

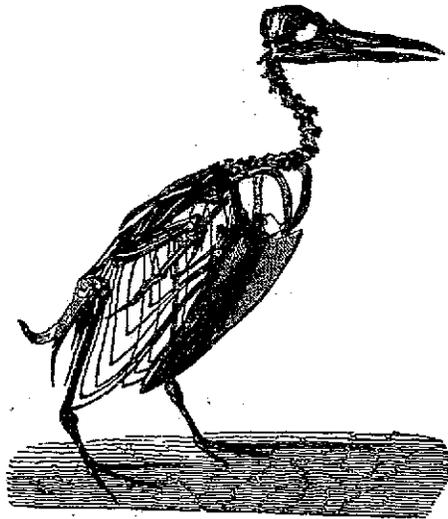
自然科學小叢書

動物機構學

E. J. Marey 著

黃澹哉 譯

王雲五 周昌壽 主編



商務印書館發行

國立北平圖書館藏

383.7
414

2

自然科學小叢書

動物機構學

E. J. Marey 著
黃澹哉 譯

王雲五 周昌壽 主編



商務印書館發行

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

61737

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

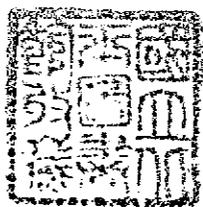
動物機構學

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系所必需的力，並且使這些機器執行各種不同的動作。

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。人類是否曾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。在此我們並不詡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構學沒有完善的觀念。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，船槳像軋擊水的蹠腳，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艦計劃，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，可是許多申明爲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爲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，久被認爲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。力的不滅性及其變化。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。一個使我們暖和的火。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。他從蘋果的跌落地上，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爲未知的，但卻不是不可知的了。在生命的現象中爲我們所知道的，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。生物的可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全的觀念了。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

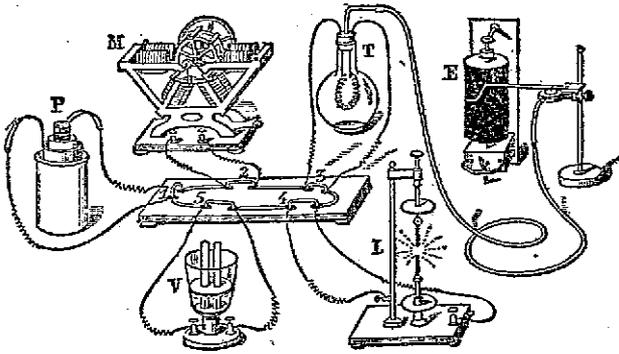
壓力而制止分子的運動。

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 說明蓄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，而舉起一個表記橫杆，這橫杆在迴轉的機筒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，而這熱再變成功作。

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，在跌落的一剎那就恢復用以舉起牠的功作。

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。在這影響之下方的遞次放棄。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魁枳 (Kilogrammetre)，換言之，就是使重量單位 (仟克) 升到高度單位 (枳) 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，而祇有五干的熱單位。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，能供給固定數目的麪積，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爲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，等於四二五鈎狀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，又能把一個四二五鈎狀的重量舉到一呎高。（註）

（註）里騰 (Regnault) 對於空氣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七七十二磅。

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鈎狀的功率，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趲狀。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（Tyrie）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. Bealard)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 (Hinn) 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。然而他斷知道這機器所產生的熵數目，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熵。

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。他把實驗的機器圍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，也不能更為精確；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。

第二章 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，腺與肌肉於動作時時發熱。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的溫度。

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气較熱，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接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洗着，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. O. 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。管動與肌肉收縮計。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。比如 (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，稱為大交感神經系。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演奏敏巧精確而有力，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（我們也以為然）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。

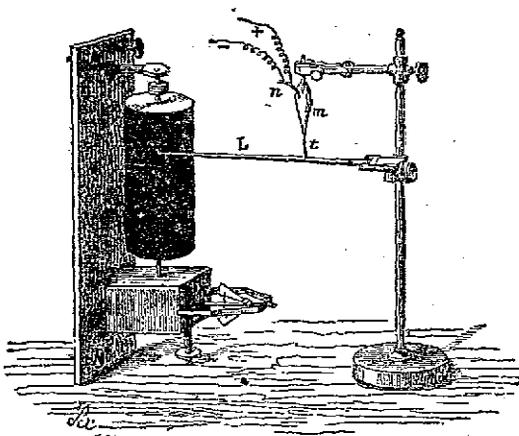
生理學家要分析肌肉中所發生的運動時，他並不先分析隨意的運動，這太複雜了。他把一個肌肉分隔，而用人工的刺激放到牠的神經以引起牠的運動。

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爲 *Zuckung*，而我們提議稱之爲震動（*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（在氣象學實驗中會有長時期使用之）爲一般所熟悉，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。我們會推廣這些工具的



第二圖 肌肉收縮計。

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质，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。

為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*，用一個綫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

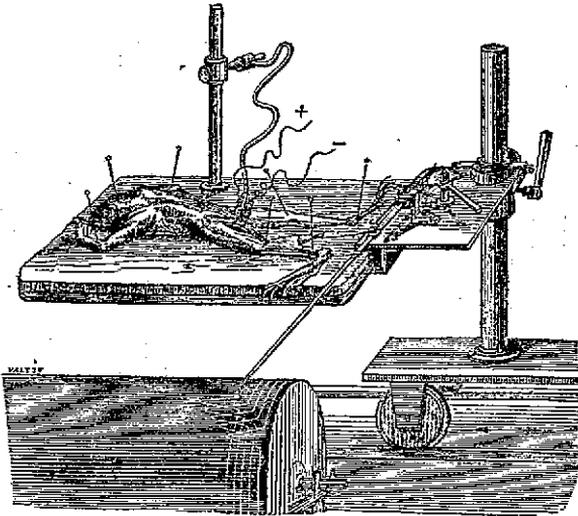
的震動。肌肉的這些運動每個都與或升或低的桿杆相通，而這桿杆在末端擴大牠所受到的運動。這桿杆在一個迴轉的機筒上追隨一種曲線，這些曲線上升就指示肌肉的收縮，下落就指示肌肉回到原來的長度。

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，這肌肉的腿割斷了，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。

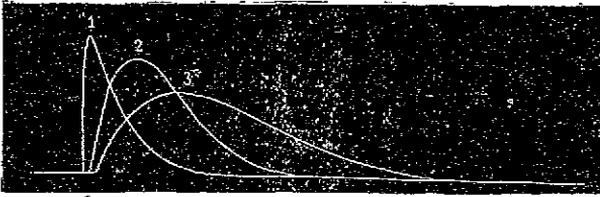
機筒不動時，這桿杆為每個肌肉的震動畫一條直線，說明（擴大之）肌肉的收縮範圍。有幾個科學家祇用這一種的肌肉收縮計，他們藉此以確定肌肉動作的強度的不同影響所引起的變化。使機筒急速轉動，可以得到一條曲線，牠的高度表現收縮的範圍，牠的斜度（常常變動）指示肌肉經過不同震動狀態的

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。

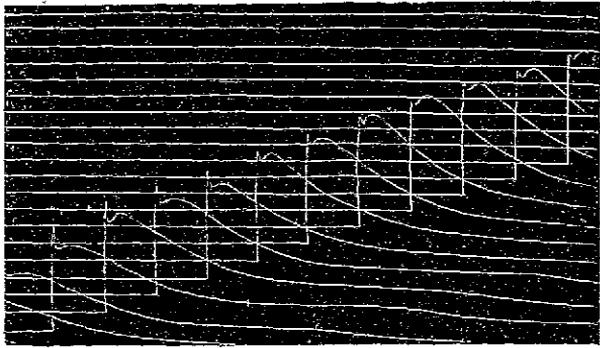


第四圖 震動的性質，按肌肉的疲乏程度而變化(1)未疲乏的肌肉(2)稍疲乏的肌肉(3)更疲乏的肌肉。

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名辭來敘述這運動；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 肌肉漸漸受毒劑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。

所稱的肌肉收縮計的絞剪器，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為不透明（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。

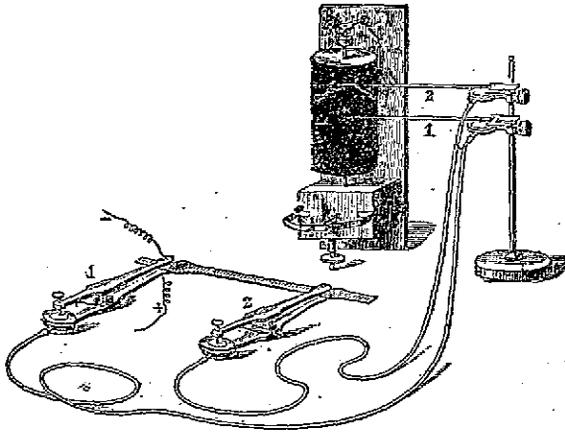
肌肉的收縮既是隨牠的橫伸展而發生的，我們就可按這伸展而研究肌肉中所產生的運動的特性了。我們已能表記肌肉的體積中的這些變化，就如我們表記牠的長度中的這些變化。在這些條件之下，我們可以研究人本身中的肌肉作用，因為這不必割手斷腳就能進行的。

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，以便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



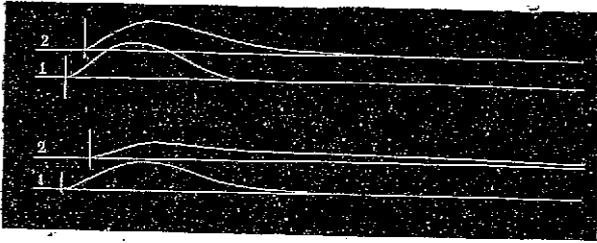
第六圖 肌肉纖維中波動所引起的形狀。



第七圖 把一束的肌肉放在一對筋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。爲要使波動作，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。

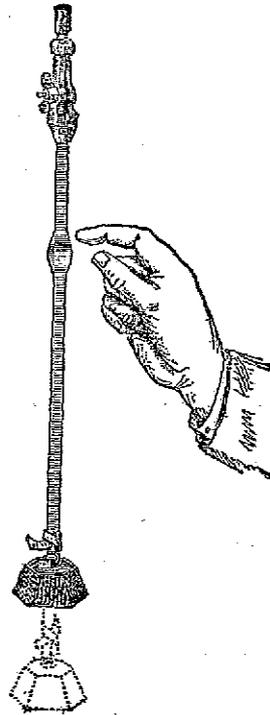
肌肉中機械力的產生。我們已見到化學的作用是肌肉力的來源。這力要經過什麼介質變成機械功率呢？

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

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關度時收縮長度。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，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，而把軸



第九圖 用一條彈性橡皮把熱變成功率。

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，而降回原來的溫度，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。強直痙攣與肌肉的收縮。收縮的學說。肌肉的功率。

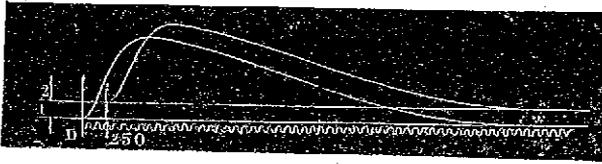
前章中所敘述的實驗，指示在人爲的條件下的肌肉，也許這會引起我們懷疑所得的結果。這用以刺激動作的電因子，能否與意志從神經送出以命令肌肉動作的未知因子同化呢？這些人爲的運動，這些短促的震動（肌肉的狀況若不變，總是相同的），什麼地方與意志所指揮的動作（形式與期間的變化極多）相像呢？這些異議至少值得我們加以簡括的討論。

神經的機能。一個神經受放電刺激時，所用的電並不總是達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究（尤以雷夢（Reymond）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（例如地能站 Dion），得到火車通過的記號，於是我們要見到信是在離開地能站後，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，每秒有十五至三十呎的變動。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。

生理學家曾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，就是恰恰在肌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，為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 (Duhaut) 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。

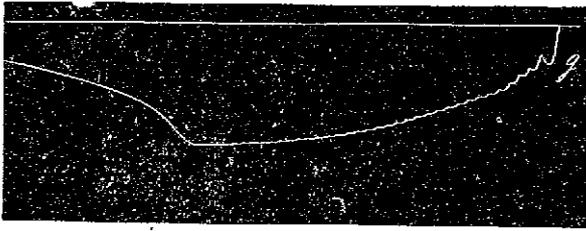
除此之外，一切使肌肉震動出現時發生變化的影響，也使波動在內部的傳播速率發生變化，

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 遞增頻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。

用一個極靈動的肌肉收縮計，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) 以及柯倫格 (Collingne) 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 以爲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，並且接他對於引起電的強直痙攣的實驗，他認爲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。

假使用筋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，因爲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方的能量而增加，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——就是用剋（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的衡量才穿進去，那這工人爲要得到一尅的功率，就必刮下長一呎的質量。一匹用二十尅的力而拖一隻船的馬，在他走了一千呎時就必用二萬尅的力。

但是這仍然不能適用於一切的機械力。試舉一例，假使要用方以移置一個體量，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

$$\frac{1}{2}mv^2$$

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強力。

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。哲學說這現象的電性質的證明。電儀器
的放電與肌肉的靈動之間的相似。電的強直癱瘓。電錘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。麥錫西 (Mattenzi) 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，或在癱瘓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爲顯著。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，從前限定爲五：(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)這五類從前稱爲 *Raja torpedo*, *Gymnotus electricus*, *Silurus electricus*, *Tetradon electricus* 及 *Trichinurus electricus*

在十八世紀中，他們提到電鰩時，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 (Muschenbroek) 在十九世紀中，確定了電鰩的放電的電性質。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爲相通的介質，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，而大家覺到由這來頓 (Leyden) 瓶所產出的相同的效果。後來大維 (Davy) 用電鰩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。

關於火星的證明爲期更晚。李那里 (Linari) 與麥惕西 二人用了各種方法中斷一個金屬電路（電鰩的電流由此通過），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，放在電鏹的肚子之下，在牠的背上放一個鏹子，而金屬的電線就在這鏹上磨擦。然後對運動物加以刺激，而在黑暗中可見到一個或幾個火星在電與鏹之間通過。在電路恰恰在電鏹的電流通過時而中斷時，大概就產生這火星。

這鏹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。我們試觀察在電鏹的放電中所產生的兩個火星，明日指示這是一點期間的，至少用電線通過鏹子的兩端時所經過的時間來測量。

馬魯 (Moran) 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，纔認識電鏹的電的現象；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鏹的放電，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構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，整個的電機構就麻木了，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，並且在這動物受藜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構的不同細胞或薄層，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。

電鱗的一部分電機械（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。

在電鱗中，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。在鯨類中也是如此，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，我們可以從這電鱗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，祇要碰觸這電葉。

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，而想確定電鋪的神經傳出意志的命命的速率，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），那這電鋪的放電（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。假使實驗指出了電鋪的放電在遲滯，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，不是即刻的。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。

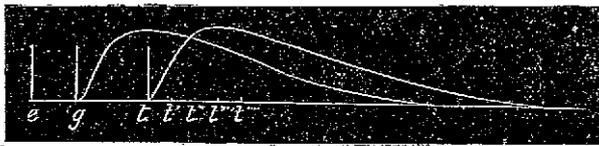
這差別 g_t 就指明電鰻在牠的神經的刺激與放電之間所消耗的時間。我們改變這試驗（就像主動的神經的實驗）就得到電神經因子的速率以及電鰻器中失去的時間的測量。（註三）

(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短距離，對於這些實驗的真正經配，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'''' 。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 測量電神經的刺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，要利用軸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功，而利用牠的一切動力。反之，在適應一缸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

圈又太小了。

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-mastoid*，*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*)，以及顳肌 (*temporal muscle*) 等，是大而短的肌肉，就是能有大方面收縮不大的肌肉。

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。他對於肌肉動作接

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，我們也得知道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，所加的壓力的斤克數目來測量的。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。

生理學家也曾想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 Koslar）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. Duerheim）的意見，一個重二十釐克的鹿角蟲的肌肉，能載七斤克的重量，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，而我們接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，並且在我們未明瞭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動作。

我們決不能想像古代高爾(Goerl)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，而由此祇要少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動作。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之鼓勵，而在這情形下卻不遵從他的模型。他想超過這模型，而他是对的。要明瞭這一點，我們最好引述佛柯（L. Foucault）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。
生物電動機的動力能量 生物主動力與機器，是受同一的功率的估計，是用前者的動力能量比較後者的。

與每秒七五瓦特相等的外部功率，是稱爲馬力 (horse-power) (註一) 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，每次人身上樓梯，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。在哺乳動物中，腹肌按運動形式的變化。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。

腿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（*sewners*）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-mastoidal* 以及 *mag-nus rectus abdominis*。這些也是有極長運動的肌肉。我們可以檢查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。

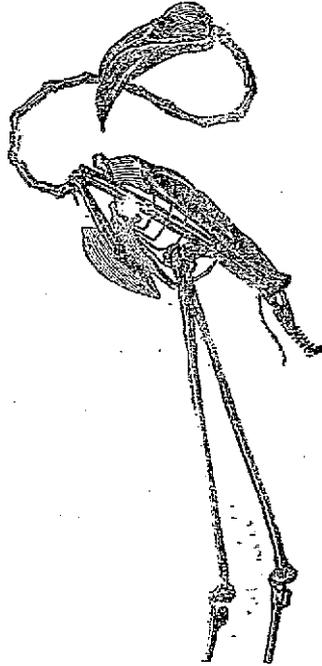
包來里本人也曾注意這錯誤的原因。他指出了羽狀肌肉 (*peniform muscle*)，就是纖維傾斜的插入腱中的肌肉（像羽毛的鉤刺的插入中間的羽軸），就是形狀像長肌肉的短肌肉。我們要了解有機體各種肌肉的動作，就必注意這些問題。祇有用這方法，我們纔能估計牠們收縮部分的實在長度。

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 curvia* 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。

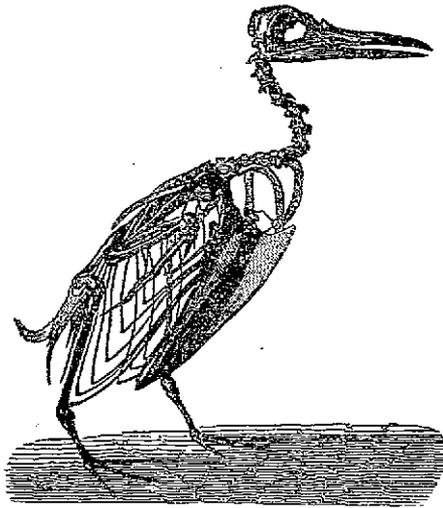


第十三圖 紅鷄的骨骼，翼極大，胸骨極短而深，即表示胸肌的大小與短度。

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。

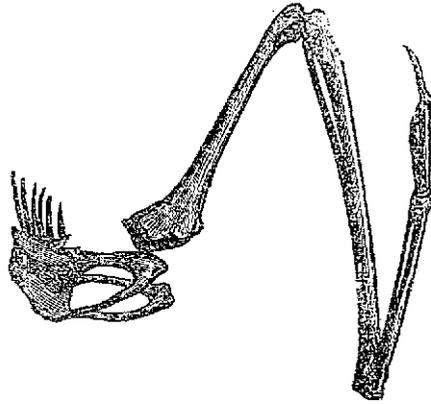
更有許多的例子中，這種相同沒有什麼可疑。這種相同是由於用相同名稱表示不同種類中

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，尤以下部連結點為甚，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 單翅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（Osier）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。

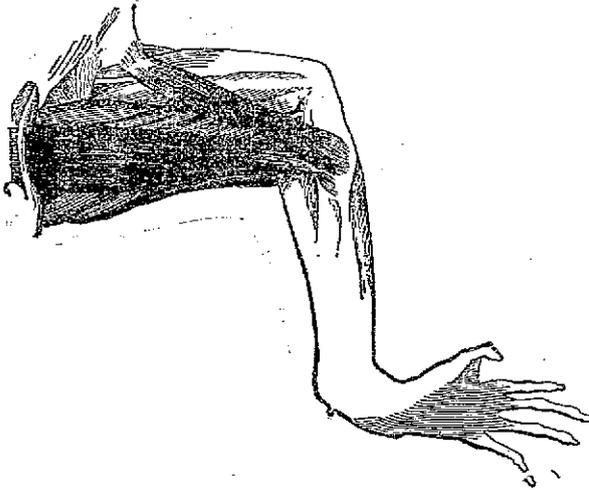
在半腱 (*semi-tendinosus*) 的肌肉中，這連結點的變化性仍然是很明顯的，而這肌肉之所以得這名稱，是因為在人類中，這肌肉大約一半的長度爲腱所占有了。在事實上，人類的半腱肌肉

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，而差不多完全沒有腱了。在其他的哺乳動物中有大部分完全失去這腱，例如浣熊 (COALITA) 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，



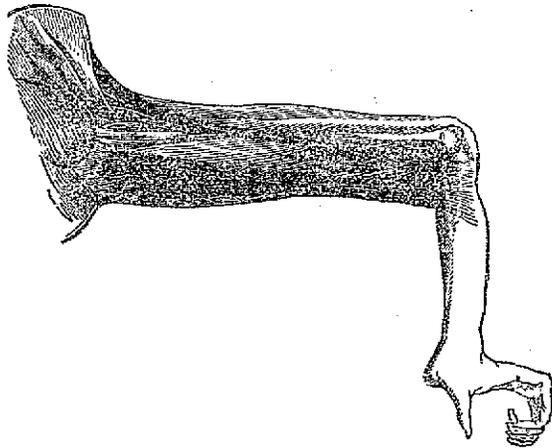
第十七圖 隻猴的股部肌肉，*rectus internus* 肌肉差不多完全是由紅纖維所組成。這肌肉的連結點離膝部頗遠，在把腿彎到股部時予以大範圍的運動，縫匠肌有一條極短的腱。

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，我們最近曾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取捨的習慣，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，尚有很長的時期，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，較為精確，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，這些是毫無價值的。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(Guérin)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。證明骨骼在生长期中，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。機能支副器官。

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一切器官的毀壞而猶存在，並且幾千年之後，能成爲死亡的動物的唯一遺物；當然他認骨骼爲有機體的不變部分了。他以爲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隙。

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髓。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（O. Martin）在敘述及修正大齊（Via d'Azin）的理想時，曾指出一個人或動物的上臂骨是股骨的相同物，但是這股骨是絞合於軸線之上，所以往後轉的膝成爲一個臂節了，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臂骨了。

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膠，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（Varicoses）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，以及手腓骨以柱形的特性，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，若有脫銜的情形，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臼之後，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，密切相連的真實證據。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，而骨突起就較爲不顯著，在事實上，這麻痺若是出生時就有的，那骨骼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 (Dunand 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臂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，上臂骨是看不出來的，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。在顛凹穴的四周，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，這就是顯肌插入的骨突起。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，就是所稱的外骨瘻（*exostosis*）。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（*Gegenhainor*）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，緩和的運動卻祇產生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為增大，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，而在不均勻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平面。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，而在潛鴨中差不多也是圓的，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腦，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。因此不同種類的骨幣的形式變化，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？我們知道骨格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，）以及改變骨格的機械力的發動機，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，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，祇顯示紅纖維與髓的比例的變動，在後一情形下，收縮體質在長度方面減少，而為髓所替代，這髓常常是很為發育的。

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 (Scarpa) 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 *gastrocnemians* 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，*solens* 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 *solens* 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髓之間的比例之變動。

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，而為臃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。臃的替代肌肉纖維，在幼兒的腿肌肉中更為顯著，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。背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，但是腱較多。

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，就知道是很有限的。

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（髓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為的狀況之下。然而非如此不可，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爲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，倘使這些方無限的累積起來，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？

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。因此為運動而研究動作是較為便利因為我們能由見到各種不同的形式。

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。但是確定適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，然後他用力，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。

有兩個相反的步態對於實體有影響的，其一是抵抗的趨勢，其二是使之挨近；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，與運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，這些就像在同一方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头部時，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，這身體的又輕又長的後部，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。

爬的行動的同一就是爬高 (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，除了敘

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，又見到鳥賊魚之類，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。蜻蛉的蠟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漿的。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一了。

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，以便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生的功率，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。對於髖骨的軌道的陳述。身體向前的運動。在一歩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，以使用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基股關節點，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。

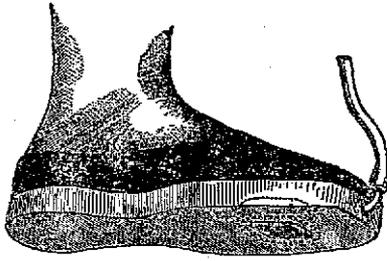
這一切的動作爲卡里（G. Carlet）所分析，而我們引述他所得的結果於下。

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。用一個實驗具放在腳底之下，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。我們稱這第一工具為實驗的鞋，茲述之於下：

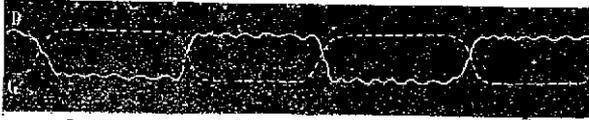


第十九圖 實驗的鞋，以指示腳加於地上的壓力的期間與形態。

在平常的鞋底之下，裝置一個堅固的橡皮底，一釐米半而中。一寸厚的熱樹膠。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壓力的繪形。

