說的出現激起很長的討論，而對於拉馬克從前所提出而主張生物可變性的議論，進化的主張者又加入了許多點。在另一方面，舊學說想不到為這種情感所維持，所以在今日，自然主義者分成兩派，凡專心研究動物學或植物學的人，差不多都加入其中任何一派。

我們在這兩派中之一，見到認有機物界不變的舊派大為減縮了。按他們的主張，動物與植物的繁多種類是限於某定數的種類，就是有使本身經過遞次世代（說起原到終了）的傳送力的不變種類。他們不承認種類有力稍為或暫時的背離原來的類型，這些小小的變化，是由於氣候或食物的變化，由於馴服以及其他相同的勢力；而在這些種類又處於牠的生存的常態狀況之下時，這些變化就不見了。於是原來的類型又復現牠原來的純潔性質。

在另一派中，他們的信仰是完全不同的。生物是不斷的受牠所居的環境，寒暖的狀況以及所得的營養物，加以改變。牠在新狀況下生存而不得不取的習慣，使牠得到特殊的素性，而改變了牠

的有機體以及身體的形式。並且因爲遺傳性在某限度之內，把祖宗所得的變形傳送於後代，所以種類是漸次改變的。拉馬克是這進化說的首倡者，而達爾文及門生喚起自然主義者的注意。達爾文對於這些能改變動物種類的外界影響，又加上一個原因，就是在這些改變有益於種類時，不斷的加以維持與增加。這原因就是自然的選擇。

假使誕生的機會，對於某種個體予以小小的改變，而使之更強壯或更活潑，總之更適於生存競爭，那這些個體爲這環境指定以再生產他們的種類。他們的體格優異不但增加他們的長壽機會，並且予以更多的繁殖時間。但是按達爾文的意見，在動物中的體格優異，使之在再生產方面超過其他同類。因此種類的全體必爲遞次得到的新性質而改變，每次有一個出生時得到較勝於同類中其他個體的才能。

舊派與進化說之間的爭鬪，尙有很長的時期，而二者都沒有能打倒對方的議論。大家都知道兩方面所主張的理由，而藉助於地質學，考古學，動物學及農學。這個爭鬪幾時並且怎樣纔能了結呢？沒有人能答覆這問題。但是我們根據了兩派的實在態度，而大膽的預測這爭鬪的結局，那我們

可以預斷舊派的失敗。他們的人數在事實上，是日益減少。他們顯然是很失望的，似乎承認自己不能有合於科學性質的證據，而庇護於與這爭執無相似點的正統派之下。

對於這兩個系統也許能提出一個異議，就是他們的議論中概括的地方太多，而不把爭論的要點明顯的表現出來。

因此我們必承認拉馬克在把生物有機體中的變化歸之於外界的環境時，於說明中太含糊了。在所證明的需要，與適合這需要的器官形式的出現之間有一個缺隙，而為他的學說所未彌補的。他說我們現在所見的動物種類，個個都十分適應他的生活——按他們的需要而有爪或蹄，翼或鱗，利齒或硬嘴——並非一向是在這種形式下生存的。他們是漸漸的得到這些不同的形體，而在現在與他們所生存的狀況完全調和。但是我們要求他指示我們這種改變在外界影響之下的完成程序，這位「動物學哲理」的首倡者，除了對於無關緊要的改變有所說明之外，沒有指示我們什麼。他反對科學的觀察不追溯世界的以往各時代。假使我們掘開埃及孟非斯城 (Memphis) 的墳墓，而告訴拉馬克這些動物的骨骼與今日的埃及人相同，那他必從容答道：「這是因為這些

動物生存於與今日相同的狀況之下。」這答覆無異攻擊，而一無所證明。我們根據如此的理由，真可以把我們的討論永遠的繼續下去。

達爾文主張自然的選擇時，較爲精確，今日沒有一個人不承認選擇對於改變有機物的類型的勢力之大。馴養畜類者由於不斷選擇有超等體格性質的個體，以供再生產之用，而引起了動物界中最奇異的變化。自然的選擇對於植物界也引起相同的變化，所以達爾文爲了我們上述的原因，不太偏於假定，而把變化的主要部分歸之於自然促成的選擇。但是達爾文以及拉馬克，二人都祇在狹小的觀點之下，而考量有機物的變化原因。這個學說的兩位領袖，都特別注意拉馬克所先提出的變化原因。

新派（由於適當的折衷說）想對於這兩種的勢力，加以適當的劃分，以說明生物中可驚的變化（由於遞次的變形）已給予贊助進化說的重要辯論了。但是有不少的大科學家，對於這些研究抱懷疑的態度，他們認爲動物種類的不變性與變化性，是屬於不可解決的問題之內。

的確我們若請進化說的一派，用實驗證明他們的學說的實體；我們若要求他們把驢變成馬

或其他相似的動物，那他們不得不承認他們沒有能力，並且他們回答說要實現這一點，必使之受幾百萬年的變化影響。假使真有變化，那種類的變化必經過極緩的變遷時間。因此沒有一個實驗上的解決法，這進化的假定既不能加以證明，也不能加以反駁。

有學問，而心目中祇有實驗爲主的人，對於這種問題是不感興趣的。在他們的估價中，這些是毫沒價值的。但是科學天天遇見這種問題，一個天文學家在研究使天體移動較緩的勢力時；在他預測地球經過幾百萬年之後軌道的改變，或我們的行星的轉動期的延長時——這種變化使地球上的一切的人類受非常的冷——大家都聽他的話，他說及行星轉動的延滯原因時。大家都知道這原因若延續許多時代，牠的影響必歷時而非常大了。沒有人請這位天文學家等待，直到幾百萬年的時間證明了他的理論的正確。

我們爲什麼對於進化的學說這樣吹毛求疵呢？我們說這學說不能把動物從一種變成另一種的情形給我們看。這是對的，但是這學說卻能指示這種變化的趨勢。不論這變化是多麼小，但在許多年中累積起來，可以成爲我們所想像的那麼完全的變化。

但是即使在今日，我們也有權要求進化說的擁護者，指示我們這個趨勢。他們應使我們見到個體受到某種影響時，在解剖性質上的小小變化，而這些影響世代相繼，終必引起種類中最重要

的改變。沒有人否認個體的形態特性，是按不同的程度而傳給子孫的。我們要證明的一點，就是外界原因把最初的改變加諸有機體的狀態。這種的研究是屬於實驗的生理學，而這科學就是現在也能予我們以可靠的論據。

在拉馬克的時代中，科學的邏輯不很適合牠的需求。按他的意見，一個感到的需要，引起滿足這需要的有機形體。

有一種鳥慣於在水底尋覓食物，而不斷的用力伸長牠的頸。而牠的頸變長了。又有一種鳥要

走在水池中而不至弄濕牠的羽毛；使腿伸長的用力，漸漸給予牠們如涉水鳥中所見到的大小。長頸鹿因為要吃樹木的葉，而得到奇長的頸部椎骨。

拉馬克當然把為種類的利益，而不斷的累積各個體為本身利益而得到的性質的機能，歸之於遺傳。但是他並未指示個體本身在外界環境的勢力，以及他被迫而得的習慣勢力之下，所得到

的小變化是怎樣的。亨德 (Hunter) 在不同科目的科學中，也用同一的態度來推論。在他要說明傷口的疤痕結成與折骨的結合時，覺察血有應供給新細胞組織的必要，但是這血爲什麼把這些元素送到需要牠們的各部分呢？他說道：「這是由於需要的刺激。」

今日我們要設法正確陳述原因與結果之間的關係，以確定動物或植物的有機體，在發見本身處於新狀況之下時，所能經過的漸次變化。我們瞥見機能加於引起牠的器官的影響：桂林 (J. Querin) 的短而精警的公式：「機能促成器官」概括的表示機能的改變作用。這公式用各別的例子來證明時，能得到更大的力量。

我們必須說明骨、關節以及肌肉，由於各種機能的影響，怎樣發生不同的改變；消化器由於各種極不同的食物，怎樣經過使之適應新狀況的變化；環流機能的變化，怎樣引起脈管組織中某種解剖學上的變化（未發生之前可以預測的）；知覺怎樣由練習而得到新的性質，或由於不用而失去了。這些在機能本身的影響之下的機能變化，同時必有器官的解剖學的改變（在生理學上改變了。）

第一要準備的證明，就是確定這些變化之一，而指示這在某種環境之下，總是由某種狀態產出的。假使這實驗的第二方面，能證明遺傳甚至能傳遞由此而起的最小變化，那進化學說就有堅固的出發點了。

我們若想解決這重要的問題，這似乎是正當的途徑。在幾年中，對於這方面頗為盡力。我們久已精通動物機構學的問題，我們常常考慮到運動器官以及牠們的機能之間的相互關係。因此我們要指示骨骼與肌肉器，怎樣與在平常的狀況之下的每個動物的運動相調和。

第九章 骨骼的變化性

使骨骼被認為有機體中變化最小的部分的理由。證明骨骼在生存期中，處於繼續頗久的最小壓力之下的服從性質。在骨骼中所見到的凸形與凹形的來源。關節平面的來源。機能支配器官。

凡考察一個動物的骨骼的人，而手裏拿着堅硬如石的骨質部分；他知道這些骨怎樣經歷其他一切器官的毀壞而猶存在，並且幾千年之後，能成為死亡的動物的唯一遺物；當然他認骨骼為有機體的不變部分了。他以為這骨骼是身體的架子，而軟柔的部分包圍牠的四周，有時聚在凹處，有時分展於平面之上，但是總是服從一個較強的定律，而把本身安排在骨架的各部分中所分配給牠們的空間。

這位觀察者雖則對於解剖學祇知道一點，但他立刻就見到骨的平面上的千萬新奇的情形。他看見無數的小洞小穴，似乎是用以遮蔽現已消滅的一種器官。這些洞就與在這地點附著凹形骨骼的肌肉來源相符合。又一處有深而圓的溝，這使人連想到古井的石欄中的水道。在這方向也

有一條髓通過，這就是不斷滑過這骨的肌肉的腱。但是在這上膊骨的兩末端，似乎由於摩擦而光滑了；在上部分圓得像一個球，而處於與牠完全相合的肩胛骨的空穴中。我們要說這些骨的運動使這些平面光滑；上膊骨不斷的改變地位，而在軸線上轉動，似乎是模仿我們要用摩擦而得到一個圓形體時所做的動作。

光學家就是這樣產出凸凹透鏡的形式與光滑的平面。在肩骨的下端，表示同一現象的形跡，就是一個小圓凸形而使之與半徑連繫。這也指示有兩種的運動，並且在近邊我們見到一個就像滑輪的凹線的平面，而在事實上，這祇有助於前臂的彎曲與伸長。