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筋肉收縮計的絞剪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的。

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，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

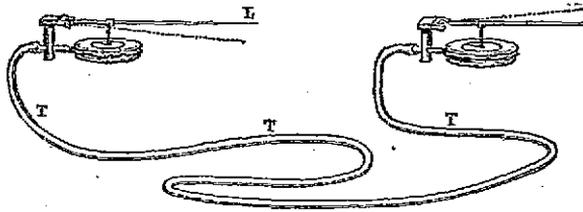
得多了。

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。但是我們若回想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



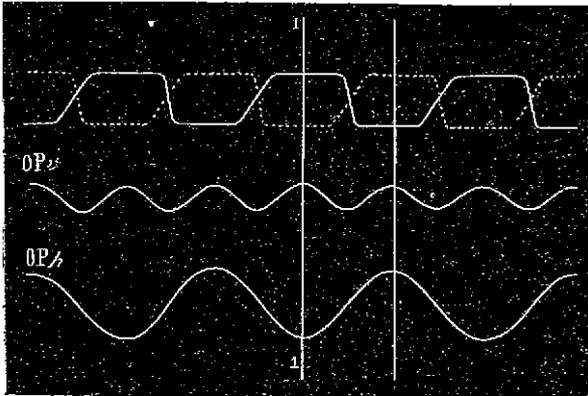
第二十一圖 一個振動的運動傳送到一個自記器。

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。O P_p 是恥骨從上往下的振動就是縱的振動 O P_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。

O P_p 線所表示的記錄（見第二十二圖）我們見到恥骨在每腳所行徑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。牠隨這長度而增加，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OP₁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，

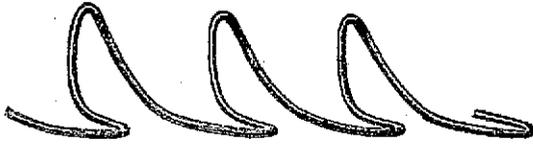
在左腳的壓力的中間，身體就傾向於左邊。軀幹的這個側面搖動，是由於身體在每腳上所經過的

縱線地位。

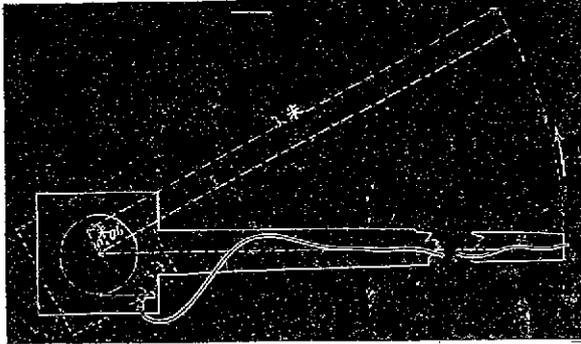
我們若要說明恥骨在這兩個振動及向前運動的影響之下，所經過的實在軌道，我們就必有一個實體的圖形。我們用一個各方向彎曲的鐵線，能明白的說明這軌道。第二十三圖是用以指示這彎曲的鐵線的透視形，但是我們不能希望讀者完全明瞭這個說明方法。

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。

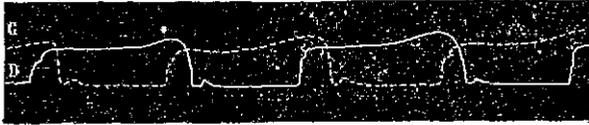


第二十四圖 指示這儀器的針臂的兩個遞次地位以及桿杆的繪畫針的相等地位，桿杆的針臂長三呎，機筒的半徑祇有六釐米，這走路的人的相同角度的移置以及繪寫的針的移置，等於 50:1 的各空間。

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輪形，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。

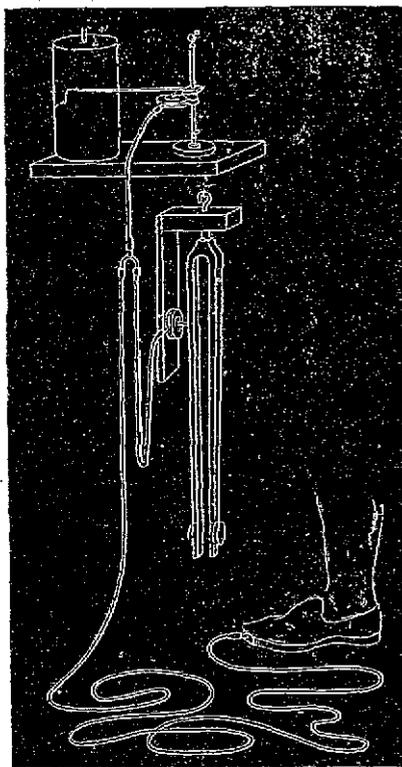
因此在此所得的繪圖中，我們若從各點算出一釐米的距離，那這就等於在走路的人在地球上經過的五十釐米。這個第一觀念祇是稍有興趣，因為牠所指示我們的不過關於在地上兩腳的兩個地位之間的距離，我們的腳步在柔地上所留下的痕跡，是供給這測量的最簡單方法。但是除了知道所經過的空間之外，這繪圖若再指示經過這空間的時間，那我們就有一方法來測量身體每刻前進的速率了。

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。

第二編 第二章 地上的運動（兩足動物）

一五三



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率高。

我們爲分析這繪圖，第一試考察同時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。在事實上，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
以充分利用馬的體力。

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。不同步態的綜合的構造。

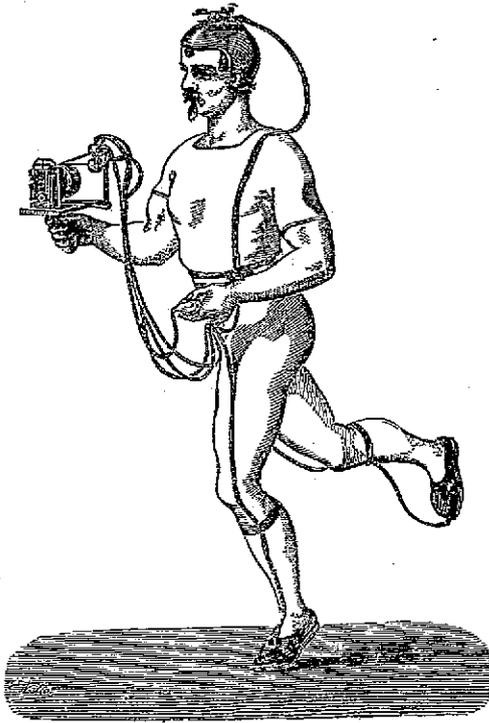
動物所採用的主要步態，是走（關於人類的走已述於上）不同速率的跑，奔，以及兩腳或一腳的跳。

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。

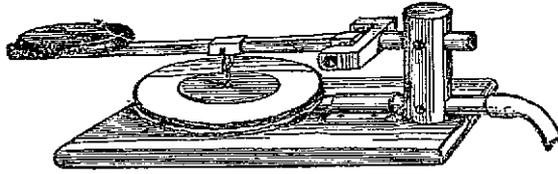
曲線就按時間，而不按這曲線所繪寫的每個動作所經過的空間而記下來的。

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。

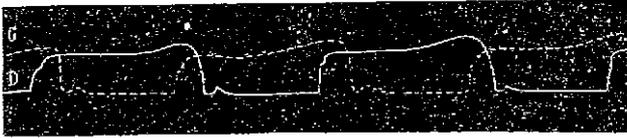
我們不詳述用以證實由此而得的繪圖的正確的各實驗。這些實驗是考正鉛質圓盤的重量以及鼓膜的彈性，直到給予儀器的運動正確的表現於繪圖之中。

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。我們會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



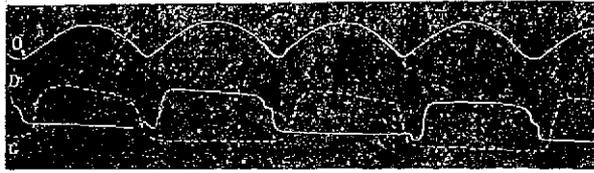
第二十九圖 走上樓時所引起的繪圖，D 是右腳的壓力與舉高，G (虛線) 是左腳的，我們見到兩腳所產出的曲線是互相侵佔的，並且腳的壓力的最高度與壓力的終了相合。

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，步度曲線不互相侵佔，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，牠們與跑的各种速度相合，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 人類的跑所形成的輪廓，D 線是右腳的擊衝與舉高，G（虛線）是右腳的動作，O 是身體的振動與縱總反動力。

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，而且用速力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上的所用的能量相等。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（*alofted 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。

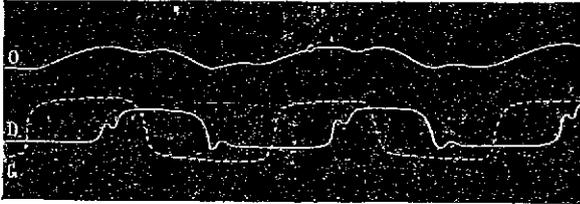
(3) 奔。前此所討論的各步態中，四肢的運動是有規則的相互交替的，所以步度的連續是按相等距離的。這些是人類的正常運動，但是人類由於腳的動作，在某限度之內能模仿馬所產生的不規則的步調。兒童在裝馬遊玩時，常模仿這種的運動形態。這異常的動作除了用以說明四足動物的奔的機構學之外，是沒有什麼趣味的。

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。

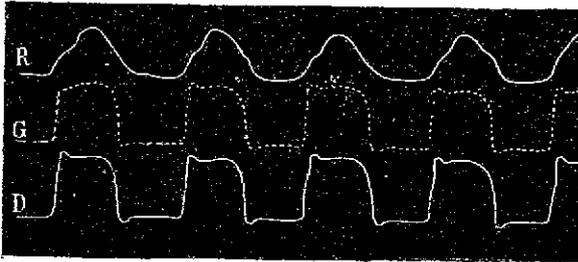


第三十一圖 人類先用右腳奔，步度曲線與反動力，曲線互相侵佔，然後身體懸空，與反動力相合的 O 線指示腳的遞次推進力對於身體的影響。

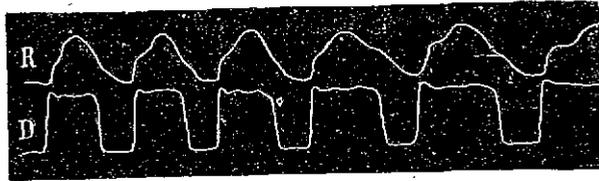
兩腳合併起來，我們能做各種的跳，模仿鳥的運動形態，四足動物的，以及袋鼠之類的動態。

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。

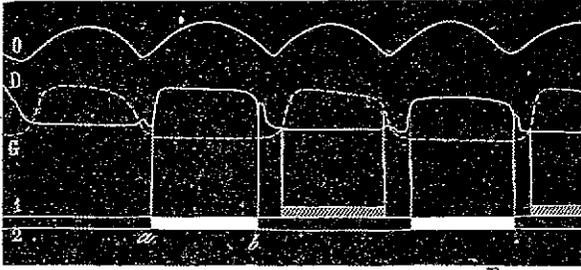
線（R線）的最高度與壓力相符合。因此由於二者的連合的能量，兩個腿把身體舉高，而在彎曲而預備再動作時使之下降。

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

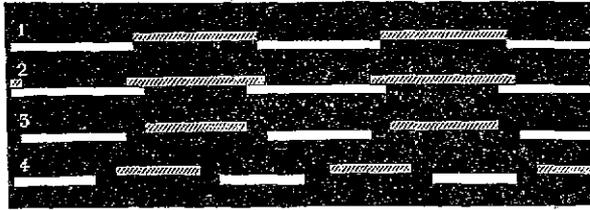
在各種步態的性質中，最顯著的就是腳的擊衝的節奏。腳對於地上的擊動引起聲音來，而其連續的次序，祇要由一個聽慣的人，就能認出是那一種的步態。因此我們要研究這連續的規律，而確定各種步態的分類。



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始，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。為避免混亂起見，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，這是這圖表的要素。

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。



第三十七圖 (上線)兩腳跳的記錄,(下線)右腳跳的記錄,我們見到壓力雖則有變化,但身體的懸空期間是固定的。

兩腳的同時壓力的時間,是按灰色長方形停在白長方形之上的空間來測量的。

第二線是右奔的記錄,就是右腳總是向前,而比左腳較後落地。因此在奔之中,身體有時是在空中,有時在一腳之上,而有時卻為兩腳所支持。

最後,第三十七圖所指示的記錄是:上線代表兩腳的跳,下線是右腳單獨的跳。

這個說明方法不如以前所有的曲線那麼完善,因為這不指示腳對於地所行使的不同壓力。但是這方法比較簡單,而使兩種的步態能易於比較。在述及四足動物的運動時,我們就得見到這题目的複雜,使我們不得不採用這運動節奏的極簡單的記錄。

步態的定義 通常都認為一個步度,是由於兩腳之間的各運動而來的,不論我們指定兩腳達到地那一刻為步態的開始,或是兩腳離地的那一刻

刻。因此我們在測量地上的步度時，常常用分離右腳印的一部分與左腳印的相同點的距離，作為這步態的長度。

我們不得不放棄這慣例。雖則我們不願有任何的更改，但我們要認一個標準步度，祇是半步，而我們的定義是如此：一步是同一的腳的兩個相同地位之間的一串運動——就是右腳的兩個連續腳步之間，或是左腳的兩個連續高度之間的一串運動。

這樣地上一一步的範圍，就是分離同一的腳的兩個連續腳印中兩個相同點的距離，在墨西哥，步度就是這樣估計的。祇有這計算方法，纔能防止四足動物的十分複雜的運動的錯誤。

人類所採用的步態的綜合的模造

我們既完成一個現象的分析，而我們現在似乎已了解牠的一切；然而祇有用綜合法，我們纔設立一個反證。這方法對於證實我們關於某種生理學作用（例如血的環流）的學說，頗為有益。這方法是用人造法來說明心的運動與聲音，以及動脈的脈搏等等，我們由此而證明我們的學說對於這些現象的性質，是正確的，這同一的方法，以後要用以證實我們關於昆蟲與鳥類的飛翔的

學說。在目前的情形下，按所有的分析所供給的材料，我們必須說明人類所採用的走的運動，以及其他步態。

大家都知道巴拉杜所發明的精巧的光學儀器，而他稱之為 Planaticiscope。這個儀器也被稱為 Zoetrope，把一串各種態度的人或動物的形像，呈現在我們的眼前。在這些不同形態互相調和以使我们看見一個運動的一切形態時，這錯覺就完成了，而我們似乎見到活人作各種的動作。

這儀器常常為娛樂兒童而造的，大半是表現各種滑稽形態的奇怪人物。但是我們發見若審慎的在這儀器上繪畫人物，而確實的表現身體在走，跑等等運動中的遞次形態，那我們就可以模造人類所採用的各種步態的形狀了。

對於走路的運動頗有研究的卡里，以及解剖學專家杜佛 (Davel) 曾實施這計劃，並且經過許多嘗試之後，得到極好的結果。

杜佛從事於完成他的圖表，使我們見到人類所採用的每個運動的十六個連續的地位。每個

人物是按圖表方法所得的結果，而審慎繪成的。這儀器用適當的速度而轉動時，就表現出走或跑的不同運動，而且精確無比，但是主要的優點是：轉動較緩，我們使之慢慢的表現各種的運動，所以我們的眼能極容易的確定這些動作，而這些動作的連續在平常的走路之中是不能見到的。

第四章 馬的四足的運動

五官不足以分析馬的步態。杜季(Dubois)的比較用耳朵來研究各步態的律動。沒有適當的言辭來證明這些律動的音樂的記錄。溜蹄、走步及快步的記錄。按不同研究者對於各個的定義所記錄的步態對照表。用以測定各種步態的律動，以及隨之而來的反動力的圖表方法的儀器。

沒有一個動物的力學，比較馬的步態問題引起更大的心力與更大的爭論了。這題目對於許多從事於特殊研究的人，是極為重要的，但是牠的過於複雜，引起了很長的討論。現在凡想撰述關於馬的步態論的人，必先討論許多著者所提出的不同意見。

我們在閱讀這些著作時，其中有十分精明的觀察，有不少有力的理論，然而我們卻見到這些著者大多數對於步態的定義，各持一見。相似的觀察者而有這個異見，祇能說因為他們沒有充分的方法，使他們分析馬的又複雜而又迅速的運動，用言辭來說明這些不同運動的律動與期間的困難，使之更為混亂，馬在跑，從一種動作換到另一種時，在他用令人目眩的速率移動他的四肢時，

而按這最不同的律動，我們怎能正確的辨別與敘述這一切的動作呢？在看過音樂家的手指溜過琴鍵之後，就容易敘述所行使的這些動作。

在這混亂之中，由於觀察我們還能夠確定使這研究簡單化的劃分法，因此某種的步態，使我們聽見一種律動，其中馬蹄的擊動是按一定的距離而互相連續。又有其他的步態如奔之類，是按定時而發出不規則的節奏。後者是最難加以分析的步態。

但是我們若觀察馬的走步，溜蹄步或是快步，並且我們若專注意於前足或後足，那我們就見到左右腳的擊衝與上升的律動，完全就像人在跑時的腳的節奏。假使我們所觀察的馬沒有跛足，那腳的交相擊動是十分勻稱齊整的。

我們此時若比較在一邊的兩個前後腿的運動，那我們就見到在右邊的兩腳發出相等的步數，並且其中若有一腳擊地比另一腳的間隔較大或較小，那祇要同一的步態不中斷，這必仍然保持下去。除此之外，前後肢的步的長短是相同的，因為我們看見兩腳在地上的印跡，距離總是相等的。在大體上，後腳蓋着同邊前腳在地上留下的印跡。假使這些印跡沒有蓋掩，那牠們之間就始終

保持相同的距離。因此前後腿的步度是相同數目與相等範圍的，從前的觀察家也見到這些事實。杜季會比較在走路的四足動物，與一個在前一個在後而互相隨從的兩個人。按這兩個人（兩人必走同一的步數）同時移動或交替的移動他們的腳，按在前的人比在後的人移動得較快或較緩，我們能見到所模仿的馬的步態所特有的運動的各律動。

我們大家在馬戲或假面戲中，都見到人裝馬，四腿由兩人所假裝，而身體躲在馬的身體下。這奇怪的模仿極像真馬，倘若兩人的行動互相調和，而模造真正四足動物的步態的節奏。

我們在研究適用於馬的步態的圖表方法所供給的繪圖時，也許得藉助於杜季所提出的學說，而我們要發見人數運動所產生的曲線的兩次重複。我們要見到兩步之間的不同，是在馬的後腿的腳步對於同邊前腿的腳步互相連續的狀態。但是腳步連續次序的測定，即使對於最精明的觀察家，也必覺得非常的困難。

會有不少的心力是用以使觀察方法完善，並且補救敘述所觀察的現象的用語之不足，我們早已把根據聲音的步度律動，替代用眼的觀察了。在事實上，耳朵比較眼宜於區別律動連續的關

係，爲確定每隻腳擊地的次序，有的實驗家把不同音調的鈴（容易辨別各個音調的）縛在馬的腿上。

關於馬的運動有一點有較好的考察，就是測定各種步態每步在地上所經過的空間。這空間是用腳留在地上的印跡之間的距離來測量的。爲易於區別腳步起見，馬的每個腳裝上不同的蹄鐵。除此之外，觀察家研究了馬的高度與其不同步態的長度之間的比例。凡對於這有趣的研究有任何進展的人，是由於採用嚴格的觀察方法。

在另一方面，說明這所觀察的現象的方法，頗爲一般著者所注意。差不多大家都採用繪圖的方法，但是對於說明不同步態所特有的連續動作的方法，卻不大一致。最完善的表現法，要推在十九世紀中凡遜（Vincent）與高方（Gouffon）所採用的。這是一種樂譜，有四行線，用以記錄四隻腳的各個擊衝的時刻，以及連續加於地上的壓力的期間。這個記錄法就像我們敘述人類運動的不同律動時所用的，而此後要用以說明馬的不同步態。但是我們不能忘了凡遜與高方的方法，祇表示視力與耳朵所觀察的連續運動，而最精確也不過觀察者個人所能及的而已。

我們的自記器解決雙重的問題，就是正確分析五官所不能精確辨別的動作，並且明白說明這分析的結果。

我們未敘述我們的實驗之前，爲了使讀者能了解牠們的功用，我們先要概述這科學的現狀，並且指出各家中不同觀點之間的差異。基本的定義總是不容易明瞭，所以我們要加上每個步態的記錄，而深信這個說明方法能使之較爲明白，尤其是易於互相比較。

馬的各種步態的記錄。我們再回到杜季所用的比較，而試假定馬是由兩個兩足動物所合成（一個在前，一個在後走。）我們必須決定這走路兩個人的腳此起彼落的形態。

溜蹄。我們試述最簡單的例子，假定這兩個人同時行使同一的運動。假使我們用以前的記錄法而說明這兩個人的運動，而把最前的記在上端，最後的記在下端，就得到下列的繪圖：

在前與在後走的兩人的左右腳，同時所有的腳步，必須用恰恰相等的記號來代表。因此在馬的步態中，這前後肢的運動之間的一致，是屬於溜蹄的。第三十八圖的記錄，就是關於馬的溜蹄形態，上線是馬的前腿的運動，而下線是後腿的。



第三十八圖 馬的溜蹄的記錄。

基本的定義是：溜蹄是一種步態，而以兩個橫向的兩足動物的交替與單獨的動作爲特徵。各著者對於這點完全同意。我們試再加上這一點：在溜蹄的步態中，耳朵祇聽見每步有兩拍，在同邊的兩腳同時碰着地上。在記錄中，這兩個聲音是用接連兩個同時擊衝的縱線來表記的。

在溜蹄中，身體對於地的壓力是側面的，因爲在一邊的兩腿，在同時與地相接觸。

走的步態。按大多數著者的定義，走的步態是相等連續的四腳的擊衝，四腳碰着地的次序是：若以右腳先動，那連續的次序如下——右前腳，左後腳，左前腳，然後右後腳。

我們要說明走路的兩人的連續運動，那祇要改變前後腳的記號的地位。我們使後腳的記號滑到左邊，就得到各著者所表示的律動，見第三十九圖。

因此我們見到與溜蹄相比較時，走的步態是後腳先，而其腳步比前腿的腳



第三十九圖 馬的走的步態的記錄。

步占前的距離，就是兩後腿之一對於地的壓力的期間之半。

假使這記錄從左向右看，可見到每個記號在連續的次序中，比另一個在前的記號較向左。因此在第三十九圖中，右後腳的擊衝在右前腳的之前。但是在同種步態的一串連續動作中，我們選定任何時刻為出發點既然無甚關係，那我們就總是認定右前腳的擊衝為開端了。

耳朵能辨四個拍子，每個按一定的時間而分離，而在記錄中各用縱線來表示。最後，在整個步態中，身體停止在地面上有兩次是側面的，而兩次是斜線的。我們看第三十九圖，就易於確定這一點，其中在第一擊衝之後，身體停在兩右腳上（側面兩足L）在第二擊衝之後，身體停在前右腳與左後腳之上（斜面兩足D）。

但是這記錄祇表明最大步態的學說。腳的各擊衝之間的相等距離，不為大家所承認。在我們的實驗之中，我們要見到走的步態在事實上，可以有不同的律



第四十圖 馬的快步的記錄。

快·步· 快步的記錄，是由於後腳的明顯的占前而得。其中每後腳在同邊前腳碰到地之後，必完成了加於地上的壓力，而開始舉起。第四十圖表示假定走路的兩人的不變的交替形態。

各著者也贊同這一點，就是在快步中，連合行動的腳是斜面成對的。

耳朵祇能聽見馬蹄的兩個聲音，如溜蹄一般，但是有這點不同，就是在快步中，總是左右腳（不是同邊的兩腳）相連起來，而產出每個聲音。

這記錄也指示身體加於地上的壓力總是斜面的。這記錄所未說明的，就是在連續的壓力之間，馬的身體有一刻是懸在空中的。這個懸空是由於快·步·不是走的，而是跑·的步態。所以我們要正確的說明，就必像第三十四圖的兩個記錄，把二者連合起來。