假使我們考察頭顱骨，就更有新奇的情形了。每個需要都是預見的。在深凹的穴中，有腦與知覺的器官。

神經有使之通過的導線管，每個脈管沿着一條像運河的溝道，而與牠所通過的細密動脈分支出來。

假使骨格不這麼堅硬，我們必假定牠受外來勢力的支配，而有這勢力的效果。但是壓緊一個

骨質的平面是白費力的，這平面完全抵制用於其上的力。我們若要在其中挖一個溝道，就必用一個鋸子或圓鑿。柔軟部分的壓力怎能挖出這些凹處（有時極深）呢？

自然的先知先見，對於骨骼已事事準備周全，所以能最適宜於容藏各器官，而予以堅固而不變的保護。這就是凡沒有親眼看見這些骨質變化，以及這些溝道的挖掘的人，所必有的議論。解剖學家與動物學家也必這樣推論的。他們認骨骼是有機體中不變的要素，因此他們由此而得到動物學中大部分的特殊性質。

我們對於一個久為一般所公認的見解，很難加以反對的。因此馬丁（C. Martin）在敘述及修正大齊（Vig. d'Azin）的理想時，曾指出一個人或動物的上膊骨是股骨的相同物，但是這股骨是絞合於軸線之上，所以往後轉的膝成爲一個關節了，而動物學家卻稱這扭轉完全是虛假的。按他們的見解，這不是肌力的效果，而由其緩而漸的動作反轉了這骨的軸線；但這奇特的形式，是有機體中預定的安排的結果，因為在肌肉動作未足以引起骨骼中這種改變之前，胚胎已有這扭轉的上膊骨了。

我們可以用更大的理由，而在相反方面加以辯論。

在今日，沒有人否認骨的組織在性質上，完全是服從的，反之在死的骨骼中，這些器官是十分緊密而又十分堅硬的，在有機體活的時候卻能改變的。假使我們把一個不論多小的壓力或張力，加諸骨上並且若延長多時，那這骨就能產出最奇的形式變化，這骨就像服從一切外力的軟臟，而我們可以說這骨骼（推翻我們剛纔提出的定理，）完全是處於其他器官的影響之下，並且牠的形式就是牠周圍的柔軟部分允許牠取的形式。

我們藉助於醫學與外科學而知道重要的事實，而能舉出不少的例子。因此在大動脈的一個動脈瘤長出時，而恰巧碰着胸骨或鎖骨時，這瘤並不受這骨的阻礙，但在幾個月之中竟穿過去了。在這動脈瘤的壓力之下，骨的本質給吸收而不見了，牠抵抗瘤的力量當然不如較柔軟的部分——例如皮膚。

但是這動脈瘤的壓力，與動脈血的壓力毫沒差別。這瘤囊壓迫及穿過骨的力，凡在動脈與骨的接觸處是都有的。骨質的吸收仍然繼續下去，以使動脈為本身挖掘一個溝道以容納牠的各分

支。人類頭顱骨的顛頂骨內部平面上，就可見到這一點。就是一個靜脈，也能在骨中挖成一個大洞。這些靜脈的變態膨脹，就是稱爲怒張（Varicose）的，並且常發生於腿部的，同時脛骨的前平面的形式必有變化。骨得到膨脹靜脈的特徵。我們不能說這些骨質的溝道是在自然所預定的計劃之中，而這骨骼原來就有這些溝道以備後來膨脹形態之用的。外科醫生知道這些溝道是在成人的骨骼中形成的，而這骨在靜脈未發生怒張之前完全是常態的。

肌肉在骨上印成的溝道，以及子腓骨以柱形的特性，都是由於相同的機構學。

髓所處的空穴不是預先在骨骼中形成的，這是由於髓的產出而挖成這些洞，並且仍然維持下去，若有脫骺的情形，而改變骨與髓相附的地位，那現在空着的舊溝道就漸漸的消除了。同時卻有新的溝道形成，並且漸漸的得到使髓能安置其中所必需的深度。

但是我們可以說那些關節的平面，結構又完整，而又適合於所執行的運動，確是預先形成的器官。請看這些骨質平面包着一個磨光的軟骨，上有滑液體的潤濕以使之更易於動作。在四周，有纖維的韌帶防止這些骨越出牠們的界限，並且阻止這些平面各相分離。如此完整的器具，決不能

由機能一手形成的。

在此我們至少能證明自然的先知先見，以及她的計劃的聰明。

我們試再論外科學，這學術要指示我們舊關節穴在脫骺之後，必歸於消滅。同時在骨頭實際上所安置的新地位上，有一個新的關節形成了，而在幾個月之中，這新關節也不用關節的軟骨或滑液體，也不用保持骨於位置的韌帶。在此按我們所用的用語，我們又得說機能產出器官了。

關於骨中形成的溝道已述不少。但是我們怎能把在骨骼的平面上處處所見到的那些凸形，以及每個肌肉所附着的所謂的骨突起（*apophyses*），歸之於外界影響呢？

這問題是不容易答覆的。假使我們用一個與我們知道能刻成空穴的影響相反的勢力，那說明骨平面上凸形的構成就夠了。我們必承認收縮是加於見到凸形的骨部分之上。

在骨骼中與肌肉相附的各點都有收縮，是十分明顯的。我們知道這些收縮的強度，是與引起牠們的肌力相等。因此正是在較強的肌肉的腱連結點上，我們見到較甚的骨突起，這是指明骨的凸形與加於其上的力的強度，密切相連的真憑實據。比左臂多用的右臂，在骨的結構上得到明顯

的凸形。在一肢的麻痺壓制肌肉的動作時，牠的骨骼就不再處於肌力的影響之下，而骨突起就較為不顯著，在事實上，這麻痺若是出生時就有的，那骨格差不多仍保持其未經機能加以改變的胎形。

比較解剖學也證實這一般的定律：骨突起愈長，就表示插入這部分的肌肉的能量愈大。

格洛斯 (Durand de Gros) 曾明白指出肌肉的機能，對於近世動物與化石的不同種類中，上膊骨的扭轉形式的影響。因此在鼯鼠，食蟻獸以及其他穴居動物中，上膊骨是看不出來的，有許多脊與凸形骨支持着，其中每個都附着一個有力的肌肉。

在食肉動物中，頭顱骨與下牙床有強大肌肉作用的形跡。在頭顱骨中，一個深洞保持着大顯肌的印跡。在顯凹穴的四周，顯明的脊骨是肌肉的堅硬連結點；而在下牙床之旁又有一條堅而長的骨突起，指示在用力咀嚼時所受到的強猛的延長力。

假使肌肉動作對於骨的效果，與肌力的強度而俱增，那這些效果不是按較少於動作的比例而變動。從幼年到老年，骨骼的改變愈變愈甚，甚至使我們能測定屍體的年齡。

桂林曾指出在老年人中，脊椎有較長的骨突起，而肋骨有多角的曲線。試比較一個小猩猩的頭骨與一個老猩猩的頭骨，他們的形式必十分不同，而除非你知道二者是屬於同種同類的，你必不信的：小猩猩的頭骨是圓的，到成年時就變形了，變成一種像胃頂的脊骨，這就是顛肌插入的骨突起。我們若要指出不同種類的動物的骨骼所受到的一切改變，那真是說不完的。從出生到死亡所經過的改變，愈來愈為顯著。

醫學對於這些問題又供給我們新奇的知識，牠指示我們突然發生的偶性骨突起，就是所稱的外骨腫（*exostoses*）。在有的侵襲全體的疾病中，我們見到骨骼的許多地點都發生偶性的骨突起；而且這些凸形差不多都生在肌肉的連結點上，於增殖之中，特別伸長到肌肉收縮的方向去。

骨的彎曲或骨在軸線上的轉位，是我們常見到的一個現象。前面已提到馬丁證明在一切的哺乳動物中，上膊骨是一個扭曲的股骨，而其軸線祇轉了一半。按季金卜（*Gejenbauer*）的意見，這個扭曲在胎形不如嬰兒之甚，而愈老就更為顯著。因此這一部分是由於在生存期中的原因的影響，至於每個胎兒若是真的生成一個扭曲的上膊骨，那這形式也可認為是地上哺乳動物世

代代所累積的肌肉動作的效果了。

我們要確定機能對於器官的影響時，研究關節平面特別有興趣。假使我們承認這些平面的磨擦使之光滑，並且予以曲度，那我們考量每個關節所發生的運動時，就容易預知這些平面所必有的形式了。

曲度較多的平面，要有較大的運動。反之，緩和的運動卻祇產出與幾度的弧形相等曲度的平面，因此關節平面的曲度半徑必很短，假使運動極大；而這半徑必極長，假使運動是緩和的。

我們試從這觀點而考察人類的腳的關節。我們見到脛跗骨的關節中，有一個小半徑的曲度，這是由於腳的運動大，在跗骨中，曲度的半徑隨骨格的移動性的減少而增加，舟狀骨顯示大半徑的關節平面，這半徑在運動極小的跗蹠骨中更爲增大，而在足指蹠骨的關節以及移動性大的足指關節中，又減少了。

人人都知道關節運動若祇行於一個方向，那平面就祇在這方向而彎曲，這種就是滑車形的平面，例如肘的關節以及牙床的骨頭之類。假使這運動是同時兩個方向的，那平面就顯示一個雙

曲線，而在不均的運動振幅的情形下，這些曲度的半徑必不相等的。因此在腕關節中有極大的彎曲與伸展的運動，但是側運動卻是狹小的。這結果是由於腕骨形成的橢圓形中，在彎曲與伸展運動的方向有一個小半徑的曲度，同時在側方向，這曲度是屬於一個半徑大得多的圓圈。

試舉一例，我們考查上膊骨的頭部，而探究其在人類中，人猿中，食肉動物中，草食獸中以及鳥類中形式的變化。我們要見到人臂所能執行的運動在每個方向的完全相等，是與上膊骨的頭部的整圓形相符合——就是每個方向有一個相同半徑的曲度。在人猿中，走路時有一部分的重力常是加於前肢的，上膊骨的頭部在上端似乎為體重所壓平了。除此之外，走路時所必有的運動若較大，在這些動物中上膊骨的頭部在前後方向有最小的半徑。在食肉動物中這改變更為顯著，而以草食獸為最甚，上膊骨的頭部在上端是扁平的，而在走路時所必需的並且在這關節占多數的運動方向，顯示短半徑的曲度。

鳥類的肩部關節有兩個不相等範圍的運動，其一是展開與合起羽翼，並且有時使肘部近於身體，有時使之十分向前。另一個常常較為狹小，是與前者成為直線形，而這就構成羽翼的擊動。