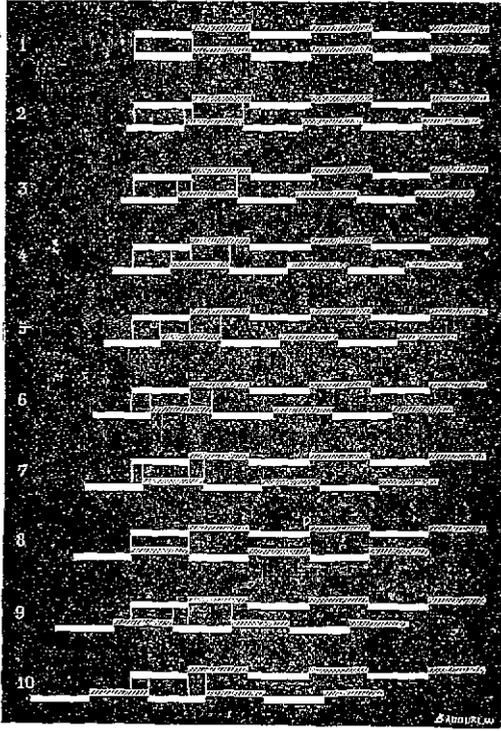
我們在從前的記錄中，有意不提及懸空的時間；因為這要使一個困難的題目

更爲複雜。除此之外，這懸空並不時發生的，有的馬有低的快步，而其唯一的特點，就是律動的雙倍時間以及腳的斜線擊衝。

我們不要詳述各著者所承認的一切步態的定義，以免引起讀者的厭倦。我們祇用一個對照表來指示這些步態。在這表中（見第四十一圖），我們見到一切較低的快步，可以認爲是從溜蹄而得的。並且我們若要設立一個有規則的分類，我們就得合成一系列，而其中以溜蹄爲第一名稱，其餘一切的名稱，是由於後肢的運動的增加占前形態而得的。第四十一圖說明這一系列的步態。在每種步態的記錄中，我們在同一縱線上，記錄右前腳的擊衝，而這擊衝是我們選定爲每步的開始，並且用作區別每種運動的指示點。

這表是從關於馬的各種著述而合成的，牠正確說明我們所能繪寫的各步態，就是每個著者所認爲形成各特殊步態的各點。附註指示關於各步態所特有的連續運動的各學說之間的差異。因此我們見到除了大家贊同的溜蹄之外，對於其他各種的步態都有不同的定義，因此按麥希（Mercho）的意見，第一記錄必與溜蹄相符合，按包里（Bouley）卻與高步或拿門（Norman）小

馬的步態相符合，而按賴柯 (Lubbock)，這同一的拿門步態必與第九記錄所代表的相等。我們也見



第四十一圖 根據各著者對於馬的步態的對照表（請閱附註）

(第四十一圖附註)

- 第1 溜蹄(按全體的著者的意見)
- 第2 間斷的溜蹄(按麥希的)
高步(按包里的)
- 第3 馬的平常腳步(按馬蘇(Mazzeo)的)
間斷的溜蹄(按包里的)
[Traquenando (按賴柯的)]
- 第4 正常的走步態(按賴柯的)
- 第5 正常的走步態(按包里, 凡羅與高方等人的)
- 第6 正常的走步態(按拉比的)
- 第7 不規則的快步
- 第8 平常的快步(在圖中, 假定馬不離地的快步, 這是很少見的。這記錄祇許及腦的擊衝的律動。)
- 第9 賴柯的拿門步態
- 第10 麥希的 Traquenando

到第三的記錄按麥希, 必等於馬的平常腳步, 然而包里認之為間斷的溜蹄, 賴柯認之為 Traque-

made, 至於按麥希, 這步態與第十記錄的步態沒有分別。各著者對於平常的走步態的見解不是相同的, 他們之中若有大半 (如凡遜與高方等人) 承認這步態, 有按不相等的間隔的連續擊衝, 那就得考察賴柯與拉比 (Rabbe) 關於正常步態的說學, 是不同的。

這個差異易於加以說明的: 第一, 這些運動的觀察十分困難, 因此按所考察的狀況, 每步自必表現各種的形式, 而各著者各以所見的作為正常的走步態的典型, 每人使自己受這理想的指導。凡承認四腳步之間有相等距離的人, 以為他們在這典型中求得了溜蹄與快步之間的更明白, 更確實的區別了。其他的著者想在作為典型的步態中, 實現某種的標準。按拉比, 這就是最大的穩定性, 而按他的學說, 這是在身體的重量停止在兩斜線腳的時間, 較長於停在兩側面腳時得到的。第六的記錄所代表的典型就由此而來的。在另一方面, 賴柯以為最好的就是最快的步態, 所以他選為典型的步態, 就是身體停止在兩側面腳的時間較長於停在兩斜線腳時的步態 (見第四的記錄)。

這些問題的價值不論是如何 (祇有實行者能加以判斷), 我們以為生理學家第一要尋

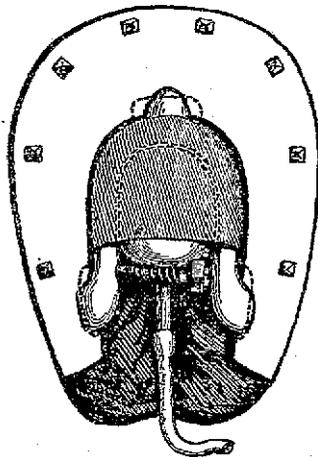
求事實，並且必須用實驗所得的作為典型。就是為此而我們用自記的儀器來考察，茲將結果述之於下。

用以研究馬的運動形態的儀器

我們在人類運動的實驗中，所採用的實驗鞋，在馬的實驗中，代以一個充滿馬毛的橡皮球，而用一個機具使之附着馬蹄。

用一個螺旋，我們把這球在三面鉤住鐵，而使這儀器十分穩固。有一條堅硬的橡皮帶從這儀器通過（見第四十二圖）支持這充滿馬毛的球，以使之比馬蹄的下平面稍為

高一點。腳碰到地時，橡皮球被壓縮了，而把其中一部分的空氣驅入自記器，在腳舉起時，球就恢復原狀，而又把壓力所驅逐的空氣吸入內部。這些機具在道路上不久就要磨損，但是在騎馬學校的



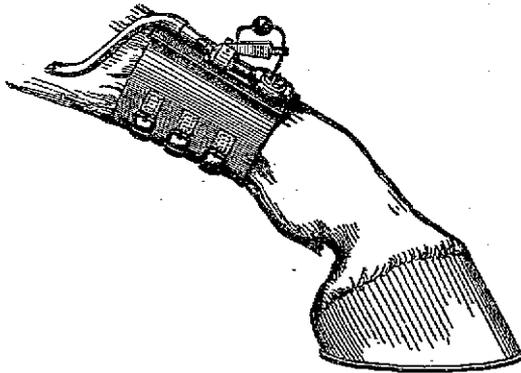
第四十二圖 用以指示馬蹄加於地上的壓力的實驗儀器

人造土上尚可維持一時。

我們在平常的道路上所執行的實驗，必採用如第四十三圖所表示的工具。

在馬腿的球節之上，連着一種用皮條縛住的皮錫子。在這錫子的前面（這是堅實的抵抗點），安置各種的儀器。第一，有一個扁的橡皮箱裝在錫子的前面，而這扁箱由一條傳導管而與自記器相通，加於這箱子的每個壓力，使自記的桿杆移動。由此可見馬腳的運動，是由加於橡皮箱的壓力所指示，並且立刻由自記的桿杆記錄下來。

爲這目標而有一個銅片，約傾斜四十五度，在上端與一種鉸鏈相連，而下端用一條堅硬的線縛着橡皮箱



第四十三圖 這儀器給予馬蹄的壓力與舉高的記號。

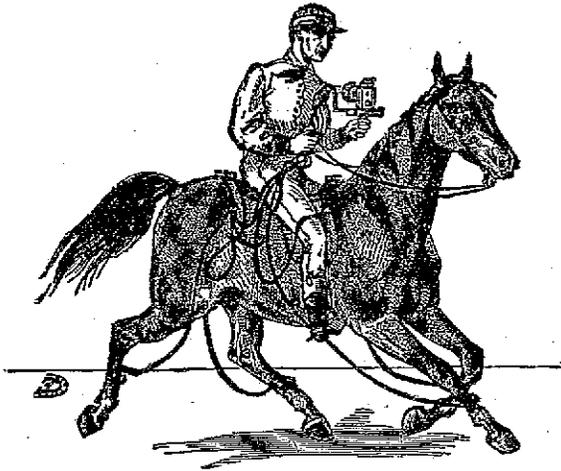
的上面，並由一個平圓盤而在其上壓榨。在與銅片平行的線上，有一個鉛球，而這球的地位能加以改變，以增加或減少這連合的儀器加於橡皮箱的壓力。

這儀器的功用與第二十八圖的工具相同，就是用以表示各種運動所產生的反動力。祇有振動部分的斜度，纔使反動力在腳的舉高，下落以及橫進的運動中，影響於鼓膜。

在馬蹄碰着地上時，這球就繼續牠的動作，並且用力壓縮橡皮箱。在腳舉高時，球的慣性又引起一個壓縮，而這壓縮的機構學在說明第二十八圖時已述及了。

我們得貝利 (Pellier) 的協助，能實驗了幾匹的馬。他自己騎着，而手中執着這自記的儀器。馬的腳裝置上述的橡皮箱時，並用不易破裂的硬厚的傳導管配合這些箱子。這些管子大半是用絨帶縛在馬的腿上，而由此直達與馬背平高的連結點，然後又與自記器相連（這儀器已於兩足動物的運動的實驗中）。現在這記錄者有許多的桿杆，他至少要有四個——每腿各一，而通常還有兩個其他的桿杆，從馬背與馬臀接受反動的運動。爲此也採用與第二十八圖相似的儀器。

這位騎師的手執着自記器的柄子，而一切的桿杆同時發出記號。牽着韁的那手在要使繪圖



第四十四圖 這圖指示一個快步的馬，裝置了各種的實驗工具，而騎師拿着步態的自記計。在馬背與馬臀上是指示反動力的儀器。

開始時也壓縮着橡皮球。第四十四圖指示騎師要收集任何步態的記號時的儀器的配置。

第五章 對於馬的步態的實驗

這些實驗的鍵重目標：從生理學觀點測定這些運動，以及從藝術上測定各狀態。

對於快步的實驗。腳的壓力與反動力的繪圖。快步的記錄。快步的腳印（*Footprints*）。快步的馬的表現。

對於走步態的實驗。這種運動的記錄以及其變化。走步態的腳印。走的馬的表現。

這些實驗的目標是雙重的（從生理學的立點說）我們由此而得到每步的期間，動作及反動力的表現，每個運動的能量與期間以及牠們的連續的律動，但是藝術家也想知道與每個運動相合的狀態，以正確的表现其所特有的姿勢。自記器給予這一切的詳情。這位藝術家若使他的繪圖與儀器所供給的繪形相合，就不必有錯誤了。

凡遜與高方的著作，就是要確立關於正確表現馬的步態的原則。我們要從這本大作借用幾點，而這幾點太不受人注重，並且沒有行使對於藝術所應有的影響。這當然有一部分是由於說明方法的含糊，更由於各著者祇有直接的觀察以分析馬的各步態，而不能給予一切的詳情。我深信

我們研究這题目的機會較好，我們至少已確知我們所用的儀器所供給的材料，是十分正確的。

杜荷薩 (Duhoussé) 協助我們表現馬的各種步態，本章的各圖都是由他的一支妙筆所供給的，而且正確解釋所有的記錄，杜先生還供給我們關於馬的步態的記錄。

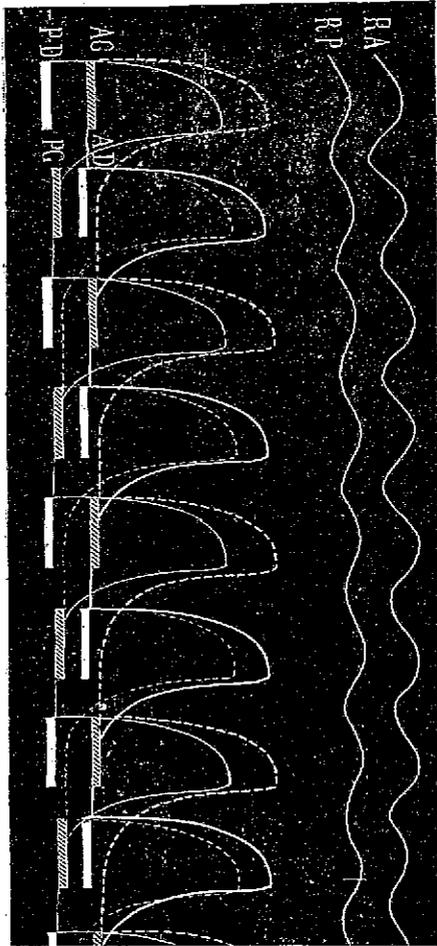
腳印的認識（就是馬腳留在地上的印跡，）是十分重要的；牠們使有經驗的眼能認出這是什麼步態。

這些腳印對於藝術家是極有價值的，祇有這些腳印纔能表現碰着地的腿，以及按馬的大小與步態的速度，而各腿之間所應有的距離。我們請讀者參閱凡遜、高方等人對於這题目的著述，而在此祇引述這些作家用以區別每個步態的腳印。

第一列的實驗是在貝利騎馬學校中施行的，我們就要分析這些實驗的結果。每匹馬的每隻腳都裝置一個測定壓力的儀器，與第四十二圖所指示的相同。我們要先討論對於快步的實驗，這些實驗所得的繪圖易於了解，而且這個研究是用以從事其他步態的較為複雜的分析的準備工作。

對於快步的實驗

實驗——第四十五圖是一匹老而靜的馬所表現的。該圖同時也表示四腳的壓力與記錄，以



第四十五圖 馬的快步的曲線與記錄。RA 是前肢的反動力，RP 是後肢的反動力，AG 與 AD 是前肢的曲線與記錄，PD 與 PC 是後肢的曲線與記錄。

第二編 第五章 關於馬的步態的實驗

及這種步態加於馬的反動力。我們試分析這些曲線的詳情。上端是馬的前部的馬背的反動力（前反動力）就是RA線，以及指示從臀部而來的後反動力的RP線。

下端是四腳的壓力的曲線，分爲兩條高度不等的線，上是前肢的曲線，下是後肢的。左腳的是虛線，而右腳的是實線。不論是虛是實，前肢的比後肢的較粗。這粗細的差別雖則對於簡單的快步的曲線無甚用處，但能使較爲複雜的繪圖明瞭得多。

曲線開始上升的時刻，就是腳加於地的壓力的開端。曲線下降時，就是腳舉高的記號。（註一）從第四十五圖中，我們見到AG與PD，左前腳與右後腳同時碰着地。這兩隻腳的曲線的同時下降，指示牠們也是同時舉起的。在這些曲線之下，是代表左斜線兩腳的壓力的記錄。（註二）

（註一）壓力的期間應用橫線來表記，但是我們使管子稍微一點，以減少給予自記的桿杆的振動力。管子變狹對於曲線有小小的影響，然而這對於律動的研究並不引起什麼不便利的地方。

（註二）每個斜線兩腳的名稱是隨前腳而來的，因此左斜線兩足就是指左前腳，右後腳。

第二擊衝是AD與PG腳（右斜線兩足）所發出，其餘依此類推。

這個實驗證實快步的學說的正確，同時對於有幾點也給予例外的見解。因此全體的著者都同意選定下列的步態爲快步的典型：就是四腳祇發出兩個擊衝，並且是由兩個斜線兩腳輪流的碰着地上。他們也承認快步是一個高步，而在兩個連續擊動之間的相隔時間上，馬的身體從地上舉高一剎。

但是我們估計這懸空的期間時，大家的意見就不一致了。因此按包里，這比壓力的期間短得多，而拉比卻以爲壓力極短，所以馬在空中的時間較長。

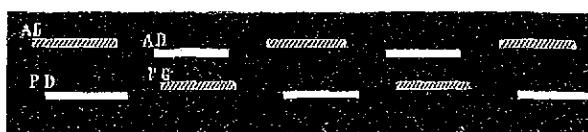
在第四十五圖中，我們見到壓力的期間比身體懸空的時間長兩倍。因此這個實驗證實了包里的意見，但是在我們看起來，在快步之中，壓力與懸空時間的相對期間，是有極大的變化。因此有的裝置馬具而跑的馬，所供給的繪圖差不多看不出懸空的形態；所以這種的快步就像低步態，祇是牠有這自由式的特點：就是腳的斜線擊動是完全同時並發的。我們還不能研究快步馬的運動，從這些運動，我們也許要見到懸空時間的增加，超過壓力期間的減少的反比例。

假使我們想確定反動力（RA與RP）與四腳的運動之間的符合，我們就見到在馬的身體處於

縱線振動的最低部分的時刻，恰恰與腳碰着地的時候相合。懸空的時間並不取決於馬的身體突起空中的事實，但是由於四腳在這短時間中都彎曲了。反之，身體懸空的最高度與四腳對於地的壓力的終止相合。根據繪圖，似乎馬的身體的升高，在每個複式擊衝之後纔開始，並且在壓力的全部時間中繼續下去。

在同一的圖中，我們也見到前肢的反動力比後肢的大得多。這事實在我們看來是固定的，並且在走的步態中，反動力的不相等更為顯著，因為安置在馬背的儀器所發出的反動力總是能覺察的，而在臀部的儀器卻沒有任何的反動力。

關於不規則的快步。凡是每步發出兩個清晰的聲音，我們就稱之為自由的快步。在每步態中，聲音因為每斜線兩足的擊動沒有同時性而劃分的，我們就稱之為不規則的快步。在我們的實驗中，常常遇見這不規則的快步。有時這步態繼續下去，於是兩個斜線兩腳的擊衝不能同時並發，有時祇有一對斜線兩腳沒有這同時性。在另一方面，有時這快步祇有一刻是不規則的，就是在一種步態換到另一種的時候了。我們前此所有的一切實驗中，這同時性的需要，是以後腳在斜線相



第四十六圖 不規則的快步的記錄。



第四十七圖 凡遜與高方的快步的蹄印。

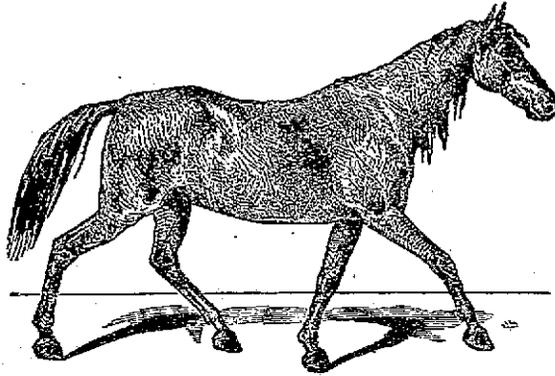
對的前腳之後為轉移的。

第四十六圖說明一個不規則的快步的記錄，其中斜線擊衝之間有一個相隔的時間。我們從兩個斜線兩腳的擊衝互相連合的虛線的斜度，能認出這步態的。

這快步的腳印見於第四十七圖（按凡遜與高方二人）的實驗。全部的腳印都是複式的，因為後腳總是追上來替代同邊前腳的地位。

在第四十七圖中，我們為避免混亂起見，不使這重疊的印跡完全相合，並且我們也因此而用虛線代表前腳的印跡，用實線代表後腳的。在這快步中，左腳的印跡與右腳的是完全交替的。

按這快步的速度，馬的大小，腳印上分離同邊的印跡的



第四十八圖 馬的低快步態。在記錄上的白點，就是指示與圖中馬的狀態組合的那一時刻。

空間，變化很大。

在說明快步的馬，我們必須區別這步態的各種形式。

第四十八圖說明低而短的快步。我們常常在馬出發時，或在馬從走步態換到快步時，加以觀察。從第四十八圖中下端的記錄，我們見到斜線擊衝互相連續而不間隔，這馬就根據這記錄而繪成的。這位畫家所選擇的那一時刻，在記錄中用白點表示出來。在這時刻上，左前腳的壓力終止了，右前腳剛要落地，而右後腳的壓力完畢，左後腳剛要落地。四腳的



第四十九圖 十足快步的馬，記錄中的白點就是指示圖中馬的狀態。

斜度，就是各壓力的每個形態與腳的舉高的斜度。各腳之間的距離，就是地上印跡所指示的。因此從第四十八圖，我們見到快步是縮短了，因為在擊地的時候，後腳不能達到同邊前腳的地位。

第四十九圖是說明高而長的快步，這已用以指示騎師與馬裝置了各儀器以繪寫各種的步態。記錄中的白點，就是指示繪畫馬的那一刻，換言之，就是在懸空的時間中，在左斜線兩腳剛舉高，而左斜線兩腳剛要落地的那

一刻。

走的步態

對於走步態的實驗——我們用以分析快步態的說明，使我們較易於解釋第五十圖中的走步態的繪圖。這些繪圖是從同一匹馬而得來的。

假使我們在曲線開始的各點畫了一條直線，我們就得到四腿的連續擊衝的地位。因為這些曲線的筆劃很粗，所以我們很容易認出其中各個所代表的腳，因此我們能在每條直線上寫下字母，以代表在這時達到的腳。擊衝的次序是用這些字母來指示的，AD、PG、AG、PD，就是右前腳，左後腳，左前腳，右後腳，這是研究這題目的各著者所承認的系統。

此外還待測定的是這些擊衝的連續的較大或較小的勻稱，以及其間分離的相對時間。我們為此祇要構成每個腳的壓力的律動記錄，而根據自記的曲線所繪寫的。第五十圖的記錄指示分離各擊衝的時間總是相等的，因此馬在同一時間中倚靠側面，就如停止在斜線兩腳之上。但是這不是常情。

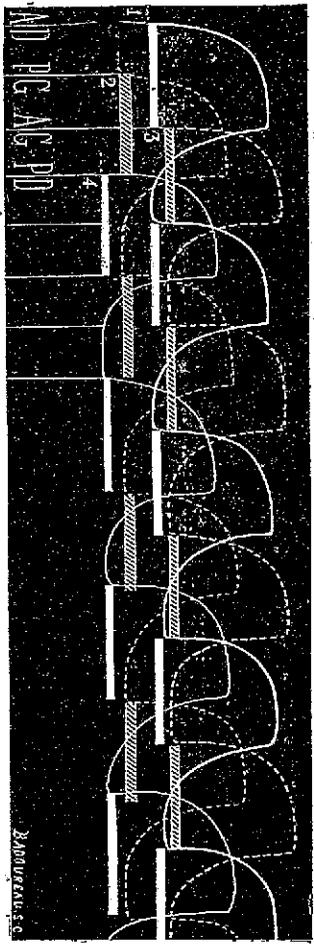
我們要使易於明瞭重心的連續地位，所以先稍爲說明第五十圖中記錄的構成情形。假使我們畫了與每個脚步（右前腳先出發，就是第1記號的）相符合的直線，那我們就把這些繪圖分成幾個連續的部分。我們由此能見到擊衝有時是在同邊兩腳之上（側面兩腳），有時是在斜線的兩腿之上（斜線兩腳）。因此從1到2，馬是停止在右側面兩腳，從2到3，是停止在右斜線兩腳（就是停止在右腳先的兩腳）。從3到4，是停止在左側面兩腳，從4到5，是停止在左斜線兩腳。而在5到6時，馬又像在開始時，是停止在右側面兩腳了。

這個實驗完全是根據於步態的基本學說（請參閱對照表的第5項），但是有的馬的走形態稍爲不同。

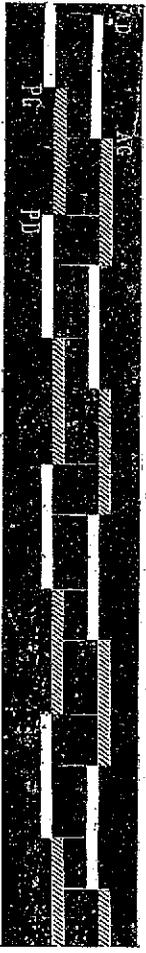
第五十一圖是記錄馬在走的步態，停止在側面比停止在斜面的壓力較長。

有時見到相反的情形；例如在走換到快步的過渡中，我們見到斜線壓力的期間較長。

我們要使這研究完善，那就應在比目前較好的狀況下執行的。我們最好能得到各種類的馬，以研究在用手牽時，騎時，裝馬具時，變動所拖的貨物時，以及走在平地或斜地的各種運動。祇有對



第五十圖 對於腳的壓力相等，(斜面與側面)的行走態的繪圖與軌線。

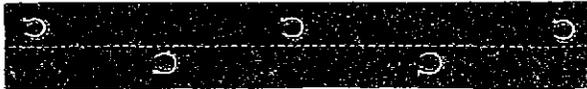


第五十一圖 對於側面壓力占本的行走態的軌線。

於這研究特別感覺興趣的人，纔能這樣實驗，並且要在較好的狀況下執行之。

我們在觀察拖曳貨物的馬時，似乎馬在抵抗加在身上的重量時，他可以有三個腳同時在地上。包里認這為正常的走步態，然而我們卻見到在正常的走步態中，從沒有兩個以上的腳同時在地上的。

至於走步態時的反動力，第五十圖沒有說明。我們已確定祇有前肢的反動力是重要的，因此我們爲了後部的反動力非常小，而假定牠們的動作大半是向前的推進，但是使身體向上的推動是極小的。這與一般所承認的理論相合，就是前腿在正常的步態中，除了交替的支持身體的前部之外，沒有什麼動作；同時推進的動作以及馬所產出的牽引力，是屬