因此不同半徑的曲度，與這些不相等振幅的兩個運動相符合。伸展與合起羽翼的較大運動與短半徑的曲度相合，舉高或垂下在飛翔中的羽翼的不大運動，就有一個相等的極長半徑的曲面。這結果就是鳥類中上膊骨的頭部，在關節平面的水平線上是一個極長的橢圓形。

但是飛翔的運動在不同種類中，顯示振幅的極大變化。有帆形翼的鳥類祇有極小的擊動，同時白鴿在升空高飛時，兩翼互相上下的擊打，發出拍拍之聲，是我們常聽見的。

運動範圍的這些變化，與上膊骨頭部的平面差異相合，而這上膊骨在帆形翼的鳥類中，有一個極長的橢圓形的平面，但是在鴿類中是圓形的，而在潛鷗中差不多也是圓的，這是在南海中所發見而極像企鵝的一種水鳥。

由此看來，我們可以知道在骨構造中每個都有外力的形跡，而尤以肌肉的機能為甚。在骨骼中，沒有一個凸形或凹形的原因，不能在外力中求得的。這外力影響於骨質，不是使凹進去，就是使突出來。因此我們說骨格就像軟臘，必變成外力使之變成的形式，並非過甚其辭了。骨格雖則非常的堅硬，而抵抗使之改變形式的外力還不如普通柔軟的細胞組織。

由機能而得的這新形式，會隨個體而消滅嗎？這個體不把最小的形跡傳遞給他的子孫嗎？遺傳對於這些後天所得的性質，會有奇異的例外嗎？這似乎是很不可能的，但是我們必承認這點，倘使我們否定進化的學說。我們必提出一個相反的假定，而推翻遺傳性的普通定律，假使我們否認有的解剖學性質是有傳遞力的。

肌肉組織的變化性

我們已述及骨的組織受外力的支配，而尤以肌肉的影響為甚，在每個骨格中印成一種形式。因此不同種類的骨骼的形式變化，與其肌肉組織的差異相符合。所以我們凡見到不同種類動物某部分骨格的相似時，就可以確定附着這些骨格的肌肉也必相同的。反之，我們凡見到一個動物有一個特殊形式的骨格時，我們可以確定附着這骨格的肌肉也必有一個特殊性的。

但是肌肉與骨格若是同時變化，那什麼是影響二者的原因呢？我們知道骨骼在改變之中是被動的，就是受制於肌肉加諸其上的形式。但是什麼給予肌肉（一個十分活動的器官）以及改變骨骼的機械力的發動機，這個解剖學所顯示的特殊形式呢？

我們要證明支配肌肉組織的力，是屬於神經體系的。意志命令肌肉所執行的動作的性質，改變肌肉的體積與形式，以使肌肉能按最適當的狀態執行這些動作，這個決定一切動物生命的動作的需要，支配意志時，就按每個生物所處的外界狀況，而影響於他的形式，並且根據現在我們想說明的各定律而加以調節。

有機的形式沒有一個是處於機會的支配之下。生物的特殊變化，常常與建築家的幻想相比較。建築家一方面固守一致的計劃，而一方面發明了無數的變型異體，正如一個音樂家對於一個既定的樂旨，寫出了一列的變調。

在目前的研究中，我們可以在肌肉器中所發見的大變異，不論是在動物身體的不同部分中，或在不同種類的動物的相等部分中；例如肌肉的體積或長度的變異，紅收縮纖維以及髓的白而光的纖維的不均分配；這一切完全是受肌肉機能的動力律的支配。

肌肉形式對於機能需求的適應。平常的解剖學祇能供給我們例子，以證明器官的形式與其習慣的機能之間的和諧。實驗就能指示我們由於改變機能，我們可以使器官的形式改變，而與

加諸其上的新狀況相調和，爲這目標的實驗是容易施行的。我們知道改變適應器官與機能所必取的方向，我們置於特殊肌肉機能的狀況之下的動物所促成的變化時，要得到一個重大的意義。但是在我們等待這些實驗的結果之中，有幾個我們現在就能採用，現成的實驗就是由病理解剖學所供給的。

醫學與外科學對於這有趣的題目有許多的發見。試舉一例，牠們指示我們維持肌肉的就是運動本身。這器官的長休息先引起體積的減少，然後就使構成這器官的各元素變化。脂肪細胞替代構成其正常元素的條紋纖維，最後這些細胞愈變愈多，侵入了肌肉的全體中。這改變的形態，或脂肪的變質，必繼以吸收肌肉的本質，而在某時期之後肌肉就完全不見了。

因此不但器官的體積按其習慣的機能需要而增加或減少，必需或大或小的力，而且在機能完全受控制時就全體不見了。在麻痺狀態中就見到這結果，一切的神經作用都毀壞了。在有的關節脫臼情形下，把肌肉的兩個附着點更加緊連起來，以使其動作不生效力。有時甚至在骨折與關節強直的情形下，由於一個正常的接連，能使肌肉的兩端不能動，並且阻止肌肉纖維的任何收縮。

但是肌肉若不失去其機能，而祇改變其所能執行的運動範圍，那就發生什麼情形呢？在有的不完全的關節強直或關節脫臼之後，我們見到關節點多少總失去牠們的運動範圍，而命令彎曲與伸展的肌肉在這種情形下，祇需牠們的收縮的普通範圍的一部分。

上述的學說若是正確的，這些肌肉必失去一部分的長度。為證實這事實，我們祇須略為涉及病理解剖學的範圍。

在二十年前，對於凡患普通所謂的畸足病的人，所受的肌肉的變化，有熱烈的議論。有時腳是扭到腿上，所以應該在最上的腳面反而近地了。有時腳是勉強的伸展，而使病人常用腳尖走路。在這些情形下，腿的肌肉祇有極小的作用範圍，因此牠們不是受脂肪的，就是受纖維的變化。在這些肌肉之中，那些沒有任何動作的肌肉就受脂肪的變質，而歸於消滅了，同時那些保持一部分動作的肌肉，祇顯示紅纖維與腱的比例的變動，在後一情形下，收縮體質在長度方面減少，而為腱所替代，這腱常常是很為發育的。

桂林在指出肌肉的纖維變質時，以為他見到了原來的肌肉收縮的確證，這收縮最後必引起

腳的轉位，這位著名的外科醫生也以爲纖維的變化，祇是畸足中肌肉的病害。在另一方面，史加柏 (Sarpa) 主張在大半的情形下，腳的脫臼是原來的現象。

至於肌肉變化的性質，今日的外科醫生都同意這是能有兩個不同形式的，並且有時肌肉受脂肪的變質，而在其他的情形下，牠變成纖維的細胞組織，我們對於邱維的功績最表感激，他指示我們在肌肉本質中引起這些變化的狀況。

舉一個例子就能說明這些肌肉，怎樣受機能被控制或限制範圍時的影響。

小腿的肌肉或 *gastrocnemius* 是有兩個的。二者的附着點與機能大小不相同，二者都是插入跟骨的下部，因此是腳的伸肌。但是牠們的上部附着點是不同的，*soleus* 完全插入腿骨的，除了伸展腳之外沒有其他的職務。反之，這相似的 *gastrocnemii* 是插入股骨的骨頭之上，而有第二的機能，就是使腿在股上彎曲。

我們試假定腳發生了關節強直，這完全壓止了 *soleus* 的機能，而這肌肉經過脂肪的變質，就歸於消滅。這兩個 *gastrocnemii* 是處於不同的狀況之下；假使牠們對於腳的動作停止了，卻

仍有彎曲腿的機能，因此這些肌肉祇有一個運動的振幅減少了。在這種狀況之下，這雙肌肉祇失去牠們的纖維的一部分長度，牠們經過外科醫生所稱的部分纖維變化，這改變祇是紅纖維與腱之間的比例之變動。

凡慣於認病理學是物理律的一個違犯者的人，也許要驚奇我們在關節脫臼及關節強直的例子中，探求支配常態的肌肉組織形式的定律的證據，我們很容易指出這些疑慮是沒有根據的，但是舉出其他不受反對適用醫學於生理學的異議的例子，那就更好了。

關於下述的各事實，我們又得引述桂林的話了。

我們考察在生命不同時期的肌肉組織時，見到肌肉的狀態變化極大。似乎肌肉是有顯著的年齡的，先由收縮體質所組成，而年數大了就漸漸失去牠們的紅纖維，而爲腱的白而亮的纖維所替代。

因此小兒的橫隔膜大半是肌肉的，而在老年人中，橫隔膜的真腱——腱膜的中心，是占據收縮纖維而伸展。腱的替代肌肉纖維，在幼兒的腿肌肉中更爲顯著，牠們比在成年時較富於收縮的

體質。事實上在老年人中，腿似乎占據了肌肉，所以腿的所存的腓部分是很高，而長度減少很多。脊部與腰椎部分的肌肉也顯示相同的性質，在老年時，牠們的紅纖維較少，但是髓較多。

那末在生命的不同時期中，肌肉機能中有什麼變化呢？大家都知道肌肉機能愈變愈小，除了人類維持體操練習的極少例子之外。四肢的關節點以及脊柱的關節，通常受一種不完全的關節強直，不斷的減少軀體的伸縮性。

請看小孩的轉動自如。他的一個運動就是玩弄他的腳，把腳拿住而送到他的口邊，是又自然又容易。在成人中，肌力得到牠的最高度，但是運動不如幼兒時那麼大，他的四肢不再有這同一的伸縮性了。

老年人既不能立刻屈身，又不能完全的伸直，他的脊柱失去了牠的柔軟性。他祇能走小步，而坐在地下把膝升高對於他是十分難的事。我們若考察他腳的彎曲與伸展的範圍，就知道是有限限的。

因此肌肉的機能，隨生命的不同時期而變化，愈變愈小，而用較小的收縮纖維，因此我們所說

的肌肉改變自能加以解釋。這個改變（腱的元素增加而紅纖維減少）由於採用適當的練習而維持肌肉運動的範圍，可以加以防止。

現在我們再回到比較解剖學。這科學既指示我們在不同種類動物的肌肉形式，與肌肉機能的性質之間的完全和諧，那最自然的結論就是：器官受制於機能的影響。

假使競走馬由於特殊的練習而改變其形式，那豈非機能對於有機體的解剖學性質的影響的明證嗎？假使有一種類經過這樣的人為改變後，再處於原來的狀況下而又恢復原來的形狀，那豈非指定機能是器官的改變者學說的反證嗎？