第五十二圖 走步態的腳印（按凡遜與高方的。）

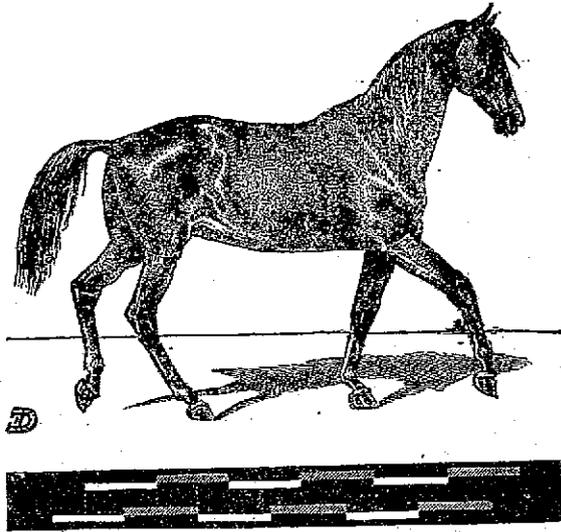


第五十三圖 凡遜與高方所得的溜蹄的腳印：這與走步態的差別，祇是同速的腳印沒有重疊。後腳踏在前腳的印跡之外。

於後腿的。

按凡遜與高方，走步態的腳印與快步的相似，除了前者的同邊的連續印跡之間的距離較短之外。

在平常的走路中，這距離必等於馬的高度（按馬背而測量的。）至於在快步中，每步的印跡都蓋掩的，右腳的印跡恰恰與左腳的輪流交替。然而走步態的腳印的這個性質，祇有在某種的速度之下，並且在平地上纔能見到的。在升高的地上，後腳的印跡常是在前腳的之後。反之，在降下時，後腳的



第五十四圖 馬的走步態。

印跡可以超過前腳的之外，而這使走的腳印有點像溜蹄的了。

走步態的馬——第五十四圖是杜荷薩表現馬的走步態的畫。記錄中一白點，就是指示這形態的那一剎。我們對於記錄中所指示的馬的四肢的地位，不再詳述了，因為在表現快步時我們已說明了。

第六章 對於馬的步態的實驗（續）

對於奔的實驗。奔的記錄。反動力。支持的根據。奔的腳印。表現馬在這奔步態的不同時的形態。
從一個步態變到其他的步態。用記錄來分析步態。馬的不同步態的綜合構造。

關於奔

幾種不同的步態，就是都有按一定的間隔而再發的不規則的擊衝的特徵，列於這標題之下，大半的學者用擊衝的律動，而把奔的步態分爲三種，而稱之爲二拍，三拍及四拍的奔。最普通的就是三拍的奔，我們要先加以研究。

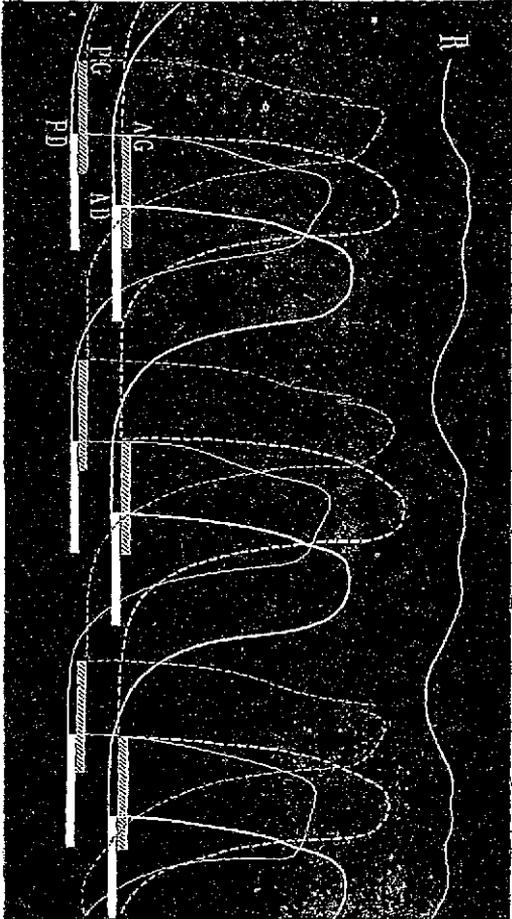
對於奔的實驗——第五十五圖就是表現馬的三拍奔。我們剛一看，這步態的記錄使我們連想到敘述人類的奔時所有的記錄（見第三十六圖，就是兒童裝馬玩耍時所用的步態。）在我們看來，這表現馬奔的記錄是由於把這記錄加在兩腳奔的兩個記錄之上。因此在事實上，杜季所用的比較是十分正確的，即使適用於奔的步態。

繪圖的分析——在這圖的開端，馬是懸空的，然後就是擊衝PG，這是表示左後腳碰着地上。這個腳是與使奔的馬向前的腳斜線相對，而其AD的擊衝要到最後纔發出。在這兩個擊衝之間，就是正在分離二者的距離的中間，形成左斜線兩腳的兩個腳發出同時的擊衝。AG與PD的記錄的重疊，就明白指示這個同時性。

因此在這一系列的運動中，我們的耳朵聽見三個聲音，差不多是相等的間隔。第一聲是由後腳所發，第二聲由斜線兩腳，而第三聲由前腳。在前腳的一個擊衝（就是構成第三聲的）與相繼的第一拍之間，有一個靜止，而其期間恰恰與三個擊衝合起來的期間相等，然後一系列的運動又重新開始了。

我們考察這些曲線，我們見到腳加於地上的壓力；在奔時必比其他上述的各步態較為有力，因為奔的曲線的高度，比較快步來得大，而較走的更大。在事實上，馬決不能祇支持他的體重，他必予以向前的推進力。最大的能量似乎是屬於第三擊衝。在這時候，從地舉高一刻的身體又下降了，而祇有一腳延續這個震動。

假使我們要敘述在奔的每步中支持身體的連續壓力，我們祇要把這步態的期間分成連續



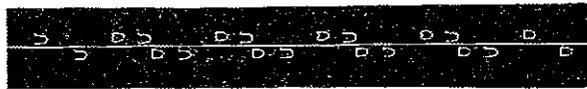
第五十五圖 三拍奔的蹄“與腳線。R 是骨部的反動力的曲線。圖時反動力的曲線範圍很大，指示加於地上的壓力，這實驗所用的馬，用右腳奔，正如腳線所示。



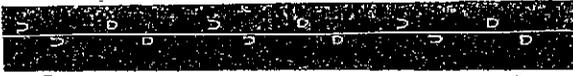
第五十六圖 三拍的奔(A)指示三拍(B)指示在三拍奔時每刻支持身體的腳的數目。

的時刻，而在其中身體有時受一腳或幾個腳的支持，而
有時是懸空的。第五十六圖的記錄使我們在(A)探求
擊衝的連續，並且在(B)中指示引起加壓力於地上的
四肢的連續。

假使我們要確定背部所產出的反動力，那在第五
十五圖中(上線B)就可見到。我們見到一個波動的
高度，而在身體碰着地的時間中一直如此。從這高度中
我們認出三個擊衝的結果，有一個三連的波動，曲線的
最低的高度，就如快步一般，是指示腳不碰着地的那一
刻。因此在奔時構成懸空時間的，不是身體的突起於空
中。最後，我們比較奔的反動力與快步的反動力(見第
四十五圖)可以見到在奔之中，身體的舉高與下降沒



第五十七圖 三拍短奔的腳印，後腳(牠們的腳印是U式的)踏在前腳的印跡之前，前腳的印跡就像O式。



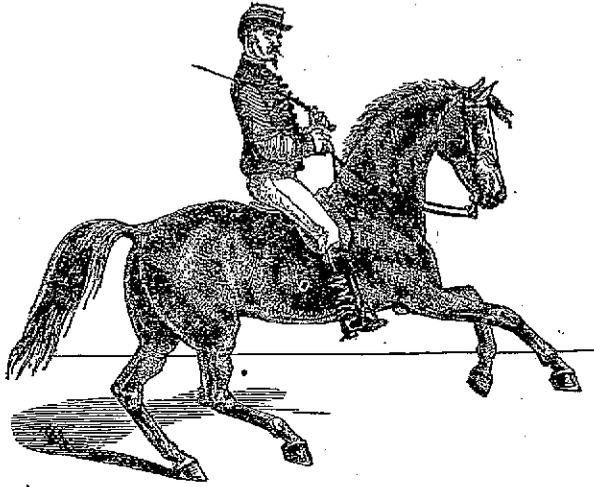
第五十八圖 邱紐的 Eclipse 步的腳印，後腳的印跡遠在前腳的之前。

有那麼急劇。因此這些反動力對於騎馬者的震動較少，雖則在事實上所引起的振幅卻較大。

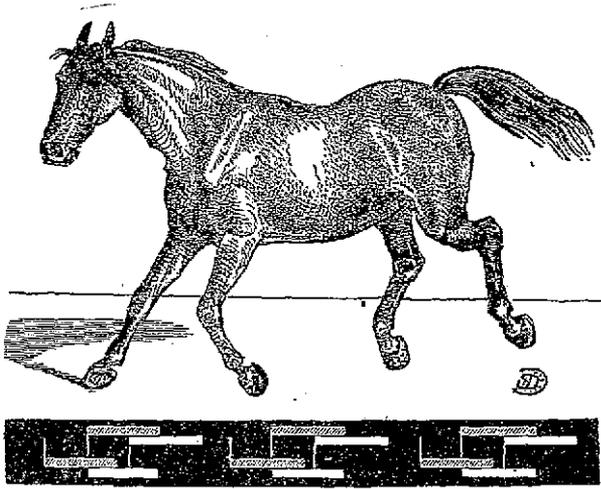
三拍奔的腳印——按邱紐 (Cunnien) 這腳印就如第五十七圖所示。奔的腳印按速度而變化，在騎馬學校的短奔中，後腳的印跡在前腳的之後。反之，在快奔中，後腳的印跡在前腳的之前，在騎馬學校中，一個差不多完全盡目力而奔的馬，按全力而出發時，要占據極大的空間。按邱紐的意見，著名的 Eclipse 步占二十二英尺。下列就是這極快步態留在地上的腳印：奔的馬的表現——我們要有三個不同的形態，其差別的大小差不多與這步態的三種時間相符合。

在第五十九圖中，第一拍奔時，祇有身體剛下降的左後腳在地上。

第二拍奔時（第六十圖），左斜線兩腳剛完了擊衝，右前腳將要達到地，而左後腳剛舉起來。



第五十九圖 馬的第一拍的奔(右腳前進)祇有左後腳在地上, 在記錄中的白點, 就是上圖中馬的形態的那一剎。



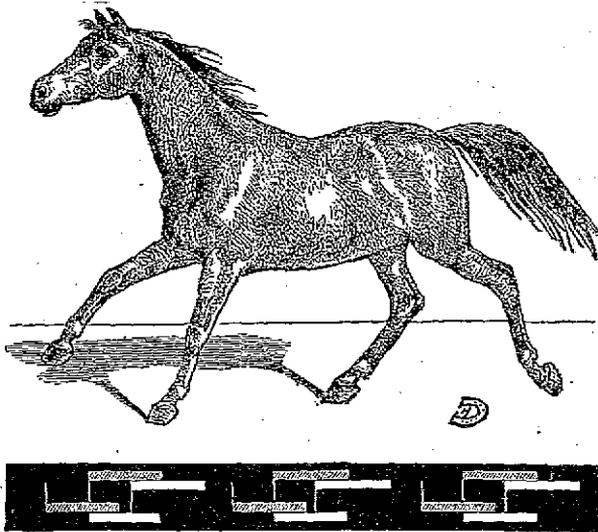
第六十圖 馬的第二拍的奔(右腳向前)

第三拍奔時（第六十一圖）的形態，由杜荷薩按記錄而繪成的，他所選定的那一刻，就是在祇有右腳停在地上，而又要舉高的時候。

表現這形態的圖是十分新奇的，我們的眼很少見這時的奔，而這當然是極偶然的。在考量這不優雅的形態時，我們竟然也要附和邱紐的話：「圖畫的職分是供人觀賞，但非實情真物也。」

第四拍的奔，與上述的祇有這點差別，就是構成第二拍奔的斜線兩腳的擊衝，是不相接連而發出各別的聲音。我們從第六十二

第二編 第六章 對於馬的步態的實驗（續）



第六十一圖 馬的第三拍的奔（右腳向前）



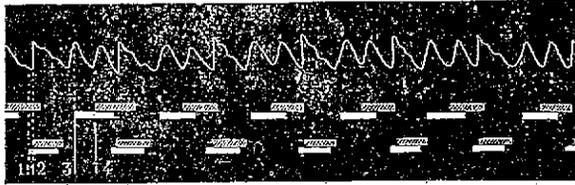
第六十二圖 第四拍奔的記錄，(A)各連續時間的測定，(B)在每刻上支持身體的腳數目的測定。

圖見到這例子。按這記錄，先懸空的身體，是連續的停在一腳，三腳，兩腳以及一腳，然後又重行懸空。

全速力的奔——這極快的步態，不能用我們前此所採用的儀器來研究。我們必需構造一種特殊的自記器及新的實驗器。

使騎師的兩手空着，把自記器裝在一個扁箱中，而用皮帶把這箱縛住他的背上。我們不要詳述這儀器，牠有四個桿杆，而在煙燻玻璃上繪寫四腿的動作，以及背部的反動力。加於地上的擊衝十分劇烈，以致能立刻使儀器未用而先破壞了。我們曾代以銅管，其中有一個鉛質的活塞懸在兩個螺簧之間而移動。每腳步給予這活塞的震動，引起的影響就像一個抽氣機影響於自記計。一個鉛用牙加以壓縮的橡皮球使這自記計動作，並且使之在適當的時候繪寫。

台拉馬 (Delamarre) 先生慨然讓我們借用他的馬廄，而使我們



第六十三圖 全速力的奔的記錄，這步態的反動力。

能得到全速力的繪圖，記錄見於第六十三圖。

我們見到在實際上，這步態是一個四拍的奔。然而後腿的擊衝的距離太短，以使我們的耳朵祇能辨別其中之一，但是前腿的較為分散，而祇能分別聽見。這全速力的奔的又一特質，就是在前腿的壓力中有最長的靜止時間。懸空的時間是非常短的。

我們要從這些實驗得到最好的結果，那就得實驗許多的馬，以確定擊衝的律動與這步態的其他特性之間，是否有一點關係。這工作應由對於馬的研究有特別嗜好的人去執行。

最後，我們加這句話：就是在全速力的奔之中，反動力再表現擊衝的律動，而十分正確。因此我們見到在兩後腳的同時發出擊衝時，有一個急而長的反動力，然後有兩個較緩的反動力，各與前腿的擊衝相符合。

在第六十三圖上端的線，是背部的反動力的圖形。這曲線畫在記錄

之上，使我們能從各印跡的重疊而見到與每個反動力相關的擊衝。

各種步態之間的變化

觀察家在確定一種步態怎樣變到另一種時，感到極大的困難。圖表方法是從事探求這些變化的最容易的手段，也許採用這方法研究馬的步態，不是最無益的。

我們要充分了解在這些變化之中的經過情形，就必再參考杜季的比較，並且用兩個人來表現，兩人在快步，在奔時，各相追隨各人的腳步。在這些連續的步態中，這兩人對於他們的運動表現一個固定的律動；同時在變動之中，在前或在後的人，加速或延緩他的運動，以改變腳步的律動。茲舉幾個例子為證。

主要的變動見於下列各圖：

第六十四圖是從走步態變到快步的記錄。這變動的主要特性（與速度的增加無關，）就是後擊衝漸漸追近前腳的；所以左後腳的擊衝PG，在走步態中恰恰發生於右前腳的壓力AD的中間，此時卻漸漸前進，而與AD壓力的開始以及形成快步的擊衝相合了。

在另一方面，第六十五圖指示從快步變到走。此處我們見到一個相反的情形，就是最初同時並發的斜線擊衝，漸漸的愈變愈分開了。連合左斜線擊衝的虛線，在快步態那部分的開始時是直的，但是這線漸漸的傾斜了，表示這同時性漸漸消失。這線的傾斜方面，證明後腳的運動在從快步變到走之中，漸漸變慢了。

從快步到奔的變動，十分奇怪，見於第六十六圖的記錄。我們在開始時就見到這快步態有點不整齊，連合左斜線擊衝AG與PD的虛線，起初是十分斜的，而指示後腳稍為延遲。這傾斜度不斷的増加，但這祇有左斜線兩腳如此，右斜線兩腳AD與PG即使在奔步態成立之後，也仍然是一致的。從快步變到奔，不但是由於後腳的延遲，而且也由於前腳的前進，因此在快步中同時並發的兩斜線擊衝之間，有較大的距離，就是在平常的奔步態中的大靜止的時間，相反的變動就引起從奔變到快步，見於第六十七圖。後腳的擊衝愈形占前，就使四拍的奔變到三拍的奔。

馬的不同步態的綜合研究

我們前此用以敘述馬的不同步態的分析方法，可以未使這難題的許多地方明瞭易懂。我們



第六十四圖

從走變到快步。



第六十五圖

從快步變到走。



第六十六圖

從快步變到奔。



第六十七圖

從奔變到快步。

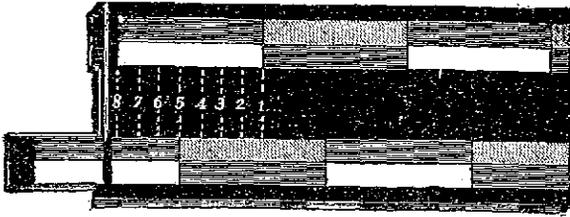
希望再採用綜合的方法加以闡明。

在這研究的開端，我們繪畫不同步態的對照表時，把牠們的記錄按自然的次序而排列。其中第一是溜蹄，而這步態先後腳步的差異，是由於後腳的占前行動。這變動正是我們在動物中所見到的。例如單峯駱駝，他的正常步態就是間斷的溜蹄，給予我們合列的記錄，就是我們的對照表中的第2至第8，我們強使這駱駝走快步時，他開首的溜蹄十分間斷，然後他走，此後又開始不規則的快步，而立即變成自由的快步了。我們剛見到馬從走變到快步時，步態也是如此的。

一匹馬開始走慢時，步態的變動是相反的。步態互相連續的次序，見於下圖。

後腳的行動占前的多少，在圖中是用退後而向左滑的記錄來表現的，採用一個小儀器可以使這想像的滑動成爲真的，而使我們能了解，並且能很簡單的說明不同步態的形成。這儀器就是一個小尺，與計算所用的滑尺有點相似，而用四小片表現四腳的記錄。這四小片能並列的滑動，並且能按各種的形態而排列。

第六十八與第六十九圖指示這小儀器的佈置。我們試想像一個用黑木製成的尺，有四個狹

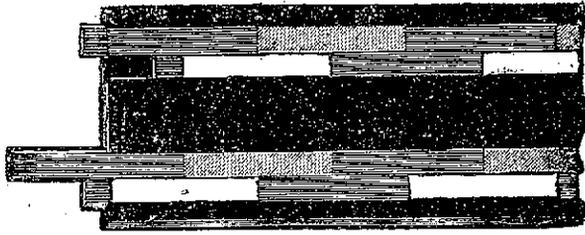


第六十八圖 用以說明不同步態的記錄尺。

槽，其中就是滑動的小片，或黑白相間，或黑灰相間，以表現溜蹄的記錄，如圖中第1，我們若同時把兩個最低的滑片向左推（見第六十八圖），那按移動的多少而形成正常步態表中的任何記錄。代表左後腳的擊衝的計算計（有1 2 3等等的記號），能使我們立即形成任何的記錄。

我們要形成奔的記錄，就必移動代表前腿的滑片，以使之互相侵占，如第六十九圖的記錄所示。

記錄尺的用法是如此的。我們確實知道步態是一律勻稱的時候，那要形成全部分的記錄，祇須考察兩個右腳的擊衝。按後腳的擊衝與前腳的是同時並發的，或較前四分之一，一半，四分之三或壓力的全部期間，我們把兩個在下的滑片，安置在牠們所應占的地位，而記錄就此形成，這記錄指示擊衝的律動，側面與斜線壓力的期間等等。奔的各種



第六十九圖 形成三拍奔的記錄尺。

步態也是這樣形成的。

畫家凡要表現馬在特殊步態中任何時刻的形態，能由此而決定，他在尺上形成所要表現的馬的步態記錄。在記錄中等於一個步態範圍的長度上，他在任何點上設立一條直線。這條線與步態的某一刻是相合的。因此他在代表一個步態的長度上，能繪寫無數的直線，所以他在任何步態的期間中，在任何的運動中，可以選擇無數的不同形態。假定他已選定了，並且他要在這種步態（見第六十八圖）中，表現直線第7的那一刻，那末記錄就指示右前腳剛放在地上，左前腳剛要舉高，而右後腳差不多完了加於地上的壓力，左後腳的舉高已將完了。我們要正確的表現馬的步態，所必需的就是知道每個腳在舉高，落下或壓力的各時刻上的形態，這是比較容易的事，但是畫家用了這方法，自必能避免常使馬的表現十分不自然的假形態。

用以說明馬的各步態的圖形

杜佛爲說明馬的運動，曾繪成一串的圖，而用 *zootrope* 看起來，是表現馬的各動步態的動作，這位聰明的生理學家想把記錄所表現的各運動的律動，用活動的形式模造出來，他的方法述之於下。他先把馬在溜蹄步態中不同時刻的形態，畫成一串的圖。十六個連續的圖形，使他能表現每腳在屬於這種運動的步態中連續所取的各形態。這些紙裝在儀器中時，表現出一匹馬真在漫步時的形態。

我們已說過一切的走步態，可以認之爲從溜蹄變化而來，而後腳的動作占前較多或較少。杜佛在他的圖畫中已實現這一點。每個畫馬在溜蹄時的各形態的圖板，是用兩張相重的紙而形成。上面一張有許多裂縫或空洞，所以每匹馬一半是畫在這張上，而另一半畫在下面的紙上。試舉一例，後腳畫在上張，前腳畫在下張，而從上張的空洞部分可以看見。我們試假定我們把上張紙滑到兩馬之間的距離，我們就得到一串的形像，其中前腳要比後腳落後一段的。因此在這些圖形之下，我們要表現記錄所表現的（把記錄尺的下端兩滑片滑動一度）形態。把後腳的每個運動移

位一度，既使記錄能表現間斷的溜蹄，那我們用這些圖形也得到溜蹄的各步態的連續地位。假使把紙滑動較多，那就見到馬在走步態時的各形態。移動更多，就表現出快步的各形態了。

在上述的情形下，這些圖形裝在儀器中時，就予以一個完整的幻覺，而指示馬的溜蹄，走或快步。於是我們若控制儀器轉動的速率，我們就能使馬的各運動較速或較緩，以使沒有經驗的觀察者能看清每種步態的各地位，並且使他能用眼區別活的馬的各運動，而剛看時這些運動是十分錯雜混亂的。

這些圖形雖則仍有缺點，但我們希望不久就能臻於完善，而實有裨益於繪畫馬的藝術家。我們研究地上運動之後，就應說明水上運動的機構學。希沃梯（Chute）最近的實驗，對於魚尾的推進作用予以新的見解。這些實驗並沒有推翻包來里以來所公認的關於游泳力學的學說，但是牠們是由新的方法而研究這問題，就是這現象的綜合模造。這方法自必使我們能正確的（前此所未有的）測定水上運動的原動功率與抵抗功率。因此我們最好是耐心等待現在尚在施行的實驗的結果，而這些實驗對於機械學者與生理學家的貢獻是相等的。

第三編 空中運動

第一章 昆蟲的飛翔

昆蟲的翅在飛翔時擊拍的頻率，聲學的測定與圖表的測定。改變翅的運動頻率的影響。兩翅的動作的同時性。翅的運動的光測定。軌道。翅面的變動。翅的運動的方向。

我們研究地上運動時，能用實驗來測量腳加於地上的壓力，而由此我們推論對於動物身體的反動力的強度。用直接的測量，很容易確定這兩個力。我們目前所要研究的問題，有十分困難的條件。空氣在蟲翅擊拍之時予以某種的抵抗，但是這抵抗是時時刻刻屈服的，因為空氣祇是按移動的速率而推進翅。我們在研究飛翔的現象時，就必知道翅的運動的一切形態，以估計空氣給予這器官的抵抗力。我們把必須解決的各問題闡明於下。

(1) 蟲翅的運動頻率如何？

(2) 翅在整個迴轉中所占的連續地位如何？

(3) 支持與運送動物身體的主動力怎樣發生的？

(1) 蟲翅的運動頻率。這個頻率是按種類而變化，在蚊與某種的蠅的飛翔中，耳朵聽見一種尖銳的聲音，蜜蜂與雄蜂在飛翔時的聲音較低，而在蛾類中的聲音更低。至於其他的鱗翅類，因為翅祇發出幾個擊拍，所以在大體上是無聲的飛翔。

有許多博物學家曾用昆蟲飛時所發生的音號，來測定翅擊拍的頻率。但是要使這測定完全可靠，就必明白確立翅所發出的聲音，是完全取決於運動的頻率，就像振動的頻率所引起的音義的聲音。但是對於這問題的見解各相懸殊，有的著者以為在飛翔之中，有一個空氣的運動經過昆蟲的呼吸孔，而所聽見的聲音是以這些交替的運動為轉移。