然而這些事實由種類不變說的信徒按相反的意義，而加以解釋，他們似乎求得了一個無可辯駁的論據，以擁護他們的真理：在改變影響終止時恢復原來的形狀。

我們遇到這種相反的見解時，能有什麼結論呢？這結論一定是說進化論派未完成他們的工作，而他們對於已發表的證據務必加入新的證據。這主要部分是屬於實驗，同時學說本身也頗重要的。他們使我們預見某種機能應改變一個肌肉的狀態後，就給予以後可得的改變以相當的價

值，的確沒有了學說，這實驗家就不能認識他所見到的改變。我們在解剖物中，除了我們所探求的之外，很少發見任何事物的，尤以我們必考察像動物有機體所產生的小小變化時為甚。

要試行的實驗是又煩又難，然而牠們的計劃是易於探索的。

假使人類在適應家畜於他的需要之中，已能在某限度之內改變牠們的組織，那他是偶然的產出這些變化，例如祇有意得到拖貨馬或競走馬，就不必把這種類處於完全人爲的狀況之下。而非如此不可，倘使我們要闡明我們所提的問題，並且把動物機能功率的變化實施到最大限度。人類已利用了不同動物的才能，而不想予以新的性質。這必使動物的習慣受到迫害，並且使之漸漸執行牠們的有機體稍為適應的動作。假使一種動物有不宜於跳躍的組織，爲了覓食，就不得不學漸漸增高的跳躍，而種種事實使我們假定這動物最後必跳躍自如，假使這些動物的後代保持了祖宗的任何跳躍力，那他們也許對於這跳躍能力更爲發展。這樣遞次改變加於這特殊種類的力，沒有法子加以克服，但需無限大的肌力或肌肉作用的範圍；我們可以想到解剖學上的發展必無限的增加，而我們能得到與現在所稱的「一種類變成另一種類的經過」的相似結果。

我們所述關於肌肉機能的情形，可適用於其餘一切。漸漸的改變動物的食物狀況，光，黑，寒暖以及他們所處的大氣壓等等，我們可以把與動物學家在氣候，不同的大氣壓狀況以及動物為自然所安排的不同高度的影響之下，所見到的相似改變，加諸他們的有機體之上。這些變化（由完善而總是趨於同一目標的變遷所促成），必有機會引起動物構造中的大變化，倘使這些力無限的累積起來，正如動物的養育者一般。他們是用相同的方法以促進選擇畜類的生產。

我們至此不再討論這些假定了，但是在結論中我們要求告熱心的實驗主義者。許多信服這研究的重要性的人，已努力從事這工作了。事實上，什麼問題能比下列的一句對於人類更有關係：我們的種類能改變嗎？按人類所有的趨勢，能使之趨向完善或退化嗎？

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

第二編 機能——地上運動

第一章 一般的運動

各種運動共有的條件。包來里的比較。地的反動的假定。地、水、空的運動的運動形態的分類。按抵抗點的性質而定。
關於抵抗點與身體質量之間的肌力分配。抵抗點能移動時所引起的無用功率。

動物的不同種類中最顯著的動作表現，當然是運動 (locomotion)：這是每個生物按其對外界環境的適應，而在地上、水上或空中移動的動作。因此爲運動而研究動作是較爲便利因爲我們能由見到各種最不同的形式。

在這些研究的開首，我們應考慮必加注意的機能的一般特性，並且指出在一切動物運動的形態中所發見的一般定律。但是確定連合極不同的動作如飛與爬，馬的跳與魚的游泳的共同特點，是多麼困難的事？然而常有人從事這工作。包來里曾用像船夫用以指揮船的各種方法，以代表

地上運動的不同形態。

這個比較，再加以擴大，就可說明運動的主要形式的機構學。

我們試假定一個人坐在一條平靜的湖中的船上。在這些條件之下，他的小船必完全不動。假使他要前進，他必發見所謂的抵抗點。假定他有一個槳子，他就投入水底而一直碰到地，然後他用，好像要趕走這抵抗物，就使他的船在相反的方向移動了。這抵抗點在地上的前進，與地上運動的普通狀況相同。

假使這船夫有一個鈎篙，他要在不同的條件下而得到他的抵抗點。抓住樹枝或岸上的突起物，他就使槳子近自己，好像要把縛住槳子的物體近他，並且這些物體若是抵抗他的用力，那這船就轉位而走向這些物體了。

有兩個相反的步伐對於實體有影響的，其一是抵抗的趨勢，其二是使之接近：在每個情形下效果是相同的。

但是湖水若太深，或是岸太遠而不能予船夫以前次所用的實體支點，那水就作為抵抗的傳

導體了。這船夫有一個平板的槳，想把水驅向他船的尾部。水要服從他的推進力，但是驅向相反方向的船要向前走了。汽船的各種槳，螺旋以及一切的航海的槳，都顯示這共同的特點，就是驅逐水向後，以引起船在相反方向的推進力，並且使之前進。

除了槳在水中動作，我們可以假定這船夫有一個較大的槳板，而能用以驅回船尾的空氣，他就能在湖面上推進他的船。他也可以轉動一個像風車的兩翼的大螺旋，或者在尾部擊動能驅逐空氣於他想推進這船的相反方向的大扇，而使船前進。

在這一切的運動形態中，有一個力在相反方向推進兩個有抵抗的物體：其一是支點，而另一個是加以移置的重量。

從前的作家稱這影響於船的力為反動力(Reaction)——他們認之為從土壤或水所發出的力，或是搖槳者用力所趨的抵抗力。我們現在能明白了解一切的主動力，是由船夫而來的。這力可以有這結果：適用這力的兩點的拒斥，或兩點的互相接近。在這兩個情形下，兩點中有一個可以固定的，而其他一個加以移置。或者兩點都能移動，然後按二者的不相等的移動性，而其中有一個

比較另一個移置得多。

這一般的原則可適用於一切的運動情形。我們祇要注意我們所欲考察的一切形式的主要點。

最自然的分類似乎是根據於抵抗點的性質的分類，按此我們可以區別三個主要的運動形式——地上的、水上的以及空中的。但是在每個形式中，我們要見到多麼不同的機構呢？

假使走與爬真是地上動作的兩個主要形式，而游泳是水上運動的常態，飛翔是空中運動的形式，那末在有的傳導體中也有許多種的運動。因此走與爬在地在水都有的，飛翔常是行於空中，但是有的鳥在水中也會飛的。

在事實上，我們若勉強對每個動物指定其特殊的運動形式，那我們的困難之大，就像我們要對這些運動加以分類。有的真是行於地上，水上及空中，都是一樣的容易。因此我們對於加以迅速考察的運動的不同形態，不要設立一個嚴格的分類。

地上的運動有兩個主要的形式：其一是在與所欲的動作相反的方向，用力壓着地；這是較為

平常的運動形態，走、爬、跳，都屬於這第一形式。爲這目標而用以運動的四肢，是由一系列的強直桿杆所組成，這些桿杆在長度上易於改變。四肢能由於關節的角的彎曲而縮短，而由於伸長而變長。假使腿彎曲時在末端碰着地，並且肌力若能引起腿部的伸長，那祇能由於使腿端所安置的地，與連着這腿的底部的身體之間，分離較遠。地發出抵抗力，而服從這推力的身體被移置了。有時地上運動的移置的促成，不是由於長度的改變，但是由於在引起動作的腿部與動物的身體之間的角度之變動。

在第二形式，就是爬的形態中，產出一個收縮力。動物的身體的一部分靠着一個外邊的固定點，然後把體軀的質量拖到這點。我們試看蝸牛，把牠放在一片透明的玻璃上，過了一刻，這動物就開始爬了。我們若把這玻璃反過來，我們就見到牠的運動的詳情，牠的身體上都顯示一系列的橫光帶，白黑相交，不透明與透明相間。這些光帶由一個繼續的動作所傳送，從尾到頭部，這些就像在另一方面向不斷轉動的螺旋的螺旋。假使我們注視尾部近處的光帶，我們就看見這光帶在十五或二十秒之內達到頭部，但是在後面有一列連續的光帶，似乎在牠前進時要從後面跳起來了。這些帶

使我們連想到肌肉波及其經過收縮纖維的情形，祇是面積較大而已。每次有一個波達到蝸牛的頭部時，這波不見了，而引起頭向前的動作。這頭在玻璃的平面上滑過一點，稍為前進而不後退。這是頭部靠着其餘身體各部所趨向的固定點。在事實上，在臀部有一個相反的現象，在該處所發出的新光帶，每個都有一個向後的動作相伴，而這後部好像為收縮纖維的縱收縮所拖曳而移動的。

其他爬的形態也是這樣奇怪，例如在一個實體的內部所發生的，一個蚯蚓走進牠在地上所掘的小管狀的穴中，這身體的又軟又長的後部，當然比我們要拖出牠的小洞小得多，但是這條蟲抵抗收縮的力，而身斷了也不給拖出來。這是因為在地內的身體的前部，又縮短又脹大，在穴道內發見一個抵抗點。我們若放這蚯蚓去，就要見到牠立刻縮短了身體，而把其餘部分收回去，向後拖到牢牢靠着土壤的前部。

爬的行動的同列就是爬高 (climbing)。在爬高中前肢抓住凡是高出的突起物，而在彎曲時舉起身體的其餘部分。於是後部規定其新的地位，而由此而放開的前肢再往高處找一個新地方爬上。這兩個地上運動的形態多麼不同呢！二者的差異太大了，以使我們不能加以確定，除了叙

述各個動物所採用的步態。

水上運動的差別更大，在一個情形下，我們見到一條魚用尾面擊水，在又一情形下，又見到烏賊魚之類，用力壓縮充滿液質的水袋，在一方向驅逐水，而在相反方向推進自己。在軟體動物急速關閉殼門時，也發生這同一的現象，牠在與所引起的水流的相反方向射出。蜻蛉的蠅從牠們的腸中放出極強的液體，而由此得到一個又快又大的推進力。

許多在水面行動的昆蟲也有槳的。其他的動物也採用一種工具，就像船尾在搖尾櫓時所用的槳的動作。這後一主動力可引證移置一個斜面於水中的一切運動，而這斜面在水的抵抗力中遇到兩個分力，其中有一個發出推進的運動。這個機構學有加以說明的必要，而在其適當的地位上必發見所供給的一切啓發之點。

空中運動。這個機構學仍是相同的，一個在空中引起動作的斜面運動。在事實上，昆蟲的翼以及鳥類的，在空中對空氣作斜形的擊衝，驅向某一方，而予身體以一個相反方向的運動。除了有的鳥類在空中展開羽翼，就這樣翱翔而祇用力駕駛，而得到翩翩鳥或航行鳥的名稱之外，一切的