這見解與許多事實相矛盾，我們不以為然，而我們以為這聲學方法不足以估計翅動作的頻率。使我們不採用這方法的理由，就是飛蟲所發生的音號，除了受翅的擊拍的變化之外，還有其他的影響，使之變化。

我們觀察一個按一定速率而飛的昆蟲的聲音時，我們聽見這音調並非一直相同的。這蟲飛近耳朵，音調就高，飛遠就低了。我們使一個振動的音義經過耳朵時，也有這相似的情形；起初的音調較尖，然後較低，其間的相差大約是全音的四分之一或二分之一。因此我們必須注意我們所實驗的蟲，離開觀察者的距離應始終相等的。然而這變動的現象在解釋方面沒有真的困難，德國的聲學家比斯柯（Pislo）已解釋得很完善。至於振動總是在相等間隔後而互相繼續，是無庸疑的。一個振動的圖板離耳朵的距離不變時，振動就要相等時間而達到我們，而對於儀器的現象是一致的，對於我們的器官也必是一致的。在另一方面，假使急急把這儀器移近，那每刻所產生的振動在未達到耳膜之前經過較小的空間。因此這振動與在前的差不多，而聲音變得較尖了。假使這儀器移遠，那振動就擴大，而聲音變得低了。我們坐火車旅行時，大家都知道在有另一個火車經過而駕車者發出汽笛時，音調的尖銳在機頭愈近就愈增加，而在走過我們之後就變得低，並且這汽笛聲就送到更遠的地方了。

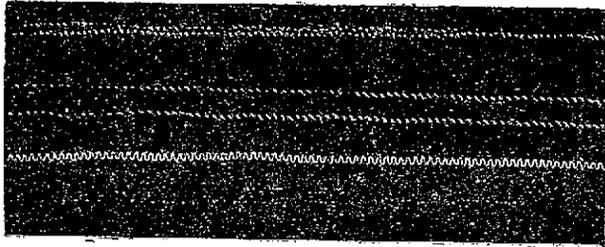
由此我們必須相信從飛蟲的音號，是極難估計翅擊拍的絕對頻率。這有一部分是取決於這

音調的變化，而這音調按飛的速率與方向而每刻從低變到尖，除此之外，指定每翅對於聲音發出多少，也是不容易的事。我們也必注意一個昆蟲的翅，由於在飛時磨擦空氣，也許要受比牠經過整個旋轉時更多的高音振動。

圖表方法是解決這問題的又簡單又正確的方法，牠使我們能對於一個蟲翅每秒的運動數目，祇用一拍加以確定。

實驗——用一張上塗臘燭煙燻黑的紙，展開在機筒之上。這機筒按每秒半轉一轉的速率而轉動。

這個昆蟲（我們研究牠的翅的運動頻率）的下腹部，用一對小鉗子握住。我們把牠安置得使兩翅之一，在每刻磨擦這黑紙。每次接觸必移去一部分紙上的黑質，並且在機筒轉動時，翅不斷的有新點表現出來。假使這蟲的地位固定不動，那我們就得到一個十分正常的圖形。我們所舉例的各圖，是按翅與紙的接觸的大小而各不同，假使接觸是極小的，那我們就得到一系列小點或短交叉線，見第七十圖。



第七十圖 指示雄蠅的羽翼的擊拍頻率(上三線,)下線是屬於蜜蜂的,第四線是記時計音義的振動,這機器有一個每秒記錄 250 快振動的筆尖。

我們知道了這機筒每秒半轉動一次,就容易見到在機筒的整個周圍能記錄多少的翅的旋轉。但是使用一個自記計的音義,以記錄這音義所有的筆尖的振動,仍然較為便利,較為正確。

第七十圖的雄蠅的翅的繪圖,指示音義的振動,每秒是二五〇的快振動,這個儀器使我們對於繪圖的任何部分,能予以正確的價值,並且指示雄蜂的翅每秒有二四〇至二五〇的旋轉。

改變翅的運動頻率的影響——我們既然知道抵抗力量對於動物的運動速率的影響,我們就可以假定磨擦機筒的翅沒有正常的運動率,並且旋轉在阻力愈大時就較少。實驗已確實了這見解。一個用力磨擦紙的飛蟲,每秒有二四〇運動,使翅與

機筒的接觸愈少，那轉動數就愈大——二八二，三〇五及三二一，最後的數目，也許能正確表現翅在自由動作時的速率，因為繪圖減至一串幾乎看不見的小點。反之，翅磨擦愈烈，牠的運動頻率就減至二四〇之下。

翅的運動頻率的又一改變原因，是這些運動的振幅。我們必須比較這原因與前者，因為我們很容易承認大運動在空中比小運動遇到較大的抵抗力。

我們用鉗子握住一隻蠅或雄蜂時，我們見到這動物有時行使強烈的飛的運動，然後我們聽見一個低聲音，但是有時翅祇有小動時，就祇聽見一個極小的尖聲。至於耳朵所聽見關於蟲翅的擊拍頻率的差異，完全由我們用的圖表實驗所證實。

我們所實驗的各種類的昆蟲，對於翅的運動速率也有極大的變化，我們會盡力把不同種類在相同條件下加以比較，就是在牠們最快的飛翔中，而對於機筒有小小的阻力。下列就是每種類每秒的翅運動數目的表現：

雄翅.....240
 雌翅.....199
 黃蜂.....110
 蜂雀蛾.....72
 蜻蛉.....28
 蒼蠅.....9

兩翅的動作的同時性——我們把蟲安置在適當的地位，就能使兩翅同時在機筒上磨擦。在繪圖上，我們看見兩翅同時動作，並且二者行使同數目的運動。沒有這圖，我們也可確信兩翅必需有相同的動作。

假使我們移動剛死的蟲的一翅，我們要發見另一翅也有相同的運動，假使我們擴張一翅，另一翅也擴張了，假使我們把一翅舉高，另一翅也就舉高。黃蜂最適於這實驗。

有的昆蟲在被捕時的飛，能用一翅而行使大運動，同時另一翅祇有小小的振動。例如蒼蠅受

鉗子夾住時，常有這種的飛，牠的兩翅很少同時並動的。這交互的飛的急劇與不能預見的狀況，以及給予身體軸線的劇烈偏斜，使我們不能同時繪寫兩翅的運動，使我們不能確定在這些狀況之下，雖有不相等的運動振幅，同時性是否仍然繼續下去。

上述的數字是指示昆蟲飛的運動的正常周律，但是牠們也證明圖表法不能說明翅的總行動，因為這器官祇能觸到機筒平面上的某一部分。不論羽翼所形成的運動如何，總有一點在圓體的平面上移動，這圓體的半徑就是翅的長度，以及這器官與中胸的連結點的中心。但是一個圓體祇能有一點接觸一個平面或凸面，因此我們對於翅的一系列旋轉祇能得到許多點，假使轉動的機筒祇能觸翅的末端，由於較大的接觸，就是翅的彎曲，然後有一部分翅面或翅邊磨擦燻黑的紙，纔能得到較為複雜的繪圖。

我們要說明圖表方法能用以測定翅運動的方法，但是我們先要說明另一方法所得的結果，以使這說明較為明白。

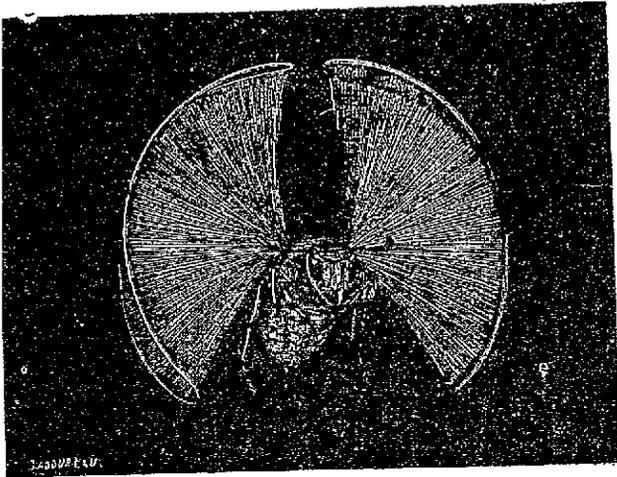
(2) 翅運動的光測定法——前面的實驗既證實這些運動的正常周律，我們以為用眼能測

定這些運動的性質。在事實上，我們若能把一個亮點附着翅的末端，這不斷經過同一空間的亮點，必留下一個發光的痕跡，而形成一個十分齊整的圓形，並且沒有在機筒上磨擦所易有的毀壞。魏史東 (Whetstone) 已採用這光學方法從事相同的實驗，他把亮亮的金屬球，放在引起複雜振動的金屬的桿上，而由此得到按振動的不同結合而變化的發光圖形。

我們把一小片金葉裝在黃蜂的翅的末端，並且在這蟲飛動時用一線日光射之，那我們就得到翅的連續形態的光亮圖形，而與第七十一圖不相上下。

這圖指示翅尖端繪成一個長形的8，有時這翅似乎完全在一面上移動，而過了一刻之後，形成8的末圈愈開愈大，這圈開得極大時，大半總有一圈較大，而下圈增大，上圈減小。再張大了，那這圖形有時變成一個不整齊的橢圓形，而在末端我們能認出第二圈的形跡。

我們以為我們最先指出昆蟲翅的軌道形狀，但是比梯路 (Pittigrew) 說他已提出蟲翅所繪成的8形，並且他的圖板已表現這點了。然而我們立刻就要見到這一點雖則相同，但是我們的理論與比梯路的學說，在實質上是大不相同的。



第七十一圖 黃蜂的形狀，較大的翅的末端加以金色，假定這點是放在日光之中。

蟲翅的平面的變化——一個昆蟲的鍍金翅在飛時的光亮形狀，指示在飛翔的交替運動之中，翅的平面改變對於身體的軸線的斜度，並且也指示翅的上面在升高時稍為向後轉，而在降落之中，稍為向前斜。

假使我們把黃蜂翅的上面，大部分都鍍金了（留心使金葉祇限於這平面），那我們就見到這蜂放在日光之中，所形成的8形，在兩半形有極不相等的強度，如第七十一圖所示。當時的形狀是8，而我們認粗畫是代表較亮的部分，細畫是

代表較暗的部分。

這現象的原因，當然是由於翅平面的變化，以及太陽線的投射，就是在升高時利於反映，而在降落時不利於反映。假使我們把這蜂轉過來，以考察在相反方向的光形狀，那8形的兩半必表現不相等的光亮，但是在相反的方向，先前較暗的部分變亮了，反之亦然。

我們從圖表方法要發見新的證據，以證明翅面在飛翔中的變化，這現象是十分重要的，因此從這現象我們似乎找到了使身體向前的原動力的近因。

我們為證實前面的實驗，並且使我們更確定翅移動的真情（就是光學方法所指示的），我們把一個小針的末端放在翅繪成的8形的內部，並且我們已證明這些圈孔的中間，確有一個像漏斗的空間，而針尖能穿入其中而不碰着翅，同時我們若要通過各線交叉點，那翅就立刻碰着針尖，而停止不飛了。

用以測定蟲翅的運動的圖表法——上面的各實驗，對於我們由於蟲翅磨擦燻黑機筒而得的繪圖，頗多說明。雖則由此而得的圖形大半是不完全的，但是我們藉了這些分散的部分，能模造



第七十二圖 蜂翅旋轉的中區繪圖，指示8形兩支的交叉，其中一支延長很遠，但是下圈的繪圖仍未形成。

光學方法所說明的圖形。

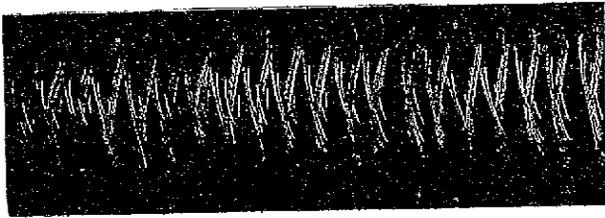
我們要注意對於翅的運動若不加以阻止，就能得到七或八耗的繪圖。在十分長時就有二十七英寸。翅所受的小小彎曲，使之照這樣而與機筒接觸。因此我們若小心使翅在腳所經過的各方面時接觸機筒，那就得到一串的部分的繪圖，這些繪圖是互相配合的，而由此使我們能從這些繪圖面推定翅旋轉的全曲線的形狀。假定在第七十一圖中，鍍金的翅所繪成的曲線是用橫線分為三區，上是上圈所形成，中是8的兩支，而交叉成爲一個X，下就是下圈。

我們記錄中區的運動，而得到各個有點相像的圖形，其中各線各相傾斜，各相切斷。這就是第七十二圖的情形，中區是蜂的繪圖，而在第七十三圖中，中部是蜂雀蛾的圖形。

翅旋轉的上區的繪圖，與第七十四圖相似，其中8形的上圈看得很

清楚。翅旋轉的下區繪圖，也表現與上區相似的圈孔（見第七十五圖），因此圖中8形，能用合併的連續所得的三部而模造。

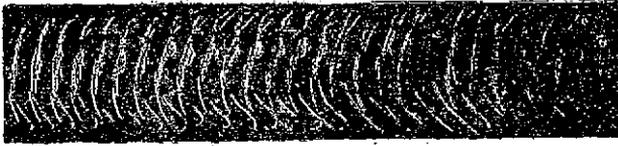
假使我們能一次而得到蟲翅所形成的全圖，那我們所得的圖形，就像聲學大家柯尼（Koenig）首先用史東桿（合於第八音）所得的，就是繪成一個8形。第七十六圖就指示這形狀。我們要見到圖表方法是適合於用以證實我們已由別的方法而得的其他實驗。假使蟲翼真的繪成8形，那



第七十三圖 綠雀蟻的翅旋轉時中區的圖形，圖中無數細畫，是由於翅的末端的不平條紋而來的。



第七十四圖 這是黃蜂所繪成的圖形，指示上圈以及8形的一支的全部，這支的中部祇用小點來表示，因翅的磨擦不強。



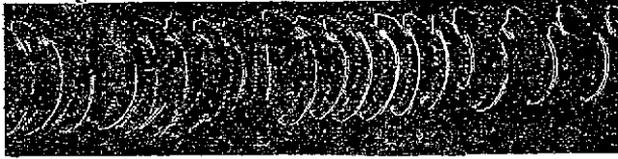
第七十五圖 黃蜂翅的圖形，有幾個下圈頗為明顯，這是由於使蜂翅的後部磨擦機筒（畫成極大的曲線）而得。



第七十六圖 魏史東的振動桿的圖形，該桿調合至第八音，就是每個縱振動在橫而振動兩次，（此圖係柯尼所得者，）機筒的延遲速度，引起在終止時類似曲線的圖形，

變動翅在轉動的機筒上的下落，我們就能預先說出所繪成的是什麼。因此我們若是得到與我們所預見的相合的圖形，那就是真有這些運動的真憑實據了。

我們試假定這蜂的翅，不是用尖端接觸機筒，如上所述，但是用腿磨擦之。此外我們暫時承認翅所繪成的 8 形，長得祇與經過縱軸線的翅面稍為離開。假使我們把翅稍稍壓着機筒，那二者的接觸必連續不斷，而繪圖也不終止了，但是所得的圖形不是 8 形。假使機筒是不動的，這圖形就是一個弧形，其凹面必轉向翅的附着點，而這點正處於所繪成的曲線



第七十七圖 用蜂翅所得的圖形，該翅在與自記機筒的發生點相切斷的平面上振動。

的中心。

假使機筒是轉動的，那圖形就像在同一條件下所記錄的音義的振動，而我們得到一個與第七十七圖相似的圖形。

我們的理論使我們預測這圖形，在翅移動的平面與機筒的發生點相切斷時必能得到的。

但是考察這些繪圖時，我們很容易認出筆畫粗細的變化，筆畫的粗細是由於翅加於機筒的磨擦的大小。此處我們發見一個新而正確的證據，以證明 8 形的運動，而我們現在用綜合的方法來說明。

我們試用合於第八音的魏史東桿，而當做筆尖裝在蟲翅上，而繪寫羽翼所行使的振動。假使機筒是不動的，我們在翅的尖端接觸紙時要得到 8 的圖形。假使機筒是轉動的，我們就要得到 8 的延長圖形。

我們用合於第八音的桿，可以得到與這蜂所繪成的相同圖形，第



第七十八圖 黃蜂的圖形，這蜂是握住以使其翅的尖端接觸機筒，而繪寫8形的上圖。

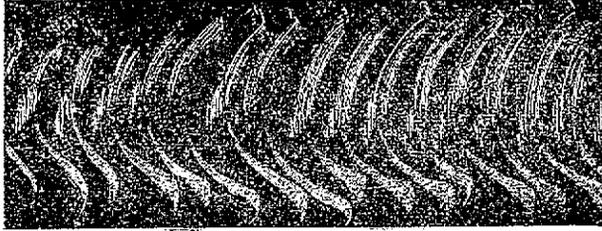


第七十九圖 合於第八音的魏史東桿的繪圖，用黃蜂翼，而使之專記錄8形的上圖。

七十八與第七十九兩圖的比較，就是明證。

圖表方法也證明蟲翅的平面在旋轉的不同時刻中的變化。

第八十圖指蜂雀蛾的翅的圖形，這翅是以前邊緣磨擦機筒。我們使這蟲不太近機筒，就能祇引起間斷的接觸。在翅繪寫凸面與機筒切斷的8形的圈孔時，就發生這些接觸。占繪圖上半的接觸與占下半的互相交替。除此之外，我們見到引起這兩種磨擦的，不是同一的翅面，在事實上，上半的印跡（各有一串的斜畫線，）是由於條紋邊緣的接觸，同時下半的接觸，是由於翅的另一部分，而這部分的邊緣沒有條紋，留下邊緣整齊而較白的圖形。



第八十圖 蜂雀蛾的翅用下邊緣磨擦蠟筒的運動的圖形。

翅面的這些變化，祇見於翅的大運動中，這是一個重要的事實，因為這說明引起這些變化的方法。第八十一圖就像第八十圖，也用蛾翅的運動所繪成，但是因為這蟲的疲倦，這些運動差不多完全失去牠們的振幅了。

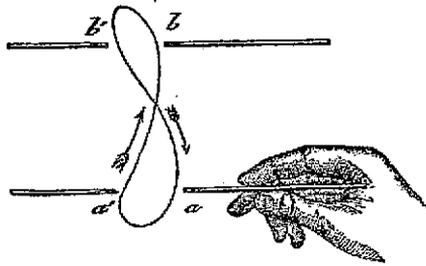
我們從第八十一圖祇能見到一串的振子的振動，指示翅僅僅上下而不改變翅面。緣邊這些曲線的上升與上部的光線，是用翅磨擦紙時交替彎曲來解釋，並且指示上面是不平滑的，留下顯明的圖形，而下面卻沒有這麼粗。

(3) 蠅翅的運動方向 我們還要一個



第八十一圖 一個疲倦的蛾翅的繪圖，8形已不見了，而祇見簡單的振子的振動。

重要的方法，以使我们充分了解蟲翅在飛翔中所行使的運動。光學方法雖指示翼邊鍍金所繪成的曲線的各點，但並未說明這旋轉完成的方向。不論翅在軌道中移動的方向如何，所發出的光形像必始終是相同的。



第八十二圖 測定蟲翅的運動的方向

有一個極簡單的方法，能解決這新問題，假定第八十二圖是一隻昆蟲的右翅的運動所引起的光形像。我們的眼所看不見的這些運動的方向，用箭記號來指示。

我們要測定這些運動的方向，而用一條光玻璃的小桿，塗以蠟燭的黑煙。我們把這桿與翅移動的方向成爲直角時，就使燻黑的一端對（a），就是在下圈之前。我們想使這點通過翅所繪成的圖形的內部，但是這點一達進這部，就從翅受到一串的震動，而這翅磨擦這桿的平面，拂去上面的煙屑。我們考查玻璃時，就見到祇有上部分的煙屑擦落了。這指示在（a）點上羽翼降下了。在

(a')也執行這實驗，換言之，在翅的軌道的後部，發見桿在下受到磨擦，所以翅在a'點是降下了。羽翼在b點上升，而在b'點下降，也可這樣加以說明。

現在我們知道蟲翅在旋轉中所行使的一切運動，以及翼面的雙重變化。我們由於光亮的8形兩支的光度不均，而知道這翅面的變化。因為我們確知在翅下降之中，就是第八十二圖中b'至a'之中，翅的上面稍為向前，而在上升之中，就是a'至b'時，這平面稍為向後。

第二章 昆蟲的飛翔的機構學

飛翔的運動的原因。肌肉祇予以前後的動作，空氣的抵抗力致變翅的方向。蟲翅運動的構造，蟲翅的推進效能，橫行的假蓋的構造。飛翔時翅面的變化。

(1) 蟲翅運動的原因。這些非常複雜的運動，必使我們假定昆蟲有一種極複雜的肌肉組織，但是解剖學並未指出肌肉能引起一切的運動。在移動翅的肌肉中，除了升高與下降力之外，我們不能發見任何的力。除此之外，我們更仔細考察昆蟲飛翔的機構條件時，我們見到肌肉所有的上下動作，足以引起這一切的連續行動而各相調和。空氣的抵抗力影響於其他的運動。

我們若取下一個蟲翅（見第八十三圖）而拿着這翅與胸相連的小關節，並且使之對向空氣。那我們就見到這翅的平面在受較大的風的推進力時，愈形傾斜。前翅脈要加以抵抗，但是在後延長的膜狀部分，因為較為柔軟而彎曲了。假使我們對翅的上面吹一下，我們就見到這平面向後，而我們從下面吹一下時，就使上面向前動了。按白拉杜的意見，在有的昆蟲種類中，翅抵抗從下面

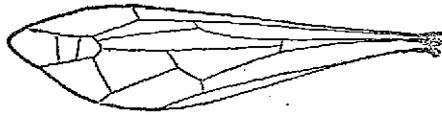
上的空氣壓力，而較甚於在相反方向的壓力。

在飛翔中的運動，空氣的抵抗力對於翅面的影響與空氣流所引起的相同，豈非很明顯的嗎？在這些條件之下，空氣的抵抗力所引起的翅面變化，正是在飛翔時我們所見到的。我們已見到下降的翅使前面向前，就是由於空氣的抵抗力從下而上，同時上升的翅使上面向後，因為空氣的抵抗力是從上而下的。

因此我們必須探求引起翅面變化的特殊肌肉動作。這些又指示我們引起蟲翅所行的 8 形的斜曲線的運動。

我們再看第八十二圖：下降的翅同時也有一個向前的動作，因此翅面在空氣的抵抗力之下所有的斜度，必引起從 b' 至 a 的斜度下降。擊拍空氣的斜面，有移向本身的斜度的趨勢。

我們試假定翅祇由於肌肉動作而升降，那空氣的抵抗力壓着翅面，要在這器官下降時強使之向前。但是翅脈不稍為彎曲，不能引起這偏斜。使翅偏向前的



第八十三圖 蟲翅的構造。

力，必按壓制這器官的速率而變動其強度。因此在翅下降將終止時移動較緩，我們就見到翅脈（彎曲的力較小）使翅向曲線的後方向。因此我們很自然的說明翅所經過的8的下降支的形成。

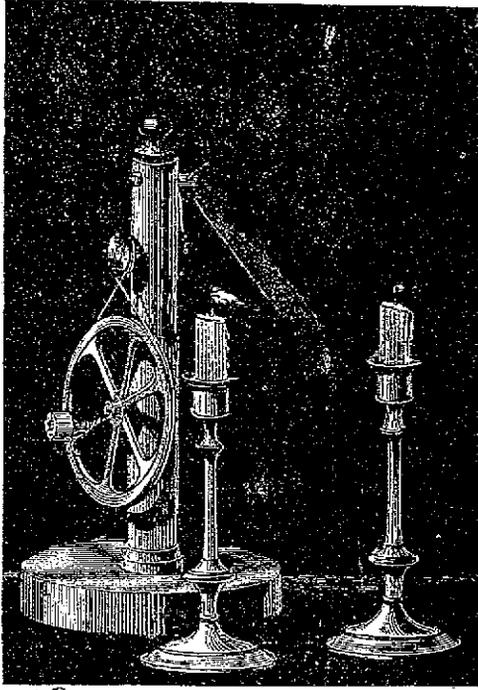
這同一的理論也適用於這8形的上升支的形成。總之，翅脈所行使的一種振子的振動，以及空氣的抵抗力，就足以引起我們的實驗所指示的一切運動。

(2) 蟲翅運動的模造。這些理論的推定要完全有效果，就必需有實驗的證實。我們得到下列的結果。

試以第八十四圖作爲一個儀器，用一個輪與一個相連的桿，對於一條柔軟的軸予以縱面的急速前後運動。我們試用一個與蟲翅相同的膜，而裝在這軸上（這軸就代表翅的大翅脈，）我們就見到這儀器執行蟲翅在空間所繪成的一切運動。

假使我們使這假翅的末端發光，我們就見到這尖端繪成8形，就像真的翅。我們也見到翅面在每個旋轉中，改變了兩次，就像真蟲一般。但是在我們此刻所用的儀器中，與翅相通的運動祇是

向上向下的。倘若沒有空氣的抵抗力，這翅必祇能在縱面而升降。因此這一切複雜的運動，都是由於空氣的抵抗力。因此使大翅脈彎曲的就是這抵抗力，使之直向翅面，而引起振動來。



第八十四圖 蟲翅運動的構造

但是我們在每個交替的運動中，若把翅推開大翅脈，那影響於這翅的空氣，自必受到相反方向的推進力。換言之，空氣要在翅的柔軟部分逃出，而使這方向有一個空氣流。在第八十四圖中，我們見到一支蠟燭放在翅的薄邊之旁，而大受空氣流的吹動。反之，在這翅之前，空氣卻向前，所以在翅脈之前的另一支蠟燭的火焰，必很為逼近的了。

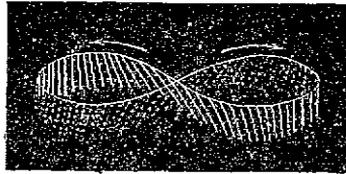
(3) 蟲翅的推進動作。就像爆竹在與發出的火焰的相反方向移動一般，昆蟲也在翅的運動所引起的空氣流的相反方向，推進自己。

翅的每個擊拍，傾斜的影響於空氣，而抵消空氣的抵抗力，因此而引起一個橫面力，使昆蟲前進。在翅的下降以及向上的運動中，都有這合力，所以蟲翅振動的每部分，有一個利於推進的動作。

這個效果，與行駛船時在船尾用槳所引起的相同。槳的每個擊動（與抵抗的水成爲斜面，）把這抵抗力分成兩個力：一個行於與槳的動作的相反方向，另一個的方向與這動作成爲直線，而推進船身的卻是後者。

大半在水中動作的推進器，由於斜面的動作而克服了水的抵抗力，魚尾就產出這種的推進

力，海鰓的尾也是如此，祇是有一點不同，就是牠在縱面振動。就是螺旋也可認為是一個斜面，牠的運動是連續不斷的，並且方向始終是相同的。

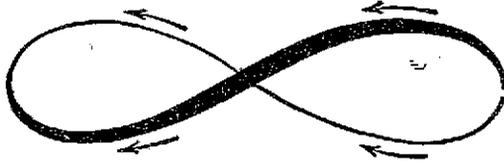


第八十五圖 蟲翅面的變化的表現。

假使我們要表現蟲翅旋轉的各部分的斜面，那就得到第八十五圖，其中箭記號指示翅的旋轉方向，而各線（不論是虛是實）是指示翅面的斜度。

此後我們祇須說明比梯路對於飛翔著作所繪的圖，以證明這位英國學者的觀念與我們的相差多少。

蟲翅的軌道，比梯路用第八十六圖來表現，按他的意見，四個箭記號指示這軌道的不同部分的運動方向。這些記號是在同一的方向，而這第一事實是與本編第一章末所敘述的實驗相反。在該實驗中，我們研究翅的運動方向，而發見是在8形兩支的相反方向通過。比梯路為說明他指定的軌道形狀，他承認翅在從右到左的經過中，用厚邊繪成8形的粗支，而用薄邊繪成8形的細支。因此8形的交叉，必由



第八十六圖 蟲翅的軌道。

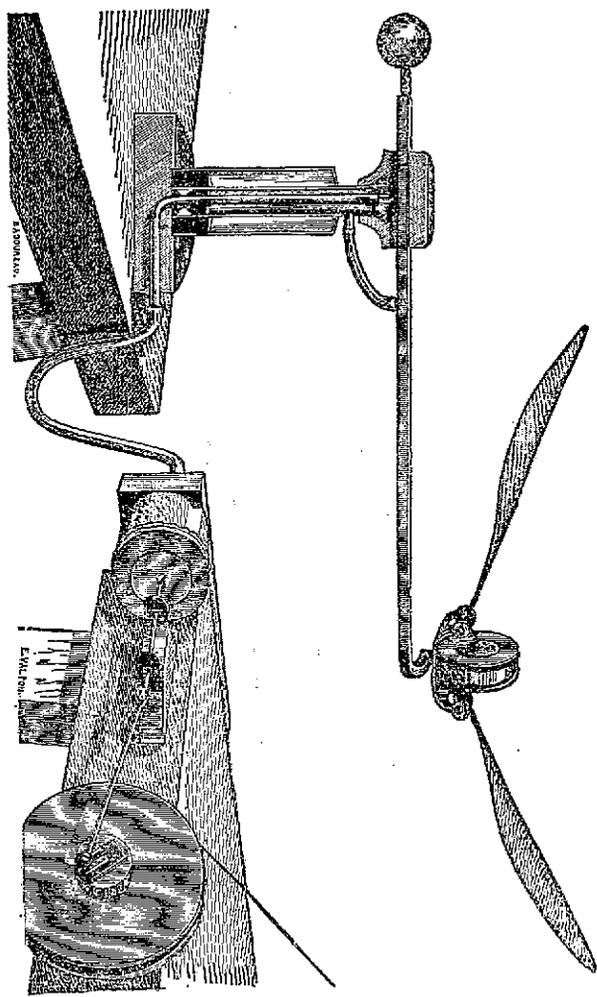
於翅面在旋轉之中完全反轉而成的。在事實上，這位學者似乎在這反轉中，見到與螺旋相同的動作，而這動作中的螺旋就是空氣。我們不要再贅述這學說，不過在我們所見不同時有提出一談的必要。

(4) 昆蟲的飛翔的模造。我們爲使蟲翅的動作，以及空氣抵抗力的影響較爲明白起見，而使用下列的儀器。

試以第八十七圖代表兩個假的蟲翅，用一個堅硬的大筋與一個柔膜相連（是用大腸膜做的），再用細鋼肋支撐住。這兩翅的平面是橫的，有一種彎曲的桿杆，使之升高或下降，而不引起側面的動作。

兩翅的動作，是由於小銅鼓所引起的，這鼓中的空氣由於抽機的作用而交替的凝結與稀薄。這鼓的圓面是用與兩翅相連的橡皮膜所構成，在空氣壓縮或稀薄時，對於這些柔軟的膜子以有力而急速的運動，而這些運動同時傳到兩翅。

有一個橫管（與一個平衡力相抵），使這儀器在中心軸線上轉，同時也用以傳導空氣進入



第三編 第二章 昆蟲的飛翔的發見
 第八十七圖 假定的昆蟲，用以說明昆蟲的飛翔的發見。

引起動作的鼓中。這軸線是用一種水銀氣量計做成的，而在使儀器在橫面自由轉動時，密封了空氣的傳導管。

這儀器這樣配置，指示空氣的抵抗力與翅的運動合起來，而產出昆蟲的推進的機構學。

假使我們用抽氣機使假蟲的翅動作，我們就見到這儀器立刻繞軸線而急轉。這實驗明白說明昆蟲動作的機構學，完全證實了我們從對於飛翔中蟲翅運動的光與圖表分析而推定的各理論。

我們可以問一隻被捉的昆蟲的翅所繪成的 δ 運動，在這蟲飛時是否也產出這圖形。我們在前面已見到大翅脈的彎曲，完全是由於在這蟲自由時使牠前進的力。因此我們可以假定蟲翅的大翅脈在自由飛翔時，並不服從這力，而所引起的橫力祇見於整個蟲身的推進。

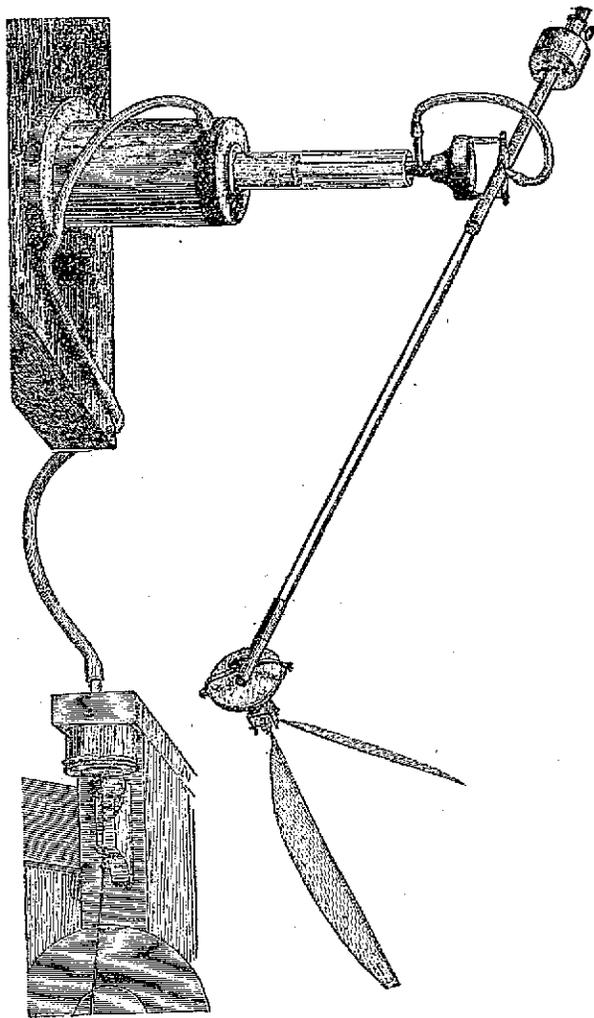
假使把假蟲的翅鍍金之後，我們注意在飛翔中所引起的光亮形像，我們就仍然看見這 δ 形，倘使這飛並不太快，在事實上，這 δ 形為儀器的運動而改變，牠變得較大，就像在轉動的機筒上所記錄的 δ ，但是這並不減至一條簡單的曲線；而大翅脈如果始終是堅硬的，那就必有這情形。我們

能明瞭這也許是由於儀器的慣量，而不能受翅的每個擊拍所加的不同運動的影響。這個假蟲開始動作時，有時是在翅所產出的橫力之前或之後；因此翅脈不得不彎曲，因為要移動的質量，並不立刻服從翅從空氣的抵抗力所得來的橫力。真蟲在飛翔中必發生這同一的現象。

(5) 蟲翅的振動面。上述的儀器，對於昆蟲飛翔的機構學，尙未予以完善的觀念。我們爲了易於說明蟲翅的運動，而不得不假定牠的振動是從上而下，換言之，就是在橫臥於空中時，從蟲背趨向較低的翅面。

但是我們祇要觀察某種的昆蟲的飛翔，例如普通的蠅，以及大多數的兩翅昆蟲，我們見到翅所移動的平面不是直線的，但是差不多是橫的。這平面使上面稍爲向前，因此大翅脈與這平面相符合。所以由下而上，並且稍爲向前，纔引起昆蟲的推進。翅所行使的力，大部分是用以助這蟲抵抗體重的作用，而其餘的就使牠前進。

改變翅的振動面的斜度（由於移動腹部，以移置重心，）這蟲能隨其所欲，而增加向前飛的速率，減少所得的速度，退後或向旁急飛。



第六十九圖 很薄的配肥,用以得到翅而或上飛的變化。

我們很容易見到一個膜翅類昆蟲飛得最快，而停在一朵花上時，用力使兩翅的振動面向後。在事實上，變化最多的，就是不同種類的蟲翅的振動面的斜度。

我們看起來，兩翅昆蟲的振動面差不多是橫的，在膜翅類昆蟲中，翅的移動面約四十五度，但是鱗翅類卻是縱線的撲擊兩翅，就像鳥類似的。

我們要使振動面的影響較為明白，並且要說明從空氣的抵抗力而得來的力，有升高昆蟲與指示方向的兩重影響，那就得按特殊的方法而佈置這儀器了。第一，我們必需能改變翅的振動面，這就是把鼓放在橫管末端的支樞上，而在末端轉動。因為要指示這新工具所產出的上升力，所以這儀器不能再限於在橫面上的簡單轉動了，這務必像秤的天秤桿，能在縱面振動的。

第八十八圖就是我們用以得到這雙重結果的新配置法。

在這儀器的改置中，構成動力的抽氣機，以及在水銀氣量計中移動的轉動圓柱，都仍然保存。但是在這圓柱上端的盤之上，裝置一個新的樞紐，使末端安置假蟲的橫管能像天秤桿一般，在縱面振動。我們要確立轉動的圓柱與支持昆蟲的管子之間的聯絡，而使用一個小橡皮管，頗為柔軟，

而不至於阻礙這儀器的振動。

從第八十八圖中可以見到其他附帶的修改，其中有一是用一個玻璃管傳送從移動昆蟲的抽機出來的空氣，另一就是給予蟲翅以動作的機構之變化。最重要的改變就是採用一個新的樞紐，使我們能予蟲翅的振動面以各種的斜度。

儀器如此配置，以使平衡重體在移近停止點之後，不至恰恰與昆蟲的重量相抵，蟲所處的地位，使其兩翅在橫面移動，而最高的是大翅脈。因此一切的原動力都是從下而上，而在抽氣機一開始動作，我們就見到這盞在縱線上升。我們對於翅的撲擊所舉起的重量，頗易加以估計，並且我們既能由於改變平衡重體的地位而變動盞的重量，所以我們能測定按擊拍的頻率或振幅而產出的力。我們把這盞轉動一半，以使仍在橫面振動的翅，使大翅脈轉下，這樣我們產出一個下降的縱線力，而把平衡重體移遠一點，並且使之由這盞的下降而舉高，對於這力就能加以測量。

假使我們使翅的振動面成爲縱的，那這盞就在橫面轉繞支持點，就如第八十七圖所示與前面所敘述的一般。

最後，假使我們對於蟲翅的振動面，予以傾斜的形狀，如大多數的昆蟲所表現的，就是使大翅脈立刻向上並且稍爲向前，那我們就見到這蟲抵抗本身的重量而上升，並且同時轉繞縱線軸。總言之，這儀器表現從飛翔的昆蟲所見到的兩重影響（從翅的擊拍而來的），就是使之停在空中，以及指示在空間的方向的力。

二者中前一的力大得多，因此一隻蟲翱翔於花草之上時，我們見到落日使牠的斜面發亮，我們可認這蟲翅的振動面差不多是橫的。在這蟲欲向任何方向急飛時，這斜度自必改變，但是這時我們的眼不能追視而看出翅面的變化，因此我們由於上述的理論與實驗，對於這變化非承認不可。

有一點要加以研究的，就是預備飛翔的動量。我們不但述及翅的展開（在甲蟲類中這是在飛翔之前，）這運動有時極緩而很容易見到，並且也說及第一對翅的轉開，就是黃蜂在未飛之前的行動。其他的昆蟲，如兩翅之類，在原來停於背上的翅在未飛之前向外向前時，繞着大翅脈而轉動。蠅，大蚊以及其他種類，在身倦力疲而沒有力飛時，很明白的表現這準備的運動。我們見到大翅

脈仍然不動，周圍有膜狀部分轉動，而其未附着的邊是向下的。得到這形狀後，這蟲祇要使翅在橫方向振動，從後至前，從前至後。假使沒有這動作，翅邊就必擋住空氣，而完全不能飛了。在其他的種類中，如小蜻蛉之類，四翅在休息之中，背對背的躺在腹部之上。牠們的大翅脈是向上的，而在四翅趨下趨前時維持牠們的地位。此處不必有預備飛的動作，在這些昆蟲中，就如蝴蝶一般，在飛時祇要使翅動作。

追溯各種昆蟲中飛的機樞學所表現的各變化，頗有興趣的。

上述理論的證實，是見於有的博物學家用活體解剖而得的實驗中，其中最有趣味的是季勞 (Giraud) 的。這一切的實驗都證明昆蟲的飛翔的相當功用，必需一個堅硬的大翅脈以及一個柔軟的膜。假使我們把翅的軟部分塗一層東西，使牠在乾時變硬了，那就不能飛了。我們毀壞了前翅脈的堅硬性，也必使之不能飛。

在另一方面，我們若祇把一部分的軟膜割去（這膜與後邊平行），那仍保持飛的力量，因為這翅仍有這功用所必需的條件——就是一個堅硬的大翅脈與一個柔軟的平面。最後，在有的種

類中，飛翔必有兩翅的聯合，有一種假翅鞘（Pseudo-elytion）構成翅脈，而在這後面有一個膜狀翅，爲前翅的前邊所圍住。這第二翅沒有充分的堅硬性，以使之擊拍空氣，並且我們若把假翅鞘割去，這蟲就不能飛了；這就像我毀壞了一個完整的翅的大翅脈。

第三章 鳥類的飛翔

鳥類飛翔的構造。羽翼的構造，曲線及其肌肉器。鳥類的肌肉力，肌肉收縮的速率。鳥的形式，穩定的平衡，利於翼面變化的條件。各種大小的鳥類中翼面與體重的比例。

我們研究昆蟲飛翔時所採取的計劃，於研究鳥類時也必遵從之。我們用精密的分析，以決定羽翼在飛翔中所引起的運動，而從這些運動，我們對於予鳥以行使力的支點的空氣抵抗力，可以下一結論，我們解釋關於飛翔的機構學，鳥所引起的功率所必需的力等等之後，就用人造的儀器來表現這些現象，正如我們對於昆蟲的研究法。

但是我們未從事這研究之前，最好對於鳥的組織，羽翼的構造，肌肉系的力，在空中平衡的條件等等，先加以概括的觀察。

鳥類的構造。我們稍為考察鳥的翼，就見到牠飛翔的機構，與昆蟲的完全不同。從羽毛各相依俯的形狀看起來，就可見到空氣的抵抗力祇能由下而上，因為在相反的方向，空氣能由於彎曲



第八十九圖 鳥翼在其長度中各點上的不同曲線。

羽毛的長端（這時不能互相支持，）而打出一條道來，這個配當會由白利其（Prehle）加以敘述，而使我們假定羽翼要支持鳥的重量，祇須在縱面振動，因為由下而上的空氣抵抗力，比在相反方面的來得大。

這位學者把飛翔功用的一切理論，都基於對飛翔器官的觀察，是錯誤的。我們要見到實驗與這些過早的歸納法，正是大相逕庭。

我們若用一隻死鳥，而把牠的翼張開，就如第八十九圖的形狀，我們就見到在長度中各點上，翼面有很大的變化。在近身體的內部，翼在下在後都很為傾斜，而在末端卻是橫的，並且有時是向外的，所以翼的下面有點向後的。

比梯路以為他在這曲線中，能發見一個像左旋螺旋推進器的平面，他見了翼形與航海用的螺旋之間的相像，就認鳥翼是一個螺旋，而以空氣為螺旋。我們以為不必反駁這理論。我們已明知每個肌肉運動所有的交替形式，不能引起螺旋的推進作用。我們承認羽翼在一個軸線上轉動時，這轉動是限於一

轉的一部分，並且有相反方向的轉動相繼，而這在螺旋就必完全破壞前一運動所引起的效果了。但是這位英國學者卻完全深信他的學說，而竟然想把這理論推及整個動物界。他主張一切的運動，不論是地上，水上或空中，都歸於螺旋推進器的運動。我們祇要在飛翔器官的解剖構造中，探求真理；換而言之，就是關於鳥類在飛翔中所能產生的力，以及這些力行使的方向。

比較解剖學指示我們，鳥翼與哺乳動物的前肢的相似。鳥翼祇剩骨格時，就現出如人臂的上膊骨，前臂的兩骨，以一個不全的手，而這手也有掌骨與指骨。肌肉部分也表現與人的前肢的許多相似點；其中有的外狀與機能都相似，以致名稱也相同的。

在鳥翼中，最發展的肌肉，就是那些伸展或彎曲手於前臂之上，前臂於上膊骨之上，並且移動上膊骨，就是把全臂轉繞肩部關節點的肌肉。

在大多類的鳥中，尤其是大鳥中，在飛翔時羽翼似乎總是展開的。因此這器官的各部分伸肌，必予以飛翔所必需的位置，並且要維持這地位。至於原動功率，那是由其他的肌肉所執行，而這比前者較強，就是胸肌。

鳥類胸部的前面，完全為強肌所占了，尤以大肌肉為甚，而這大肌肉與胸骨、肋骨以及上膊骨的相連，就像人類與哺乳動物的大胸肌。這肌肉的職務顯然是用力而急速的降落羽翼，而從空氣得到用以支持與移動體量所必需的支點。在這大胸肌之下，就是中胸，用以舉高羽翼的。在外面，就是小胸肌，從胸骨伸到上膊骨，是大胸肌的附肌。

肌肉的力既然與這器官（翼）的體積相等，因此我們認這些胸肌約有全體重的六分之一時，就立刻明白飛翔的主要功用是由這些有力的肌肉而來的。

包來里想從胸肌的體積，而推定牠們所有的能量。他的結論是：鳥在飛翔時所用的力，等於體重的一千倍。我們在此不要反駁他的錯誤，有許多人反對他的觀念，而用其他尙難證明正確與否的計算，以替代包來里的結果。至於對於鳥的肌肉力的估計如此懸殊，是由於太早從事這些測量了。

那維亞（Naylor）藉了非根據於實驗的計算，而自認為可以承認鳥類發出極大的機械功率：十七個燕子所發出的功率等於一個馬力。伯脫蘭（Burband）說得很滑稽：用計算證明鳥類不

能飛也一樣容易——這結論必有礙於數學。

除此之外，我們見到拉多(Laton)根據於理想，而承認鳥翼的降落比升高快八倍。然而實驗證明鳥翼的升高比降下來得快。

對於鳥的肌力的估計，今日我們必須用功率而測量機械力。爲這目標，我們必知道鳥翼在運動中每刻所遇到的抵抗力，以及抗拒這抵抗力的方向。

這種的估計必需先知道抵抗按不同速率而移動的各曲度面的空氣阻力，同時假定我們知道翼的運動，以及這些運動每刻的速率與方向。

這問題也許是我們想解決的最後一個，但是就在現在，我們也可以從其他立點而研究鳥的肌肉所發出的力，並且估計這力的特徵。

因此我們在實驗上可以得到這些肌肉所能發出的最大力的測量。這測量也許與飛翔所表現的真力，不是真真相合，但卻能使我們不至有誇大的估計。

假使包來里的，甚至那維亞的計算是正確的，那我們在鳥類的肌肉中，必發見一個極靜的力。

然而實驗指示這些肌肉所能發出的力，並不較大於其他的動物。

實驗。我們第一用鵝來實驗。我們矇了這東西的眼，把背部伸展，而用裝滿小彈的袋子把翼按在桌上。頭巾的應用使這些鳥如受催眠術，而這時我們能執行無數的實驗而不至表示任何痛苦。

我們把大胸肌與上膊部露出，而把一個綁帶放在脈管上，分開肘節，把其餘的翼部取出。用一條繩縛在上膊骨的末端，而這繩的末端放一隻天秤盤，袋中小彈就傾入其中。我們使這鳥的身體完全不能動，而用間斷的電流刺激牠的肌肉，在引起這人造的收縮時，助手就把小彈傾入盤中，直到肌肉的收縮力受到阻礙為止。在這運動中，所支持的重量是二尪三八〇克（約六，三八磅〔金衡〕）。

假使我們計及桿杆兩臂的不均等長度（就是力與抵抗力的），那我們就發見胸肌能產出
一二尪六〇〇克的力，就是等於肌肉橫面的每平方呎有一二九八克的收縮。

白鴿用同一方法來試驗時，發出四八六〇克的力，而按其肌肉的橫面計算，把每個肌肉每平

方紙所能發出的力升至一四〇〇克。

假使我們承認這些實驗用以使肌肉收縮的電作用，發出較少於意志所引起的力，那這些估計（較少於我們在同一條件下從哺乳動物的肌肉所得的估計）也不使我們在鳥類中覺察到任何的特殊肌力。

最後，我們在這估計中若顧及熱力學的法則，那我們就可證實鳥類在飛翔中，不能產出特殊數量的功率。

在事實上，一切的功率祇能由於浪費某量物質而得到的，假使飛翔的動作要用大量的功率，我們就必在鳥久飛而回時發見重量的大減。事實上沒有見到這情形。馴養傳信白鴿的人給予我們關於這點的情形，我們由此而推定一隻一次飛過一五〇哩遠的鳥，比開首出發時祇減少幾克的重量。我們更正確的執行這些實驗，是很有興趣的。

鳥類的肌肉動作的速率。鳥的肌肉動作的最顯著的特點，就是其中發出的力的異常迅速。在不同種類的動物（我們對於牠們的肌肉動作已加以測定）中，鳥類是昆蟲之外發出最速運

動的一種。

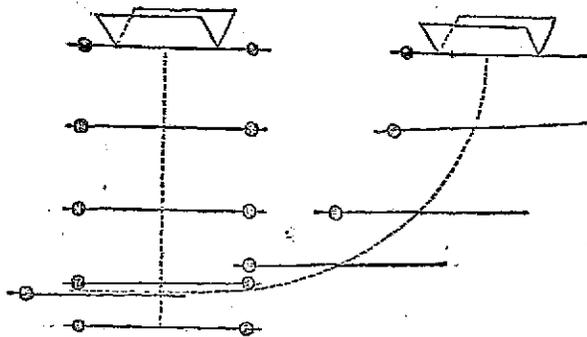
飛翔非有這速率不可。在事實上，羽翼在降低時，祇有急速移動纔能遇到充分的空氣抵抗力。空氣抵抗擊拍並且抗拒的翼面的力，必增加這翼面移置的速率。鳥類有了有力而能引起大功率的肌肉也是無用的，倘使牠們對於翼祇能予以遲緩的運動。牠們的力不能因缺少抵抗力而行使，並且不能產出功率。至於跑或爬在地上的地上動物則不然，牠們的速度是肌肉的性質而定，但是在每個情形下，牠們由於地上的完全抵抗力而利用牠們的肌力。魚類的運動必需速率的事實已見到了，因為牠們所泳的水，按牠們的尾或鰭加於水的速度而抵抗較多或較少。因此魚類的肌肉動作是急速的，但是遠不如鳥類的，而後者是在極順服的介質中行動的。