動物都祇由於在兩個移動性不相等的質量之間的用力，而向前移動。我們能容易的了解這力加於其上的兩點之中，若有一個是固定的，另一個就完全接受所產出的原動功率，這就是在完全實體的土壤上的地上運動狀況。但是我們也能明瞭地上的柔軟，不利於利用所用的力，而空氣與水的極端流動性對於游泳或飛翔，予以更不利的條件了。

但是抵抗點的移動性隨運動的速率而變化，所以翼或槳的擊動「緩慢的擊動就沒有效果的，」必因其急速而極有效的。

在不同的運動中，為移置身體而必加以克服的抵抗力，並不比作為抵抗力的外點的力變動較少。這變化性是取決於許多的原因。因此各種的動物在動作時，不必用相同的力以抵抗他們的重量。魚類與水的特有重力差不多相等，牠在水中浮着而不必用什麼力。牠若要向任何方向移動，就祇要克服必加以移置的流體的抵抗力，在另一方面，鳥類若要停留在空中，必用力以抵消牠體重的動作。牠若同時前進，那還得執行用以克服空氣的抵抗力的功率。

在抵抗點與身體質量之間的肌力分配。在生理學中，我們想估計一個肌肉的功率時，我們

把牠的一個連結點安置固定，而確定牠的移動末端所經過的範圍。假使我們知道這肌肉收縮時所能舉起的重量，以及這重量舉起的範圍，那我們就有估計所產出的功率的要素了。但是這些是最理想的狀況，而在地面上運動中從來未見到的。在水中行動的動物也沒有這情形，尤以飛翔於空中的動物為甚。我們試比較走在能動的土壤上，沙岡上與走在堅固的土壤上所必需的力。我們要見到沙地上抵抗性平面所有的移動性，毀滅了一部分我們的肌肉收縮所必需的力。換言之，在抵抗點不穩定時，必需較大的力以產生同等有益的功率。

這功率的數量又容易了解，而又容易加以測量的。

一個人在走路時，把一隻腳着地，而另一隻「稍為彎曲」舉起，並且用力壓地，同時予身體以一個向上的衝動。假使地完全抵抗這壓力，那所引起的一切運動必傾向於軀幹，而身體提高一點，例如三釐米的高度。但是這地在腳的壓力之下若沈低二釐米，那身體自必祇舉高一釐米，而有益的功率必減少三分之二了。

腳壓緊土壤當然是構成功率（按這字的機械學的解釋）的。在事實上，土壤在服從時予以

一種抵抗力。這抵抗力必與土壤受到的缺痕範圍相乘，以確定在這方向所完成的功率的價值。但是這功率對於運動絕對是無用的：這完全是所用的主動力的損失。

魚用尾擊水以前進時，他執行兩倍的功率。其中有一個是在他後面用某度速率驅逐某量的水，而另一個不顧四周水的抵抗力而推進這魚。祇有後一功率是利用的，這功率必更大，倘使這魚的尾碰着一個堅固的抵抗點，而不是向之逃避的水。

我們根據抵抗點的移動性的大小，能測量運動中有用功率的減少嗎？

假使我們所走的地完全是抵抗的，那就必承認肌肉功率沒有消失什麼，但是在抵抗平面的移置與身體的移置並玄的情形之下，就必須按這二者間的分配而決定這定律。牛頓所設立的原則支配機械的科學，這原則就是「動力與反動力相等。」在我們目前的情形下，這是否指有一半的功率是用於抵抗平面，而另一半用於身體的移置嗎？假使我們用那些力同時影響於兩個物體的例子來判定，這是不正確的。

因此在射彈的科學中，炸藥的主動力——就是在礮中所解放的氣的壓力，同時影響於射彈

與礮，而予這些質量以一個相反方向的速度。因此在兩個射彈之間動量是均分的，以使礮與礮架的質量與相通的反撞速度相乘，就等於射彈的質量乘其所得到的推進速度。礮既重過礮彈不少，而其反撞的速度較與射彈相通的反撞卻少得多。

至於炸藥反抗礮與礮彈所產出的功率，是極不均等的分配於這兩個質量之間。

在事實上，一個動力所產生的功率與運動的質量速度平方相等「牠的公式是 $\frac{1}{2}mv^2$ 」我們的核算指示在礮重過礮彈三百倍時，這功率對於礮彈必比對於礮大過三百倍。

我們考察各種特殊的動物運動時，再回到這些問題，現在我們在下章考察人類的運動。

第二章 地上的運動（兩足動物）

選定某種形式以供研究地上運動之用。人類的運動。走路：加於地上的壓力，牠的期間與強度。在走路時對於身體的反動力。研究這些反動力的圖表方法。身體的縱振動。身體的橫振動。對於恥骨的軌道的陳述。身體向前的運動。在一步所佔據的時間中速度的不相等。

人類中走的動作

地上運動的形式之繁多，以我們在目前非限定研究其中最重要的不可。在兩足動物中的運動，我們要選定人的運動作為典型。馬要選作四足動物所採用的走路方法的最重要的代表。至於其他的動物，祇附帶的加以研究，而特別注意於與我們所選定的典型比較時，所顯示他們的運動形態的相似點及不同點。

有許多的學者已論到這題目了。從包來里的時代到近世的生理學家，科學已漸漸進展：據我們看起來，科學現在能解決一切含糊的問題，並且用圖表方法，能正確的加以測定了。

觀察祇能供給不完善並且有時是錯誤的材料，而圖表方法使關於運動的極複雜的動作，成爲正確的分析。我們論及馬的步態時，我們要見到各學者之間的異議，是由於前此所用的方法的不完善。

人類的運動，雖則在機構學方面較爲簡單，但仍然是很難於分析的。韋伯兄弟二人的成績，雖認爲是空前的人類運動的最深研究，但是卻有不少的漏遺與謬誤。

最簡單最平常的步態就是走路，而按公認的定義，這是身體從不離地的運動形態。在跑與跳之中，我們就見到身體是完全從地舉高，而在某一時間中仍然是懸空的。

在走路時，身體的重量在兩腿之間相互交替，而在每個腿輪流踏在另一個之前時，身體就這樣的不斷向前進了。剛一看，這動作似乎是極簡單的，但是我們要確定什麼是相助以引起這動作的運動時，立刻就見到其複雜性了。

在事實上，我們見到四肢的每個運動，使我們考量一個擊衝的形態與一個支持的形態。在不同的關節點交相彎曲與伸展時，腿與股的肌肉「就是引起這些運動的」也交相收縮與鬆懈。

腳加於地上的壓力的強度，隨走路的速度與步伐長度而變化。除此之外，身體經過週期的振動——腳對於地的每個擊衝的反動力，並且身體的各部分受這反動力的支配（多少不同。）這些振動是在不同方向引起的，有的是縱的，其他是橫的，所以遵從身體任何部分的軌道是一個極複雜的曲線。加之在每隻腿的每個運動中，身體傾斜而又伸直，牠好像在旋軸上圍繞着某股關節點，同時有一點彎曲而遵從脊柱的軸線，並且在腰部肌肉的作用之下，骨盤按一種旋轉的動作而移動，而振動，同時前肢（行使交互的均衡力）減少這些影響；就是每刻使身體偏移所欲維持的直正方向的影響。

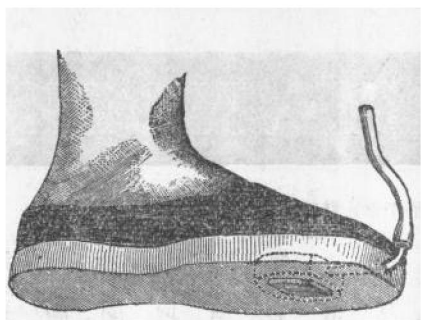
這一切的動作爲卡里（G. Carlet）所分析，而我們引述他所得的結果於下。

在走路時所產生的主動力，在一方向加於地上的壓力，以及對於身體質量的推進影響，是我們要先加以注意的三個要素。

主動力。這是見於股，腿及腳的外部肌肉的動作中。在大體上，下肢形成一個中斷的圓柱，四角是圓形的，而是由於加諸地上與身體的壓力而回到直線的。我們對於這標題所能說的就盡於

此，我們若要從長討論，那就非擴大篇幅不可了。

加於地上的壓力。我們已見到這個壓力，與使身體向前的相反方向的壓力相等，而我們必研究這壓力的期間、形態以及強度，自記器使我們能完成這工作。用一個實驗具放在鞋底之下，連着一個桿杆而發出腳的擊衝與舉高的記號，以及腳壓着地的力的表現。我們稱這第一工具爲實



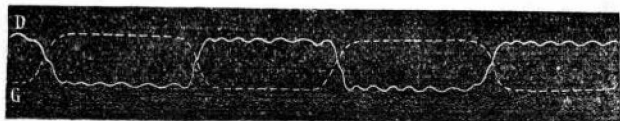
第十九圖 實驗的鞋，以指示腳加於地上的壓力的期間與形態。

驗的鞋，茲述之於下：

在平常的鞋底之下，裝置一個堅固的橡皮底，一釐米半而二寸厚的熱樹膠。在這鞋底之內有一個氣室，就是第十九圖中虛線所表示的。

這個氣室有一小木片突出，而在腳用壓力加於地上時壓縮了。從這空洞逐出的空氣，由一個管子逃到一個有桿杆連着的鼓中，而這桿杆就記下腳的壓力的期間及形態。

我們試假定這實驗者的兩腳都穿了相同的鞋，而他按一



第二十圖 我們平常走路時兩腳的擊衝與舉高的繪形。

致的步伐而環走一個支持着自記器的桌子，我們就明瞭這實驗的佈置了。

讀者已知道所用的自記器了，這儀器就像我們用以考察肌肉波的（見第七圖）。在該圖中，我們若用實驗的鞋替代肌肉收縮計的絞剪1與2，那就有用以研究腳步或腳加於地上的擊衝所必需的儀器了。

第二十圖就是由走路的實驗而得。有兩個繪形指示腳對於地的繼續的壓力。D線是代表右腳的，而虛線是左腳的。

我們知道了這儀器的配置，就能明瞭腳對於地的每個擊衝必為曲線中的升高部分。在事實上，腳加於地上的壓力壓縮了橡皮底，並且減少了氣室中的容量，其中一部分的空氣從連着的管子逃出，而進入自記計的鼓中了。

我們在第二十圖中，見到右腳的壓力在左腳的壓力纔減少時開始，並且在這繪圖中在兩腳的擊衝之間有一個錯列。連絡兩個遞次曲線的最低點的橫線，指示每隻腳的支持的時間。

左右腳的擊衝期間是相同的，所以身體的重量輪流的從一腳傳給另一腳。跛足的人是不同的。跛足大半是兩腳的擊衝不相等。

在身體一半爲一腳所支持的時間，總是極短的，但是在身體已開始倚靠另一腳時，這個時間還不及腳的一個擊衝或壓力的期間的六分之一。

腳加於地上的壓力的強度。走路所畫的曲線，也可以用以測量腳加於地上的力。這實驗的鞋構成一種壓力的測力計，這鞋按用力的多少而壓縮鼓，因此把或大或小的運動傳送到自記計。我們要根據曲線的升高，而估計腳所行使的壓力，就必須用某數量的仟克來替代身體的重量。因此我們見到身體的重量（比如七十五仟克）若足以把桿杆舉到牠在每個曲線開始時所得的高度，那就必需一個額外的重量，把牠舉到在壓力時間完了時所得的最高度。

這證明在走路時，腳加於地上的壓力不但等於牠所必支持的體重，並且在定時必產生較大的力，而予身體以升高與前進的運動。

按卡里的意見，這額外的力即使在急速走路時，也不超過二十仟克，但是在跑與跳之中卻大

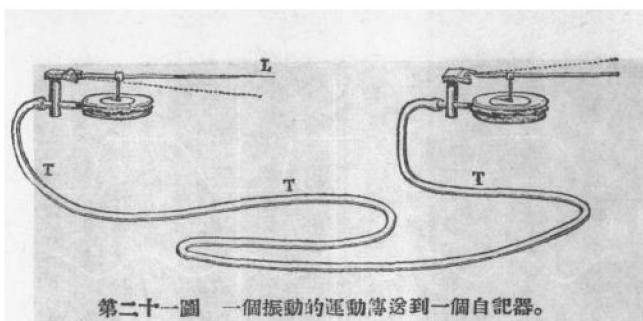
得多了。

反動力 我們要用這名辭指腳的作用對於身體的質量所引起的運動。這些運動是十分複雜的，牠們同時在每個方向發生，並且對於身體的一點在空間中所形成的軌道予以極複雜的曲折。祇有圖表方法纔能使我們知道這些運動的實在性質。

第一，我們要選擇身體的那一點以觀察走路動作所引起的移置呢？差不多大家都選定重心作為這一點。但是我們若回到重心隨身體的移動而立刻變動，在兩腿的彎曲中這重心升高，而在我們舉高手臂時改變了，並且在我們開始動作時在身體的內部形成各種的運動，那就容易明瞭我們不能把腳加於地上的壓力所引起的反動的運動，歸之於這理想的而能移動的一點。我們最好能選定身體的軀幹的一個固定部分，例如恥骨，以研究其在走路動作中的運動。

我們已經採用的工具，也可用以研究這些移置情形。

試用兩個桿杆的鼓，由長管T T T所連合。使一個縱的振動傳於桿杆之一，以使桿杆L降下至虛線所表示的地位，其他一個桿杆必移置於相反的方向，而也處於虛線所表示的地位。在這些

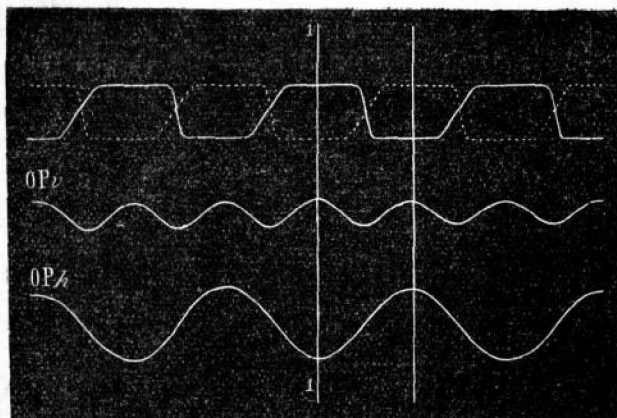


條件之下，一個桿杆的下降同時就有其他一個的升高，因為在一鼓中空氣的壓縮，必引起另一鼓的膨脹。假使我們要從這兩部分的儀器得到同一方向的指示，那就必轉動一鼓，以使牠的桿杆下降。

身體的縱振動。我們試假定這兩個桿杆中，有一個在自記器上繪寫一條曲線，而另一個的尖端安置於在走路的人的恥骨部分，這部分的一切縱振動都記下來。

但是這實驗桿杆為正確的傳送所接到恥骨在走路動作中所引起的縱振動，必使這鼓不受這些振動。為這目標而發明了一種器具，用兩個在中心轉動的橫針臂所構成。這些針臂祇能在橫面移動，處於受實驗者的恥骨部分的地位，而其中每個都裝置一個實驗的桿杆鼓。

這走路的人在這時間中，循着一個圓圈走，推動在他面前的針臂，而在器械上裝置一個用以試驗恥骨的縱振動的儀器。由此我們得到



第二十二圖 上端的曲線，一是實線，一是虛線，代表左右腳的擊衝與舉高的形態，從左至右，每個曲線的升高指示壓力的開始：上橫部分與壓力的期間相等，而下行與腳的舉高相等。下橫部分指示另一腳是在空中。 OP_v 是恥骨從上往下的振動就是縱向振動 OP_h 是側面的振動或橫的。縱方面的兩個振動顯然是與一個橫振動相等。

OP_v 線所表示的記錄（見第二十二圖。）我們見到恥骨在每腳所行使的壓力之中間而升高，而在身體的重重從一腳換到另一腳時而下降了。

按卡里的觀察，這些振動的實在放大約一四耗，五五寸。然而這運動隨步伐的長度而變化。軸隨這長度而增加，但這增加並不取決於曲線較為升高的最高度，而以這曲線的降低的最低度為轉移。

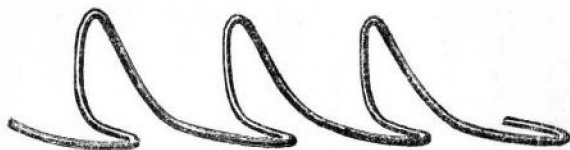
我們說明這些現象，頗為容易，在身體將要離開腿的支持時，這腿是處

於傾斜的地位，而這傾斜的結果是牠的支持軀幹的上端較低了，在這時達到地的另一個腿，稍爲彎曲，牠不久就要舉上，而提高牠所支持的身體。但是在這運動中，這腿在停止地上的腳的周圍畫成一個圓弧形，因此在牠所占的遞次地位中，身體隨支持牠的腿達於縱線形勢而愈爲提高，在腿傾斜時又降下了。

我們能見到步伐的長度由於增加腿的傾斜，而降低軀幹。縱振動的最高度的固定性質確是由這事實說明的：腿在伸直時必形成一個固定的高度——就是與身體升高的最高度相符合的。**身·體·的·橫·振·動**。恥骨（就是我們現在研究的移置部分）在向縱線移動時，同時交互的從左到右，從右到左。我們爲了記錄這些運動，而採用一個桿杆鼓，佈置得使加於桿杆的側面運動強使膜向內及向外。這時這自記的桿杆用管子連着的，在縱面移動，而祇有這方向的繪形現於機筒之上。假使在所畫的曲線之中，升高與恥骨向右的移動相合，那凹形就表示這部分的偏左。

這實驗對於橫振動得到 OP_h 的曲線（見第二十二圖）。第一應先見到這些振動祇有縱線上所發生的半數，因此在升高的最高度時，身體是傾向於右邊，而這最高度是在右腳的壓力的中間，

在左腳的壓力的中間，身體就傾向於左邊。軀幹的這個側面搖動，是由於身體在每腳上所經過的



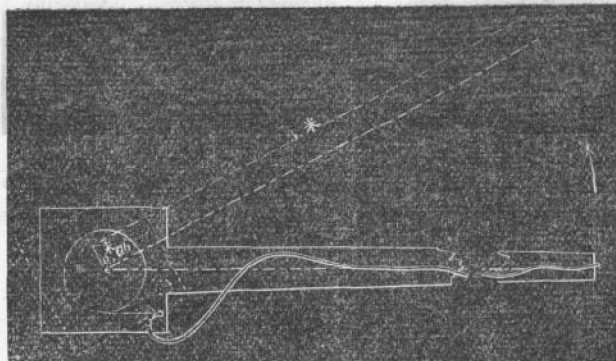
第二十三圖 用金屬線以說明恥骨所經過的軌道。欲了解這實體的圖形，我們必假定這線近於觀察者的左端，而在右端移動，這振動的振幅擴大不少，以使之明瞭易懂。

縱線地位。

我們若要說明恥骨在這兩個振動及向前運動的影響之下，所經過的實在軌道，我們就必有一個實體的圖形。我們用一個各方向彎曲的鐵線，能明白的說明這軌道。第二十三圖是用以指示這彎曲的鐵線的透視形，但是我們不能希望讀者完全明瞭這個說明方法。

總之按卡里的公式，恥骨的這軌道可以記錄於一個中空的半機筒，使凹形的部分向上，而在這底部就是最低度，在兩邊就是最高度終止部分。

身體的向前進。在走路的動作中，身體是決不停止不前的，但是這前進的運動速度不是始終相同的。我們要知道這些加速與延遲的交互形態，必須採用一個方法，以測量在走路中每個運動所經過的空間，並且

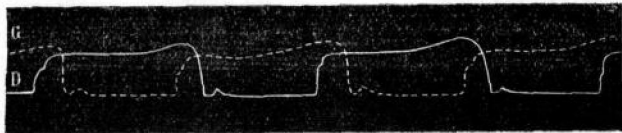


第二十四圖 指示這儀器的針臂向兩個遞次地位以及桿杆的繪畫針的相等地位，桿杆的針臂是三呎，機筒的半徑祇有六釐米，這走路的人的相同角度的移置以及繪寫的針的移置，等於 50:1 的各空間。

說明這些空間所經過的時間。我們爲了欲得到這雙重的指示，就採用下列的方法：

第一必須確定身體在走路中不同時刻上向前多少。測量所經過的空間，是由於記錄運動的曲線於一個能移動的機筒之上（不是按一定的運動而轉移，）在這機筒上自記的桿杆爲與所經過的空間相等的數量所移置。

爲了這目標，機筒是安置於這工具所轉動的軸線上，而在這些轉動的針臂之一的中端上，裝置這自記器。機筒的半徑與走路的人所畫成的圓形半徑的比率，使我們能從繪圖之中，估計每刻所經過的空間的長度，在我們的實驗中，這比率是五〇