我們要明瞭鳥類的肌肉的急速運動，就必記住這些運動是與化學作用相連的，這作用就起於肌肉的本質中，而如在機器中一般，也引起熱與動。因此我們必承認這些動作在鳥類的肌肉中，比較其他任何種類的動物的肌肉易於激起與傳播。在戰爭中各種的炸藥也是如此，在爆發的速率方面各相懸殊，因此對於牠們所推動的射彈予以極不相同的速度。

最後在不同種類的鳥中，運動形式所表現的各特點，我們已加以注意了。在第八章中，我們已見到胸肌的面積因翼的擊拍，必需大力或大範圍而變化，因此我們在此不再重述了。

鳥的形式。 凡研究過鳥類飛翔的人，對於這些動物的形式必加以注意，這形式使牠們十分適宜於飛翔。他們已見到這些動物在空氣介質中的十分固定的均衡。他們充分明瞭翼的大平面所占的地位，這平面有時可作降落傘之用，以引起極緩的降落。有時這些平面滑過空氣，而按其斜度，以使這鳥傾斜的下降，甚至升高或在使羽翼不動時而徘徊空中。有的觀察者甚至承認有的鳥類在飛翔中是被動的，而牠們的翼屈服風的推進，以得到一個使牠們飛翔各方面且能抵抗風的力。在飛翔的理論中，我們對於這重要的問題頗有略加討論的價值。

鳥的固定均衡已詳加說明了，關於這題目已不用再補充什麼。翼是附着胸部的最高部分，因此在外展的翼作為支點而擊拍空氣時，整個的體重是處於這停止面之下。我們也知道身體的本身，最輕的器官，肺與氣管都在上部，同時較重的腸較低，此外還有胸肌（又大又重）占較低的部分。因此最重的部分，是在停止點之下的最低地位。



第九十圖 在左端，指示用以模仿鳥的翱翔的儀器，這是處於均衡的地位，用兩個相等的重量附着一條線的末端，而這線在摺紙所形成的角度的下部是固定的，這儀器的降落是縱的，如圖中線與兩個重量相連時的連續地位所示，在右端，祇有一個重量連着線，而其降落是拋物線的，如圖中虛線軌道所示。

鳥在降落時伸展羽翼，而使其腹部向下，而不必用力維持其均衡。牠取這形狀是被動的，正如降落傘放在空間中，或如毬子落在毬板上一般。

但是這縱線的降落是例外的，使自己降落的鳥，差不多總是由於前面的橫線速度所衝動；這鳥因此而傾斜的滑過空氣，正如每個極輕而平面大的體質，放在固定的均衡之下，的情形。伯蘭因 (Pina) 曾仔細研究各種的滑動。他用小儀器模仿昆蟲或鳥不動羽翼而飛時的形狀，以表現這些運動。

假使我們用一張方紙，而在中間摺起來，

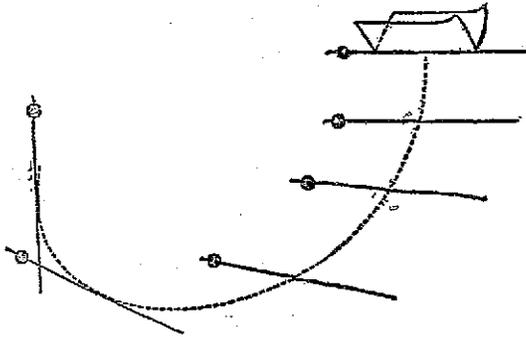
以形成一個極鈍的角（見第九十圖），然後在這角的底部，用蠟把一條線貼着兩個相等的重量，由此我們要得到一個在空中能維持固定均衡的體系。假使重心恰恰從這圖形的中心經過，我們在這儀器放落時就見到是直的降下，而其角度的凸圓形是向下的。

我們若取去一個重量，以改變重心的地位，那這儀器就非直的降下，而是循着斜的軌道，並且要加速的滑過空氣（見第九十圖的右端。）

這小儀器所經過的軌道是處於縱面的，假使這儀器的兩半是十分相等的；否則就不然，牠要轉向一邊擋住空氣而一邊遇到較大的抵抗力了。這些易懂的結果，與舵的抵抗力在推進船時所引起的相同。在縱的方向也能引起這些效果，所以這儀器的軌道可以成爲曲線，而其凹形是向上或向下的。

每個曲的薄物體，常按其本身的曲度方向，而在空氣上滑動。

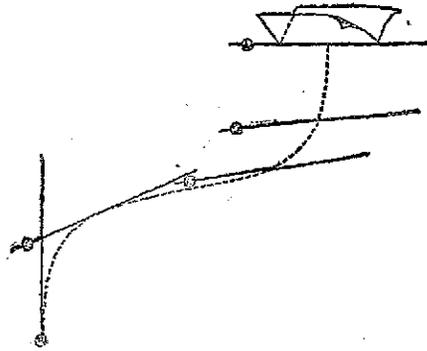
假使我們把這儀器的前部或後部轉過來，那在某定時我們就見到牠的降落從與其重量相反的方向而升高，但是立刻又失去向上的運動了（見第九十一圖。）我們試考量所發生的情形。



第九十一圖 我們把形成角度的兩手面的右角翻轉。在拋物曲線形的降落後，這儀器又復升高，如圖中虛線軌道所示。

這紙下降的速度既如此小，牠的曲度的效果就不能看見的，因為空氣的抵抗平面，祇按其動作的速度。但是在這速率很大時，所引起的效果就與船舵的相同，就是使這小儀器的前端向上，而予以上升的趨勢。這滑動的主動力的重量，立刻使之延遲，而在其升高中，失去其速度直到達於停止點。此後又有向下的運動開始，然後在相反方向又有上升的動作，所以這紙由連續的振動而降落地上。

假使我們使這儀器的凹形稍為向下，那就引起相反的結果。我們從第九十二圖，見到在某時這軌道突然向下，而這下降的物體猛烈的擊着地。在這第二情形下，在像舵的效果產生時，這新方向有加速這儀器降落的重量，而如前一實驗一般，也使再上升較為遲緩。



第九十二圖 角面的右角向下彎曲，在拋物線的下降後，這儀器在直線方向急速的下降。

運動不但能中止牠的降落，而且也能不再用力而使牠升到開首出發時那麼高。」

對於這鳥能不用任何主動的力，而升到降落時那個高度的一點，當然有誇張之嫌。空氣的抵抗力必消滅牠在降落時所得的一部分的力，並且這力必變成一個上升的衝量。然而我們見到有

我們討論這些效果，因為這是在鳥類的飛翔中所常見的。在從前的敘述放鷹術的論文中曾提及之，其中描寫在飛擊中所用的鳥類的演習。我們在休伯（Huber）的著作中，見到關於鷹的這些曲線運動，他們稱之為 Pasadas，這是這鳥的斜線降落，繼之有一個再上升，而他們稱之為 Resauroe（這字是從臘丁文的 Resurgere 而來的。）休伯說道：「這鳥用自己的速度而前進，倘使在最高的速度時牠不行使停止的力，而直轉上以再降落，那就必猛撞地上了。這

許多的觀察家注意到這 *resistance* 的現象，並且他們認之爲一個不必用肌力的被動的運動。

在有的情形下，翱翔的動作與上述的現象十分相似。試舉一例，如白鴿之類的鳥撲擊雙翼而經過一段路程時，我們見到牠有一時停止這一切的運動而滑過，不是上升就是降落。後一翱翔的動作是期間最長的一種；在事實上，這祇是一個非常慢的降落，而其重量助進這運動而同時在橫線或上升的方向阻止之。鳥翼在最後的兩個形式中，是傾斜的，而從空氣得到抵抗點，正如兒童玩耍的風箏一般，但祇有這點不同，就是風箏所得的速度是由於在空氣平靜時加於繩子的延長力，而鳥類則在翱翔時利用牠所已得到的速度，就是由於傾斜的降落或翼的預先的撲擊而得的。

我們已說過觀察家承認他們稱爲「帆鳥」(*sailing birds*) 的鳥類，由於風的作用，就能在空中支持與指導自己。這理論似乎頗爲純正。我們不能明瞭這鳥在風中不用力時，怎樣能不受風力的影響。

假使 *passates* 或翼面的變化，有時能使這鳥飛向與風相反的方向，那這些祇是暫時的效
果，後來要有較大的力驅之於風之前。

然而這「帆的飛翔」的理論爲有的觀察家所竭力主張的，而尤以埃斯德諾 (Count d'Es-ternò) 爲甚，他是關於鳥類的飛翔的一位超卓作家。

他說道：「人人都必見到有的鳥表現這種飛翔，否認之，就是反對證據。」

我們對於空氣的抵抗力所知尙少，尤其是關於這力在不同角度下抵抗斜翼面時的分解，而對於帆的飛翔不能加以決定。我們藉了這些不確實的理論或觀念以排斥他們的見解，那未免太冒失了。

翼面與體重的比率。測定翼面對於體重的比率，是鳥類構造中最有興趣的問題之一。這兩個數量之間是否有固定的關係，這問題引起不少的爭論。

我們已指出我們若比較不同種類而重量相等的鳥，我們就發見其中有的羽翼較其他這大二三或四倍，有大翼面的鳥就是那些常常表現一種翱翔的飛的鳥類，而被稱爲帆鳥；同時那些有短而狹的羽翼的鳥，說慣於像划船的飛翔。假使我們同時比較兩個「划船」的或兩個「帆」鳥；或者我們爲使牠們之間除了大小之外，沒有其他的差別，而從一族中選擇出來，那我們就發見這些

鳥的體重與翼面之間，有一個尚為固定的比率。但是這比率的測定，務必根據於久為博物學家所忽視的考慮。

路西(Luce)曾把一切飛行的動物的翼面，與體重相比較。他爲了要在這些種類不同與大小不同的動物之間，確立一共同的單位，所以他把這些估計歸於一個理想的標準，而定重量爲一尪。因此確定了蚊（重三尪）的翼有三十平方耗的表面，他斷定在蚊類中，十平方耗的翼面支持一尪的體重。

他畫成了一張關於種類與大小不相同的飛行動物的測量比較表，而得下表的結果：

從這些測量，我們得到下列重要的結論：就是大而重的飛行動物，在空中用以支持本身所需的翼面沒有小的那麼大。

這結果明白指示翼翅在飛翔中不僅僅是被動的，因爲一個帆或降落傘必須有一個與其所支持的重量相等的表面，但是在另一方面，從認之爲擊拍空氣的一種器官的立點說起來，鳥翼在大而重的鳥類中應有較小的表面。

種類	體重	翼翅面	每翅的翼翅面
蚊	3釐	30平方釐	10平方釐
蝴蝶	20釐	1663平方釐	$8\frac{1}{3}$ 平方釐
白鴿	290克	750平方釐	2586平方釐
鷓	2265克	4508平方釐	1988平方釐
澳洲鷓	9500克	8543平方釐	899平方釐

他測定翼面能使有人那麼重的蝙蝠飛翔，並且發現這翼不用三呎長。

哈丁斯曾有一書關於不同種類的飛行有脊動物中，翼的大小與胸肌重量的相對關係，他指

我們考量翼面不能增加體重的比率，是有幾何的理由時，就不再驚奇路西所得的結果了。在事實上，假使我們拿兩個同形式的物體，例如兩個立方體，其中有一個的直徑比另一個大兩倍，前者的每面比後者的大四倍，但是大立方體的重量比小的大八倍之多。

因此一切相似的對稱立體，線面積是有某定比率的，表面就按其平方以及其立方體的重量而增加。兩個形式相同的鳥，其中有一比另一大兩倍，而二者的翼面的比例是一與四，而重量的比例是一與八。

維冷納 (H. de Villeneuve) 根據於這幾點而從事研究，

出在有的鳥類中，我們能確立翼面與體重之間的關係。但是我們必須祇比較能比較的部分，例如翼的長度，牠們的表面的平方根，以及各種鳥的體重的立方根。

試以 l 代表翼的長度， a 牠的面積， p 體重。我們能比較 l ， \sqrt{a} 以及 $\sqrt[3]{p}$

哈丁斯觀察各式的鳥，確定牠們的量度與重量，而我們得到下列的表：

我們要把我們用同一方法而得的表（見下表，）加入上表中。這一切的實驗都是用鎗打死的鳥，並且是在

種類名稱	重量 p	翼面 a	比率 $\frac{\sqrt{a}}{\sqrt[3]{p}}$
1 <i>Larus argentatus</i>	565.0	541	2.82
2 <i>Anas nyroca</i>	508.0	321	2.26
3 <i>Fulica atra</i>	495.0	262	2.05
4 <i>Anas crecca</i>	275.5	144	1.84
5 <i>Larus ridibundus</i>	197.0	331	3.13
6 <i>Máchetes pugnax</i>	190.0	164	2.23
7 <i>Rallus aquaticus</i>	170.5	101	1.81
8 <i>Turdus pilaris</i>	103.4	101	2.14
9 <i>Turdus merula</i>	88.8	106	2.31
10 <i>Sturnus vulgaris</i>	86.4	85	2.09
11 <i>Bombicilla garrula</i>	60.0	44	1.69
12 <i>Alauda arvensis</i>	32.2	75	2.69
13 <i>Parus major</i>	14.5	31	2.29
14 <i>Fringilla spinus</i>	10.1	25	2.33
15 <i>Parus caeruleus</i>	9.1	24	2.34

死後立即施行的。我們不像哈丁斯，我們用兩個翼面，這必需的改變，是我們的數目與哈丁斯的差異的主要原因。要比較這兩表，就必須用 $\sqrt{2}$ 乘哈氏從比率 $\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{p}}$ 所得的數目。

我們在不同種類的鳥中，見到體重與翼面的比率的變化，大部分是由於翼的形式。在事實上，擊拍空氣的翼面的最高點，是近於身體或近於肢的末端，頗為重要，這兩點有極不相同的速度。一個相等的翼面，在翼尖的抵抗力較大於翼末的。因此兩個翼面不相等的鳥，從空氣也許得到相等的抵抗力，倘使二者的配置是不同的。

在另一方面，胸肌的重量與鳥的體重是單比率的，雖則各種類對於飛翔所有的技能不同而有變化，但我們仍發見大半的鳥類中，這胸肌是占體重的六分之一。

種類名稱	重量 = P 克	翼面 = 2 a 平方厘米	比率 $\frac{\sqrt{2a}}{\sqrt[3]{P}}$
Vultur	1663.94	3131	4.722
Vultur cinereus	1335.00	3233	4.929
Falco tinnunculus	128.94	642	5.015
„ „ minor	147.36	546	4.424
Falco kobek	282.44	970	4.747
Falco sublatio(?)	509.62	1684	5.138
Falco palustris	208.76	1188	5.810
Falco milvus	620.14	1904	5.117
Strix passerina	122.80	394	3.993
„ „	128.94	442	4.162
Saxicola ananthe	56.05	125	2.922
Alauda cristata	36.80	202	4.273
Corvus cornix	374.54	1156	4.717
Upupa epops	49.12	329	4.952
Merops apiaster	18.30	117	4.105
Alcedo ispida	82.89	270	3.769
Alcedo afra(?)	85.96	288	3.845
Columba vinacea	112.00	292	3.545
Vanellus spinosus	159.64	636	4.649
Glareola	95.17	343	4.056
Buteo vulgaris	785.00	1651	4.405
Perdix cinerea	280.00	320	2.734
Sturnus vulgaris	78.00	262	3.326
Corvus pica	212.00	540	3.906
„ „	275.00	690	4.039
Hirundo urbica	18.00	120	4.189
Turdus merula	94.00	230	3.325

總之，每個在空中支持自己的動物，必發出與體重相等的功率，牠為此應有與這重量相等的肌肉質量；我們已見到，假使鳥類的肌肉所有的動作，總是同性質的，那這些鳥所執行的動作與功率，必與肌肉質量相等。

但是按線面積的平方而變化表面的翼，怎能移動按這些面積的立方體而變化的體重呢？

我們能證明大鳥的翼的擊拍若與小鳥的次數相等，那每擊拍必有一個隨鳥的大小而增加的速度，因空氣的抵抗力按翼的速度而增加其表面的原素，所以必大有利於大鳥在空中所引起的功率。

因此大鳥在空中要支持自己，不必像小鳥擊拍羽翼那麼多次。

至今觀察家還不能正確的測定鳥翼的擊拍次數，以確定這頻率是否恰恰與鳥的大小成爲反比率；但是我們很容易見到在大小不同的鳥中，擊拍羽翼的次數是按這比率而變化的。

第四章 鳥翼在飛翔中的運動

鳥翼的運動的頻率。上升與降落的相對期間。電的測定。肌肉收縮計的測定。

鳥翼在飛翔中的軌道。記錄運動的儀器的構造。實驗。翼尖的軌道的橢圓形。

前此對於鳥的形式的說明，以及由這形式而得的推定，讀者必見到有許多的假定要等待實驗的證明。我們爲這原因，而急要把使我們能分析其他運動形態的方法，來適用於鳥的飛翔。

鳥翼擊拍的頻率。使我們很容易測定蟲翅的擊拍頻率的圖表方法，在實驗鳥類時不能在相同的條件之下採用之。我們在飛翔的鳥與記錄儀器之間，必須傳送記號。我們在此所要討論的問題，就像我們對於地上運動所解決的相同，就是記錄腳加於地上的壓力的數目與其相對的期間。現在我們必須估計鳥翼對於空氣的擊衝的期間，以及在上升的動作中所占的時間。

電的方法。我們必須先採用電報機，這些實驗就是把一種儀器放在翼端，而這儀器在每個交替的運動中阻止或關閉其中的電路。在這電路上，安置一個在轉動機筒上繪寫的電磁。第九十

四圖指示這種的電報術用以研究白鴿的飛翔，同時也傳送另一種的記號，容後敘述。在這圖中，兩個傳導線是分開的。

機中的筆尖要繪寫一條波狀線，其升高與下降等於鳥翼的運動方向的每個變化，我們要使這鳥能自由自在的飛，所以用一條內有兩個傳導線的細而軟的電線，使鳥與這電報記錄針之間相通。傳導線的兩端縛着一個又小又輕的儀器，就像在空氣抵抗力之下的一個活門。翼上升時，這活門就開了，電流中斷，而所繪寫的線就上升。翼下降時，這活門就關了，同時電流關閉，而所繪寫的圖形就降落了。

這儀器適用於各種的鳥時，使我們能確定每個運動所特有的頻率。我們所能加以研究的種類頗少，所得的結果錄之於下：

每秒翼的旋轉

燕子.....13

野鴿..... 9

白鴿.....	8
雄鴿.....	5 $\frac{1}{2}$
鴿.....	5
鴿.....	3

翼的擊拍頻率，也隨鳥在開始飛時，全力的飛翔中或在飛完時而變化。我們知道有的鳥有時使牠們的翼十分平靜。牠們在空中滑過，而利用已得的速度。

翼的升降的相對期間，正與有的學者的意見相反，鳥翼降落的期間常比上升的較長。在翼面大而擊拍緩慢的鳥類中，這兩個期間的不相等很為顯明。因此在羽翼極狹的鴿類中，這些期間差不多是相等的，在白鴿中是不相等的，而在鴿類中相差更多了。下列是我們所得的結果：

我們想不到更難於測定所繪寫的線的方向改變時的那一時刻。在這筆尖先被吸而後放開的時期中，在煙黑的機筒轉動的速率使我們能測量所研究的急速運動時，有相當的期間。這時電報機所繪寫的線的彎曲變成曲線了，而各個正確的開始時刻是很難發現的。因此我們用電的方法

	翼的旋轉的總期間	上升	下降
鴨	一秒的百分之11 $\frac{2}{3}$	5	6 $\frac{2}{3}$
鵝	一秒的百分之12 $\frac{1}{2}$	4	8 $\frac{1}{2}$
鴈	一秒的百分之32 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$	20

所能執行的測量的正確程度，是有一點限制的；然而我們用這方法仍然能估計一個運動的期間，而得到尚為正確的結果。

肌肉收縮計的方法。我們已見到肌肉的收縮有一個膨脹

相伴而來，而在各形態中繼續

下去。肌肉的縮短，不論是速的

或緩的，無力的或有力的，必有

一個側面的膨脹，而有與速率

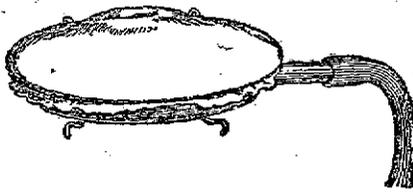
或強度相同的性質。在鳥翼的

每個降落，大胸肌必有膨脹的

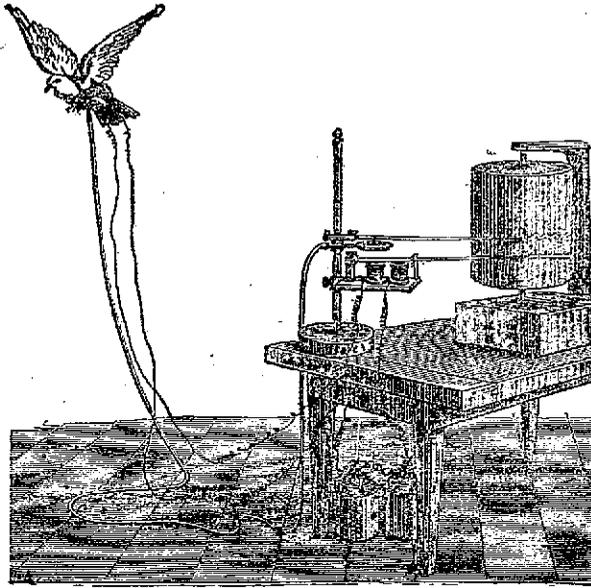
現象，而必須傳送到自記計。

為這目標，我們必須採用

我們在討論人類運動時測定



第九十三圖 用以考察鳥的胸肌的收縮的儀器，上凸面是用螺狀彈簧所支持的橡皮膜做的，這部分加於肌肉上，與身軀相連的下面有四小鈎，縛在這器中而使這儀器不至移位。



第九十四圖 用電與筋肉收縮計以測定鳥翼的運動頻率，以及其升降的相對期間的實驗。

相同現象所用的儀器。對於這儀器稍為改變，就使我們能使之對於大胸肌的膨脹與寬弛的交替形態，發出記號來。

鳥飛在空間的高度是十五呎平方與八呎，自記器安置在實驗室的中央，祇要有十二呎的橡皮管，就足以使鳥與儀器之間不斷的相通。

用一種身褱裝在白鴿的身上（見第九十四圖）。在這身褱下的儀器與大胸肌之間，有一個

小儀器，就是用以指示肌肉的膨脹，茲述其構造於下：

一個小金屬盤（見第九十三圖），中間是一個螺狀彈簧，而用橡皮膜封起來，這封關的盤與傳送空氣的管相通。

加於橡皮膜的每個壓力使之低下，而彈簧縮緊。於是空氣逐出盤外，而逃入管中。在這壓力停止時，空氣由於舉起膜的彈簧的伸縮性而回到儀器中，這樣就引起管中空氣的內外交流，而這運動把加於小盤的膜的壓力的記號，傳送到自記器。