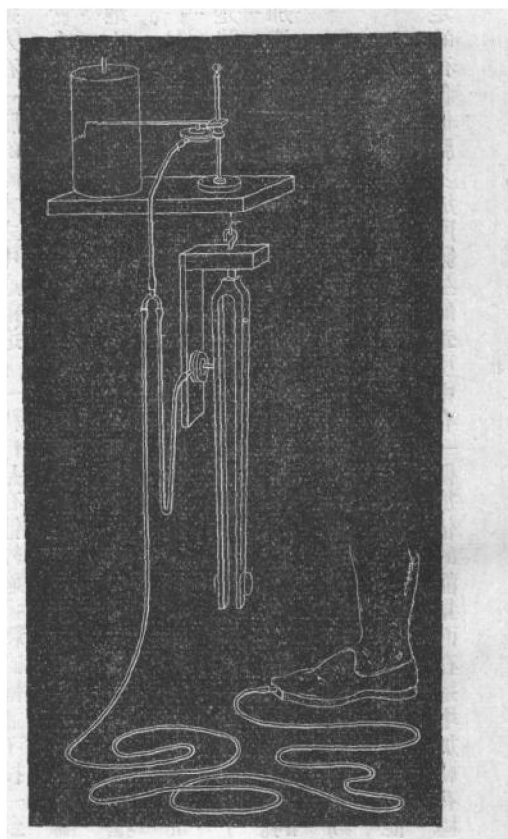


第二十五圖 D 是右腳的擊衝與舉高的繪形，由一個同時每秒受 10 振動的桿杆所繪寫，我們見到這些振動在腳的壓力終了時占較多的空間，這說明身體在這時前進的最大速率。在右腳的支持力終了時也見到這加速率這是由左腳的動作所說明，左腳的壓力在這時完了。

因此，在所得的繪圖中，我們若從各點算出一釐米的距離，那就等於在走路的人在地球上經過的五十釐米。這個第一觀念祇是稍有興趣，因為牠所指示我們的不過關於在地上兩腳的兩個地位之間的距離，我們的腳步在柔地上所留下的痕跡，是供給這測量的最簡單方法。但是除了知道所經過的空間之外，這繪圖若再指示經過這空間的時間，那我們就有一方法來測量身體每刻前進的速率了。

第二十五圖的 D 線指示一個腳的擊衝與舉高，以及測時計同時所記下的振動。我們為得到這些繪圖，使兩個傳送管同時集中於同一桿杆鼓之上，其中有一管傳送實驗鞋所受的壓力變化（見第十九圖），而另一管傳送由一個大測時計的音義所引起的每秒 10 振動。

第二十圖指示這些工具的配置方法。我們見到這鼓要受腳對於地的壓力的變化，以及音義的振動的雙重影響，這使一個繪圖中表示兩個運動的衝突，同時使我們明瞭所經過的空間及經過這空間所用的時間。



第二十六圖 一個大音義（牠的振動為鉛質量減至每秒 10，）由於連着分支的實驗鼓而影響於自記的桿杆鼓。這同時也受到（由於有兩個分支的管）走路人的腳的擊衝與舉高。

我們爲分析這繪圖，第一試考察同時遵從音義的曲折的曲線以及右腳的實驗鞋。我們對於這曲線祇考察升高部分——就是與加於地上的壓力相等的。我們見到在這壓力的期間中，繪寫的筆尖在機筒上所經過的空間約有二釐米，因此在筆尖的移置比走路人的移置較小五十倍時，這人在一腳的壓力之中必前進了一呎。但是在他經過這呎時，他並不按一致的速度而前進。事實上，在這距離的前半段中，音義發出四振動左右，而在後半段中還不到兩個半的振動。因此踏在地上而用力從擊衝的開始增至終了，給予身體一個均等增加速度的推進力。

在腳舉高之時，音義所繪成的線也指示走路人的身體按加速的運動而前進。我們若記住在走路中，一腳的舉高與另一腳的腳步完全相合，就容易了解這一點。因此給予走路人的身體一個加速運動的，是左腳加於地上的擊衝，而這加速的運動在右腳舉高時見到的。

這方法在我們看來，能適用於一切必須測量運動的不同形態的相對期間的情形。

人走路的速度不均等，引起一個重要的結果。一個人拖一個重擔時，他所用的力是不能固定的。在每個腳步，於所發生的牽引中有一個加倍的能量，而在這增加祇有極短的期間時，每刻有

一系列的震動。但是我們知道這些震動是很不利於機械力的充分利用，我們在前面已說明牠們對於生物原動因子的功作必引起不便利，以及這些震動為肌肉纖維的彈性所減少的狀態。

在人拖貨物的狀況之下，他若由一條皮帶縛着他所拖的質量，那就必產出我們所說的震動，而他要感到加於肩部的反動力。為避免這些痛楚的牽引，並且為充分利用他所用的力，我們必須在貨物與牽引皮帶之間，安置一個有彈性的部分，以適應我們期望的結果。

我們設法構造相似的機器，而可以適合平常的車輛之用，以減少加諸頸上的猛烈的壓力，並充分利用馬的體力。

第三章 人類採用的不同步態

對於用以研究人類採用的不同步態的儀器的說明。移動自記器。縱線反動力的實驗器。走。跑。奔。兩腳同跳與一腳獨跳。關於這些不同方法的記錄。在任何一種的運動中一個步態的定義。不同步態的綜合的模造。

動物所採用的主要步態，是走（關於人類的走已述於上，）不同速率的跑，奔，以及兩腳或一腳的跳。

走的動作隨地的性質或傾斜度而變化，我們對於這些不同的影響必加以討論。

在這新的研究中，我們不能再採用以前各研究中所用的儀器。實驗者所必走的圓形及橫的軌道，非代以各種與不同傾斜度的平面不可。

假使我們所採用的新工具，予實驗者的行動以較大的自由，那這些工具所供給的記號反而比較不完全。因此我們從牠們祇能求得兩種的記號，就是腳加於地上的壓力，以及這些壓力傳到身體的縱線反動力。

第二十七圖指示一個賽跑者，身上裝置新的儀器。他穿着上述的實驗鞋，而手中拿着一個移動自記器，在這機械的上面繪寫腳的壓力所引起的曲線。這工具的機筒按一致的速度而轉動時，



第二十七圖 賽跑者身上裝置儀器以記錄他的不同步態。

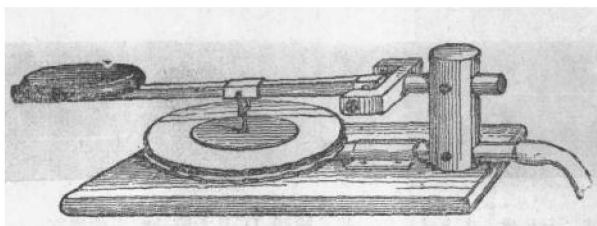
就按時間，而不按這曲線所繪寫的每個動作所經過的空間而記下來的。

我們爲促進這實驗，並且使這儀器在未繪寫之前有一致的運動，不得不採用特別便利的方法。繪寫桿杆的尖端並不碰着機筒，但是要使牠們接觸紙，就必須壓縮橡皮球。在這壓縮一停止，尖端就從機筒退回，而繪圖就此停止了。在第二十七圖中，賽跑者的左手拿着這球，而用大拇指加以壓縮。

除此之外，這位賽跑者爲要得到縱線反動力的繪圖，在頭上載了一個工具，見於第二十八圖中。

這是裝置在一片木板上的，一個實驗桿杆鼓，這木板是用臘模型載在頭上，如第二十七圖所示。鼓有一片鉛裝在桿杆的末端，而這質量是由其慣性（inertia）而動作。

身體在縱方面振動時，鉛質量就抵抗這些運動，而使鼓膜在身體舉高時沈下，在身體下落時升高。從這些交互的動作，結果發生一個空氣流，由管子傳到自記的桿杆，而由一條曲線指示身體的振動。



第二十八圖 用以記錄在不同步態中縱線反動力的儀器。

我們不詳述用以證實由此而得的繪圖的正確的各實驗。這些實驗是考正鉛質圓盤的重量

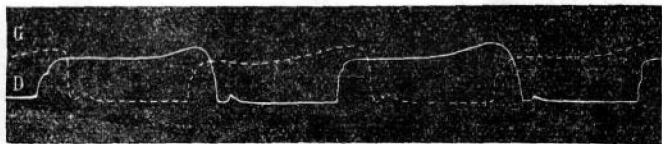
以及鼓膜的彈性，直到給予儀器的運動正確的表現於繪圖之中。

我們對於腳加於地上的壓力所形成的每個曲線，要稱之為步度曲線 (step-curves)，並且我們稱上升與下落的振動，為加於身體的縱線反動力。

(1) 走。我們已指出人類的不同步態之一的走路的顯明性質。我們曾說身體在走路時從不離地的，並且每步相繼而不中斷，所以身體的重量交替的從一腳換到另一腳。

但是這定義不能適用於在傾斜的平面上，柔輦的土壤上或上樓梯的走路。我們對於這些走的特殊狀況祇能略加敘述，所以祇繪寫上樓梯的動作（見第二十九圖）。

我們要注意互相侵占的步度曲線，指示一個腳在另一腳已經踏下



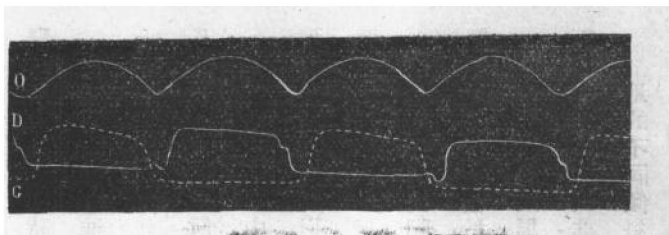
第二十九圖 走上樓時所引起的繪圖，D 是右腳的壓力與舉高，G (虛線) 是左腳的，我們見到兩腳所產出的曲線是互相侵占的，並且腳的壓力的最高度與壓力的終了相合。

第二步時，仍然是壓着地上的。並且就是在這雙重壓力之時，下面的腳行使其最大的力，在事實上，就是在這時產出功率，而把身體舉起一步之高。

在下樓梯時沒有這情形，步度曲線不互相侵占，但是互相連續，極像平常在平地上的走路。

(2) 跑。這個比走路較速的步態，也是兩腳的腳步互相交替，而步度曲線按相等距離而相連續，但是有一點不同，就是在跑的時候，每一步身體就離地一刻。

跑既然較速，所以有不同的名稱。從生理學的觀點說起來，如體操的步行 (gymnastic march) 與快步 (trot) 等是沒有功用的，牠們與跑的各種速度相合，但有小變化而已。要確定這步態的主要性質，祇要分析第三十圖。



第三十圖 人類的跑所形成的繪圖，D 線是右腳的擊衝與舉高，G (虛線) 是右腳的動作，O 是身體的振動與縱線反動力。

跑時腳的壓力比走路時較為有力，在事實上，牠們不但支持身體的重量，而且用速度使之向上及向前推進，我們知道予一個質量以升高的運動，所用的力必比較用以支持這質量的力來得大。

加於地上的壓力的期間，較少於走路的。這個短期間與腳踏在地面上所用的能量相等。這兩個要素（力與壓力的短期間，）在大體上隨跑的速度而增加。腳步的頻率也是隨賽跑者的速度而增加，但是在各種的跑之中，有的在某定時所經過的空間範圍，是取決於每步的範圍而非步數。

我們已說過，跑的主要性質是身體在兩個腳步之間，停在空中的懸空時間。第三十圖明白指示這懸空，就是分離右腳的曲線的下降與左腳的曲線的上升的距離，反之亦然。這懸空時間的期間似乎祇有小的變化，但是我們若比較這期間與賽跑者的速率，那我們就見到這

懸空所占的相對時間，隨跑的速率而增加的，因為每個腳步的期間按這速率而減少。

腳的每個推進力怎麼引起身體的這懸空呢？第一我們可以想這是一種跳的結果，就是身體給腳的推進力猛烈的向上撐出，以使之在空中形成一個曲線，而在中間能得到離地的最大高度，我們爲使自己相信這不是實情，試利用記錄身體的反動力或縱線振動的儀器。

在第三十圖中，上線O就是跑的振動的繪形。這繪圖指示我們身體在腳向下的壓力之中，達到縱線的高度，所以牠在腳一碰到地就舉高了。牠在這腳的壓力的中間達於最大的高度，並且又開始下降，以在一腳剛舉高而另一腳尚未達到地上時，就達於最低度。

縱線振動與腳的壓力的這關係，明白指出懸空時間並不取決於這事實：身體突起於空中而離開地上，但是由於兩腿因爲彎曲的結果而從地上縮回了。這是在身體達於最高度時發生的。我們在討論馬的步態時再提及這些現象，在馬的情形下，也有相同的身體懸空，並且因此而稱之爲高空的步態（elevated paces）。

地的不同傾斜度的影響，對於跑與走除了這個不同點：這影響對於跑比較大，其餘各點差不

多都是相同的。

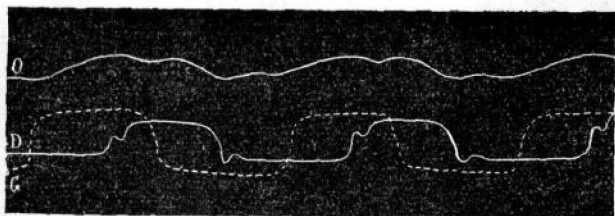
(3) 奔。前此所討論的各步態中，四肢的運動是有規則的相互交替的，所以步度的連續是按相等距離的。這些是人類的正常運動，但是人類由於腳的動作，在某限度之內能模仿馬所產生的不規則的步調。兒童在裝馬遊玩時，常模仿這種的運動形態。這異常的動作除了用以說明四足動物的奔的機構學之外，是沒有什麼趣味的。

同時記錄步度曲線與反動力，可以見到（見第三十一圖）在後的腳，就是先碰到地的腳；並且這腳行使一個有力而又長的壓力，於終了時在前的腳就碰到地，但在較短時間之後，而在碰着後有一個懸空的時間。因此在兩腳懸空時有一個運動產出的。

在這步態中，反動力在有的方面與壓力相同。在事實上發生了一個長的反動力（O線），而由此我們覺察到有兩個縱線振動的阻礙，其中第二個振動在第一個未完畢之前就開始的。這反動力之後，就見到這曲線的下降，而其最低度與兩腳在空中時的運動相符合。

(4) 跳。雖則跳在人類的運動中不是一個支持的步態，但是我們要略述幾句，以結束人類

所能執行的各動作。

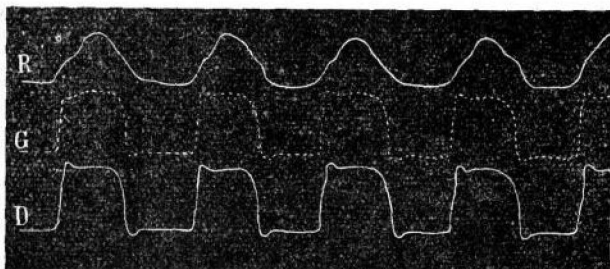


第三十一圖 人類先用右腳奔，步度曲線與反動力，曲線互相侵占，然後身體懸空，與反動力相合的 O 線指示腳的遞次推進力對於身體的影響。

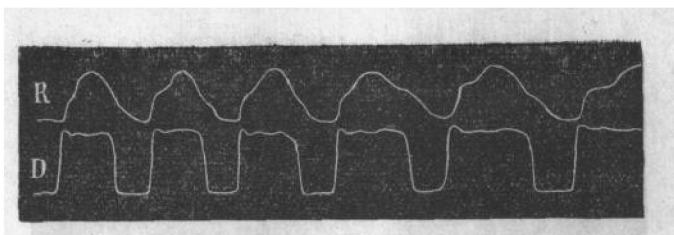
兩腳合併起來，我們能做各種的跳，模仿鳥的運動形態，四足動物的，以及袋鼠之類的動態。

用以說明身體的縱線振動的儀器，是安置在實驗者的頭上。我們由此能立刻得到三個繪形，就是兩腳的壓力及反動力，這些見於第三十二圖。

我們見到反動力的曲



第三十二圖 D 與 G 指示同時用兩腳跳，R 是反動力的曲線，指示上升的最高度與腳的壓力的中間相合。



第三十三圖 D 是右腳的一系列跳態，懸空的期間就是在腳的壓力變動時，也是固定的。

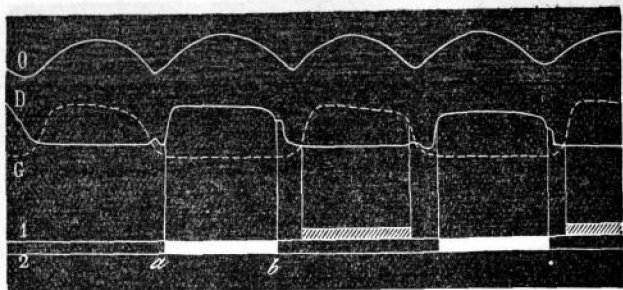
線（R線）的最高度與壓力相符合。因此由於二者的連合的能量，兩個腿把身體舉高，而在彎曲而預備再動作時使之下降。

第三十三圖就是一腳跳的繪形，祇有一隻腳的壓力與舉高。身體的高度與步度曲線相符合。在事實上，在跳的速率減少時，於腳加於地上的壓力中尤為延長，而懸空的期間差不多是很固定的。

在有的動物種類中，連續的跳構成普通的運動形態。用圖表方法來研究這些動物的不同步態，是頗有興趣的。

不同步態的律動的記錄

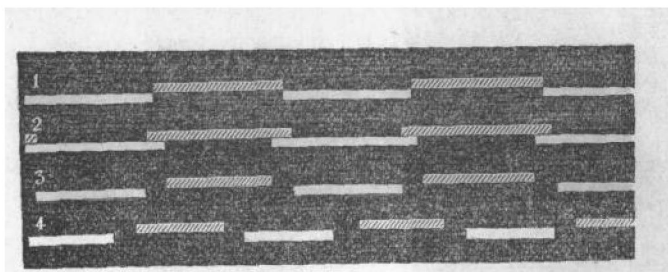
在各種步態的性質中，最顯著的就是腳的擊衝的節奏。腳對於地上的擊動引起聲音來，而其連續的次序，祇要由一個聽慣的人，就能認出是那一種的步態。因此我們要研究這連續的規律，而確定各種步態的分類。



第三十四圖

我們爲要指出每個律動的圖形，就採用音樂的記號，而加以修正，以使同時知道每個壓力的期間，以及身體懸空的時間的長短。由這儀器所供給的繪圖，這律動的記錄是用極簡單的方法形成的。

我們試看第三十四圖中的曲線，與人類的跑的動作是相同的。在這曲線之下，我們試繪畫兩條橫線（1與2）。這些線就是記錄這音樂的音度線，而這簡單的音樂祇有兩個音符，我們稱之爲右腳與左腳。從右腳的一個步度曲線的上升部分的開端，我們在音度線上畫一條直線a，這線要測定右腳的壓力的開始，在這曲線的末端所畫的直線b，是決定這腳的壓力的終止地點，在這兩點之間，我們試畫一條寬的白線。這線的長度，就表明右腳的壓力的期間。



第三十五圖 人類採用的四種步態的對照記錄。

在步度曲線1之上的相同圖形，就是左腳的壓力的記錄。爲避免混亂起見，左腳的記錄用斜線作表記。

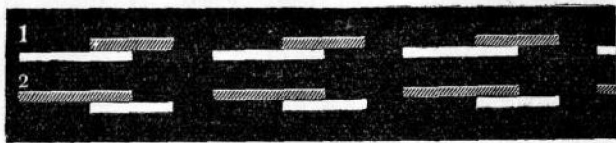
在兩腳的壓力之間，律動有一個停止（silence），就是身體離地懸空那一刻的表示。

假使我們這樣記錄人類所採用的一切步態的律動，我們就得到一個對照表，大有助於這些不同節奏的比較。第三十五圖指示四種步態的對照記錄，這些步態是有節奏的，而兩個腳是交互動作的。

第一線代表走的步態的律動記錄，這是這圖表的重要因素。

代表右腳加於地上的壓力，是一條又白又粗的線，就像一個長方形，這線的長度與這壓力的期間相等。左腳的壓力是用中有斜線的灰色長方形來表示的。

這些連續相間的灰白線，表示在走路時兩腳的壓力互相連續，而



第三十六圖 奔的記錄，1. 左奔 2. 右奔

不使二者之間有任何的距離，

第二線是上樓梯的記錄。我們見到這與第二十九圖所說明的相同，就是步度曲線互相侵越，因此身體在一刻之中同時停止在兩腳之上。

第三線是跑的律動的記錄。右腳發出比走路較短的步度曲線之後，就有一個距離，即身體的懸空，然後左腳發出短的推進力，繼之身體又懸空了，如此繼續下去。

第四線是較速的跑。在這步態中我們見到壓力的期間較短，身體的懸空較久，而各種運動的連續較快。

第三十六圖是記錄兒童的奔，在這步態中兩腳並不按同一形態而移動。在這繪圖中，第一線是左奔，就是左腳總是向前。我們見到右腳先壓着地，然後左腳落地，而碰着地的時間較短。

此後身體就懸空了，然後右腳又落地，如此繼續下去。