這自記器是一個桿杆鼓，讀者在前面已見到。在肌肉收縮時這儀器繪寫一個上升的曲線，而在寬弛時繪寫一個下降的曲線。

第九十四圖指示這實驗的佈置，其中同時使用電報機與空氣的傳送。

該圖指示一隻白鴿，身上裝置一個身褸，其下有一個儀器表示胸肌的動作。傳送管停止在自記器中，而後者在一個轉動的機筒上繪寫。

在鴿翼的末端，有一個在翼升降時開關電流的儀器。電路的兩條線是分開的，而在電路之內

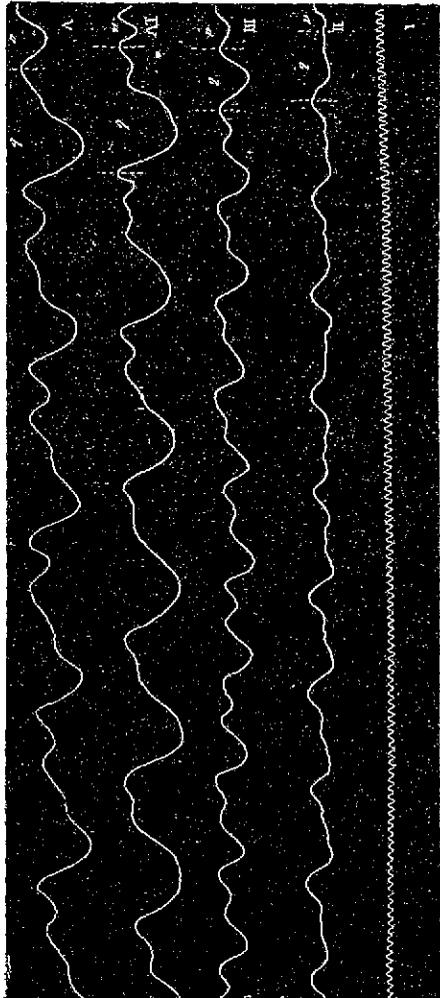
有本孫的電堆的兩個原素。有一個桿杆的電磁，記錄翼的運動的電報記號。

實驗。在實驗室的一端放走這鴿子，而鴿舍放在相反的一端，這鴿飛時自必找牠的翼，而在牠飛翔中，我們得到第九十五圖。

我們見到繪圖是隨所實驗的鳥類而變化的。然而我們在每個繪圖中，見到每個翼的旋轉所引起的 a 與 b 的運動的定時復現。

什麼引起這兩個肌肉的動作？我們很容易發見 a 的震動就是舉起翼的肌肉，而 b 就與降低翼的肌肉相符合。這能這樣加以證明：第一，同時收集（與肌肉的繪圖同時）電所傳送的翼的升降運動。這兩個繪圖並列時，就指示翼升高的時間與 a 震動的期間相合，而其降下的時間與震動 b 相合。

由此我們可見在鳥類的肌肉運動中，如何產生 a 與 b 的震動。在事實上，近於所實驗的鴿的胸部，並且近於胸骨的突出邊，有兩個明顯的肌肉層，在外的一層是由大胸肌所組成，就是翼的壓低筋。較內的一層是由中胸肌所組成，就是翼的提高筋，這肌肉的腹經過胸骨的叉形部的後面，而



第九一五圖 從各種類鳥在飛翔中所得的胸肌的肌肉收縮計的繪圖，第 I 線是用以測量每個肌肉運動的絕對期間的測驗計的音叉，這音叉每秒振動六十次。第 II 線是自鵝的肌肉的繪圖，這是由第九一四圖所描示的條件下而得的。第 III 線是野鴨的繪圖，第 IV 線是雜種的繪圖，第 V 線是普通鴉的繪圖。

與上膊骨的頭部相連。

這兩個重疊的肌肉，由對於加諸其上的儀器的膨脹而動作。翼的提高筋，在收縮時而膨脹，由於震動 a 而發出記號，而大胸肌由於 b 震動而表記翼的降落。

我們可以用一個極簡單的實驗，而證實說明的正確。解剖學指示我們提高翼的肌肉是狹的，祇遮掩壓低筋的最裏邊的部分，而處於胸骨的脊。因此我們若移置指示肌肉運動的小儀器，並且使之稍為向外，那這儀器要占據壓低筋未為提高筋所遮掩的部分，而繪圖祇表現一個簡單的震動，與第九十五圖中各曲線的 b 相符合。這明白指示我們所實驗的鳥類的肌肉運動繪圖中 a 與 b 的震動，恰恰與升降鳥翼的主要肌肉的動作相符合。但是我們不能太重視這些繪圖的形式，以推定肌肉運動的正確性質。在事實上，這些運動似乎是互相侵越的，所以翼的提高筋的寬弛在壓低筋開始動作時，大概尚未完畢。

我們從這些繪圖，祇希望得到這些結果，就是翼的旋轉的次數，這些運動的規律，以及這些運動的均等或不均等。

把這問題限於這些範圍之內，我們的實驗指示鳥翼的擊拍的振幅與頻率，在飛翔時是時時

刻刻不同的。鳥類出發時擊拍次數很少，但是有力得多，在二三擊拍之後，就得到一個差不多一定的律動，而在要停落時又失去這合律性了（見第九十六圖。）



第九十六圖 指鳥在十五度的飛翔中，羽翼的擊拍與振盪與類型的差異。在左端，我們見到開始擊拍的大運動，這轉回是幾擊動不十分強迫的繼續而得的，這繼續度我們能在小力的空中得到很多的運動。

鳥翼在飛翔中的軌道我們討論過的飛翔的機構學時，已見到基本的實驗就是指示我們翼尖在各旋轉中的方向的。我們可以說從這第一觀念，我們知道了自然的飛翔的機構學。

鳥類的飛翔也必有這同一的測定，但是卻不宜採用光的方法。在事實上，鳥翼的運動雖則急速得不能用眼鏡別，但卻能對我們的眼球內層予以連續的印象，以表示牠整個的方向。

至於我們前此所採用的圖表法及其記號的傳送，祇能供給在直線的運動的表現，例如肌肉

的收縮與延長，在走的動作中身體的縱橫振動等等。祇有合併這直線的運動與接受繪圖的燻黑的機筒面的均等進行，我們纔能得到運動在每刻所引起的速度的表現。

翼的動作在飛翔中，並非祇有交替的升高與降落。我們祇須仰望飛鳥，以確定鳥翼的每次擊拍也向前向後的。這雙重的動作必引起一個曲線，而有敘述的必要。

幾何學能指示每個平面形，就是畫在平面的每個圓形，能由於兩個直線運動的長方合併所繪成。柯尼所得的繪圖，是用魏史東的振動桿，此外李沙左（Lissajous）用發光筆反映於兩個在直線振動的鏡子，而得到的音絃的光形，是用兩個成直角的直線運動所繪成的平面形。

因此我們若同時傳送鳥翼所行使的升降運動，以及前後的運動，然後假定繪寫針能同時受到這直角的兩個運動的推進，那這筆尖在紙上就正確的繪寫鳥翼的各運動。

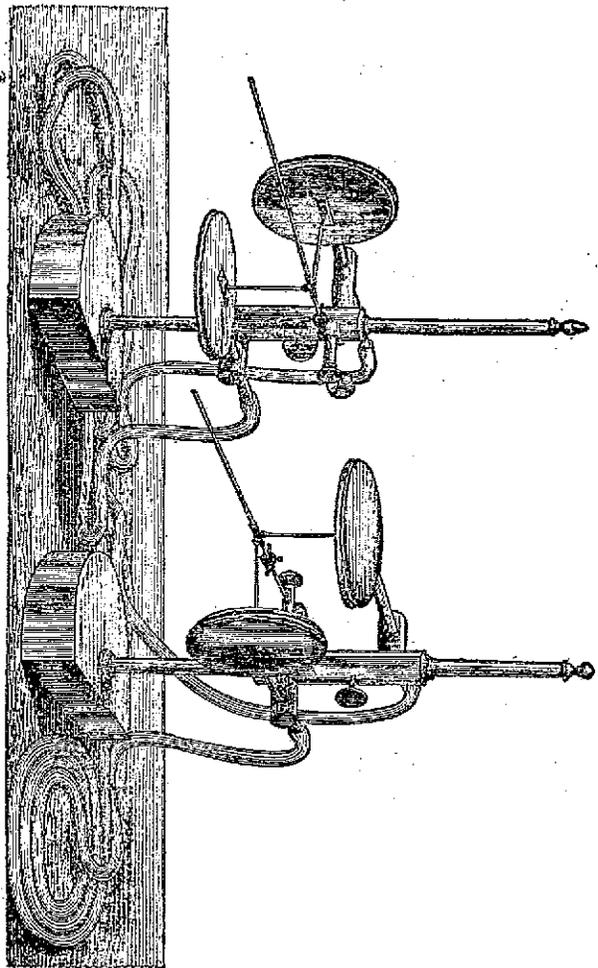
我們先設計構造一個傳送任何運動的儀器，而不注意於這機器能適應鳥身的方法。第九十七圖代表我們的第一實驗器，而爲了使讀者明瞭最後我們所採用的儀器的構造，所以對這儀器有說明的必要。

在兩個直線支柱的實質腳上，我們裝置兩個平行的橫臂。這兩臂是鉛質桿，而由於下述的儀器，各執行相同的運動，每個桿是架在一個 Carlin 樞紐上，就是能引起各種運動的普用樞紐。因此每個桿能向上向下，向左向右，而能用尖端繪寫以 Carlin 樞紐為頂點的錐體的基部。得實際上，這桿能隨實驗者的意思而執行任何種的運動。

我們必須使一個桿的運動傳送到另一個，並且在十或十五呎的距離之內。讀者已知道促成這結果的方法——採用空氣鼓與管。

在第九十七圖中左端的桿，是用一個縱金屬線縛着在下的鼓膜。在這桿的縱線運動中，時升時降的鼓膜要引起一個空氣流，而由一個長空氣管傳送到屬於右端的相同的鼓膜。這第二鼓是處於另一桿之上，並且是縛住的，要正確的傳送第一鼓（右端）的各縱線運動。這兩個桿的動作，因為兩鼓的相反地位而有相同的方向。

我們試假定我們降低第一桿，我們壓縮在其下的鼓膜，而引起一個空氣流，以提高第二鼓的膜，並且因此降低了第二桿。在另一方面，第一桿的升高，要引起一個內流的空氣，而提高鼓



第九十七圖 用以在空氣中運動，把另一種類的運動變換到螺旋槳的儀器。
 第四章 鳥翼在飛行中的運動

膜及第二桿杆。

我們用同一方法而傳送橫面的運動，我們在一個桿杆之右，另一個之左，安置一個鼓，其膜（處於縱面）在側面動作，這些運動是用一個特殊的管來傳送，如縱線運動的情形一般。

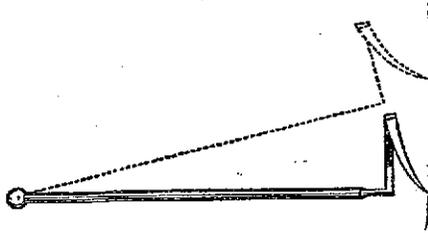
儀器這樣的構造，我們若用手指拿着一個桿杆的末端，而予以任何的動作，那我們就見到另一桿杆完全照樣的重覆一遍。

所有的差異，就是第二桿杆的運動振幅稍稍減少。這是因為每個管與鼓的組織中所包含的空氣，稍為受壓縮，所以未曾把所接到的運動完全傳送了。這缺點是很容易補救的，如果真有這情形，祇要予接受儀器以較大的敏感性，就是把 Cardan 樞紐移近傳送運動到第二儀器的桿杆的那一點。但是在我們要用繪圖記錄時，最好不要把各運動太擴大了，因為這樣我們增大了阻力，而減少所必須克服的力。

我們確定這儀器能引起任何運動的傳送之後，就設法在平面上繪寫這運動。用圖表法研究蟲翼的運動所發生的困難，在此又出現了；但是在這情形下卻不能祇有部分的繪圖，以避免這困

難。

第二桿杆的尖端在空間繪寫一個圓形，這圓形除了一點之外，不能與繪寫面相接觸。因此我們必須把這圖形的投影記錄在平面之上，並且使桿杆能隨意延長或縮短，以與燻黑的玻璃不斷



第九十八圖 在燻黑的玻璃上繪寫的能伸縮的筆尖。

的相接觸。我們用彈簧作爲筆尖以得到這結果。

第九十八圖指示上述的筆尖，在桿杆的末端。這筆尖下部寬，以抵抗在阻力的影響下任何側偏的趨勢。這下部裝置一個直的鋸片，而後者的下部是與桿杆的末端相連。這樣作爲筆尖的彈簧的尖端，是在桿杆之前，而記錄這桿杆的各運動。我們試假定這桿杆上升，而處於第九十八圖中虛線所指示的地位。這桿杆經過這空間時，就繪成一個弧形，而其末端不在先前的同一平面上，但是彈簧的伸縮性，必使這筆尖較爲向前，因此這桿杆仍然與所繪寫的平面相接觸。這樣，桿杆隨所需而延長或縮短，而其尖端總是壓着平面。接受繪寫的平面，是光滑的玻璃，

而作為筆尖的彈簧十分柔軟，所以加於玻璃上的彈性壓力，祇稍為加以磨擦。

這儀器這樣配置，必有一個證實的程序，以確定這些運動是否正確的傳送與記錄下來。

為這目標，使第九十七圖中兩個桿杆都有相同的筆尖。我們把兩個的尖端放在同一片的燻黑玻璃上，而用手指使一個桿杆以繪寫任何的圖形，例如簽名。另一桿杆必繪寫同一的圖形，復寫同一的簽名。

在大體上，這傳送，在兩方向不是一樣的容易。我們見到在傳送的圖形中，有小小的缺點，在高度與寬度方面稍為延長，這缺點往往能加以更正。這是由於其中有一鼓的膜較為伸長，而不易屈服。我們用不同的試驗，能予兩個膜以相同的敏感性；我們發見第一桿杆的繪圖與第二桿杆的相同時，就證實了這一點。

用圖表以測定鳥翼的軌道的實驗。下列是使我們能用這傳送法以研究飛鳥的翼的各運動的修改點。

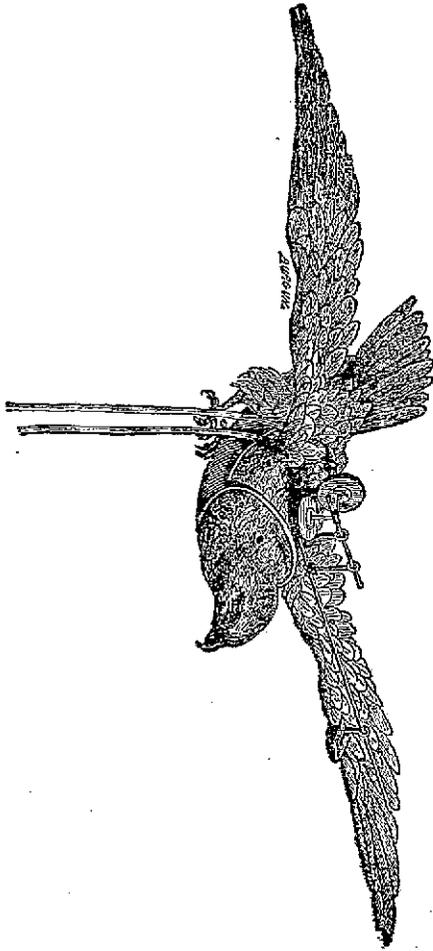
這儀器既是很重，所以我們選擇大鳥來擔任。這些實驗中所用的是強壯而成熟的鷗。用一種

身帶而使翼與腿不受束縛之後，把一片輕木片安置在背上，而放儀器於木片之上。

我們爲要使桿杆正確的執行翼的相同運動，就必把這桿杆的 *Carta* 樞紐與上膊骨的關節點相接觸。然而桿杆之旁的鼓妨礙這直接的接觸，因此我們不得不採用平行四邊形，以傳送一個長桿的各運動於桿杆，而這長桿的動作中心極近於這鳥翼的關節點。我們爲得到桿的運動與鵬翼的運動之間的完全符合，在翼的外邊（就是在大拇指的掌骨之上）裝置一個極緊的螺旋鉸，這鉸有一環，其中有條鋼桿，已述於前。

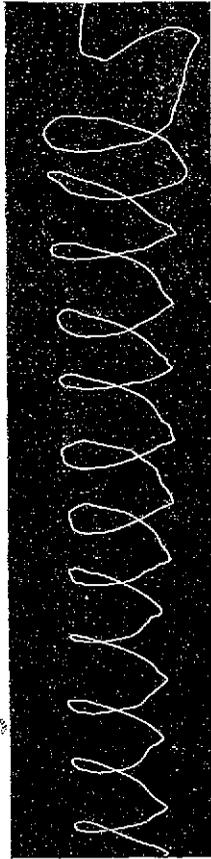
第九十九圖指示帶了上述的儀器而飛的鵬，在其下有兩個傳送管，與自記器相連。

我們經過了許多次的無結果的嘗試與儀器構造的修改，這儀器太不結實，差不多每次飛時總是破壞了，最後我們纔得到滿意的結果。在這鳥的整個飛翔中，自記的桿杆繪成一個橢圓形，而畫在向前從右移動到左的圖板上，成爲第一〇〇圖。我們要明瞭這圖形，就必想像這鳥從左飛到右（如圖的看法），而把左翼的末端磨擦一個燻黑的牆。這翼在這些條件下所繪成的圖形與第一〇〇圖相同。這曲線是一種橢圓形，而由於接受這繪圖的板的向前移動而展開來。除了由於儀



第九十九圖 鳥帶了一個儀器，以便記錄其發出記錄，以指示翼尖所繪成的各運動。

器的不完善而引起線的顫動之外，這軌道可與在同一條件下魏史東桿（合於第八音而發出橢圓形的振動）所繪成的圓形相比較。

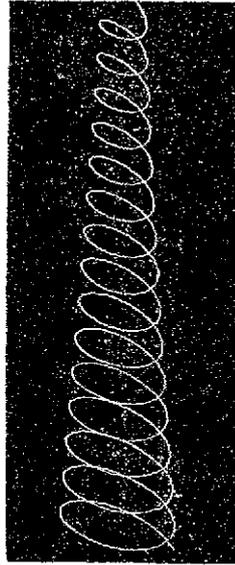


第一〇〇圖 鳥翼的尖端所繪成的橢圓形。

第一〇一圖就說明這種的繪圖。

測定速度不同的鳥翼的旋轉軌道，頗為重要，所以我們決心用不同的方法以證實這橢圓形的實在性。我們所有的實驗的結果都各相合，牠們都指示不同種類的鳥，用翼繪成一個橢圓的軌道。

埃斯德諾已由他的實驗測定這軌道是真有的。他甚至畫出這曲線，但他以為這橢圓形的較大軸線是向下與向後的，而與我們所得的結果完全相反。



第一〇一圖 羅史更赫(含斯莫入音)所繪成的螺旋形,以及旋轉動的圓筒上的繪圖。

我們也指出鳥翼的擊拍,從開首到終了,在振幅方面是不相等的(見第一〇〇圖)。這個變化與我們對於第九十六圖所說的相合,這指示在開首飛時,鳥翼的擊拍較為有力。在事實上,就是在這時候必引起最大的功率,以從地上升高。此後祇須維持所得的高度。

第五章 鳥的翼面在軌道的各點上的變化

對於鳥翼的軌道的新測定。儀器的說明。繩與懸掛鳥的儀器的牽引所促成的運動的傳達。對於白鴿的飛翔的實驗曲線的分析。說明用以指示翼面在飛翔中的變化的儀器。這些翼面的變化與翼的其他運動的關係。

對於鳥翼的軌道的新測定

對於翼面的變化以及其軌道的各形態，同時加以分析，必引起很大的困難，倘使我們尚未發見這儀器的新配置，以使我們同時能考察無數的不同的運動。

使方法簡單，就是用繩子把任何點的運動傳送到實驗的儀器，而這儀器再用普通方法送到自記器。

儀器的說明 第一〇二圖有兩個相連的桿杆數，如第二十一圖所示的相同。

桿杆L屬於實驗的儀器，而所研究的運動就影響於其上。在這第一架儀器的架上，我們放一個彎曲的線，而在末端有一條橡皮繩F通到桿杆L。這同一的桿杆，懸着一條曲折的絲繩CC，掛

了一隻鉛球。

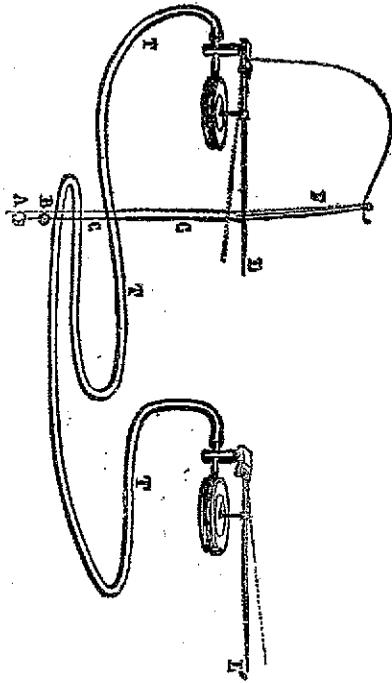
我們試假定這球是在最低地位——A點，桿杆L占據虛線所指示的地位，在自記器中，空氣被逐出而舉高繪寫這運動的桿杆L。

現在我們試將鉛球舉到B的地位，橡皮繩的伸縮性要使桿杆舉高。因此這球交替的受兩個力的動作，有時由於絲繩所行使的牽引，使之降低。有時則由於橡皮的收縮，而在這牽引力停止時立即反動。這桿杆能正確的追隨使之降低的繩端的一切運動。

在機筒上繪寫所傳送的各運動的桿杆，在與C C繩相反的方向移動，所得的繪圖因之也是相反的，假使必要在相同方向得到，那就要轉變自記鼓，以使鼓膜向下。（註）

（註）有多少運動就需要多少儀器。但是三個相連的桿杆，總是以確定空間中一點的各運動，因為這點的每個地位，在用成爲直角的三軸線來測定時就表明了。

用兩個這種的儀器，其中一個受縛着鳥翼的繩子縱牽引的影響，另一個受縛着這翼的第二條繩子的橫牽引力的影響，我們就能證實予以鳥翼的軌道的實驗，並且得到很正確的說明鳥翼



第一〇二圖 用一條導引繩以紀錄前後的運動。

各運動的曲線。

但是這都不是我們想得的。我們可以使鳥帶了上述的儀器，並且用管使之與自記計相通，如第九十九圖的實驗所示。但是我們在設法使飛翔的各運動的類別完全時，我們也要發現一個能

適用於活鳥，以及用以表現空中運動的各種儀器的計劃。

在這設計中，我們必須模仿自然。我們對於太慢的運動必予以較大的速率，而使太快的變得較慢，直到這些運動的性質及機械效能與鳥的完全相同。

這不斷的比較，使我們不得不處於新的條件之下。前此我們的分析研究都是對於自由自在的飛鳥，我們既然決不能用機械方法以仿照飛翔，那就不能對於人造的機器不加以控制；在實驗時非破壞不可。

鳥的運動與仿造機器的運動之比較，並不需求在自由飛翔之下促成之。倘使這鳥雖則在運動受約束，但仍像飛翔時撲擊羽翼，那我們就能研究這些肌肉動作，關於力，範圍以及期間的各特性。一隻用繩懸着的鳥，而使之仍然撲擊羽翼，就能與一個用同一方法處置的人造儀器相比較。

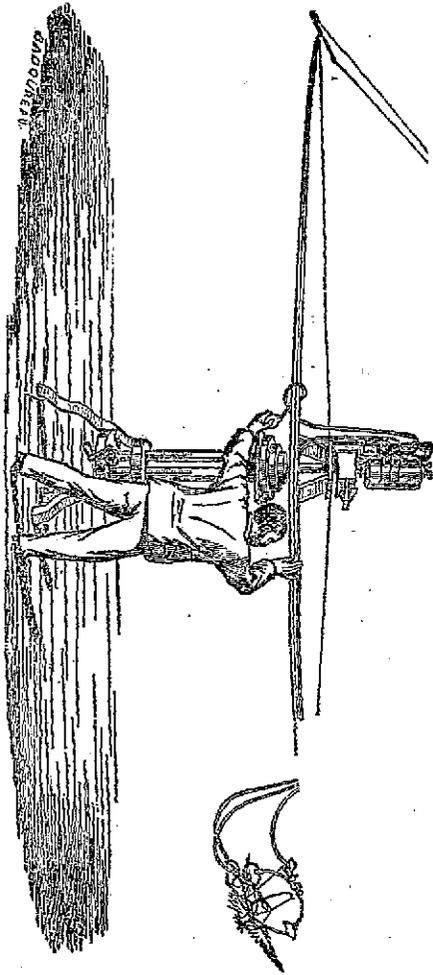
我們曾試用一個較為不完善的懸掛法，而使鳥差不多能像平常那麼飛；並且同時使儀器也飛翔，而不怕使之跌落，倘使所引起的運動不足以支持這些儀器於空中。茲敘述這懸掛的儀器於下。

有一個架子，直徑大約六七呎，鳥在其中不斷的移動，這樣使我們能考察長期間的圓形飛翔。我們使這儀器的直徑很長，而其尚為連續的曲線，對於鳥所引起的運動的性質，應不大加改變。鳥裝在轉動於中心軸線之上的長臂末端時，應能自由自在的經過縱振動的各運動。我們就要見到一隻鳥對於羽翼的旋轉，在縱面經過一個兩倍的振動。

架子的配置。所要遵行的條件述之於下：第一，這儀器的大移動性，以使鳥在飛翔中可以祇有最小的抵抗力要克服；然後這儀器的臂的完全強直，以防止其特有的任何振動，因為這振動可使鳥所執行的各運動變得不自然。

第一〇三圖指示這儀器的配置概況。一個鋼軸（停在一一個實質而極重的軸穴上）放在照相桌的臺上。這桌子是用齒棒機構來升高的，以使實驗者在佈置他的儀器以適合這實驗之後，可使這臺升得很高，而使這儀器能在他的頭部之上自由的轉動。

這所謂的架子，是一個用稍為彎曲的長樅木片所做成的弓。這弓的繩是一條鐵線，而這線的中段是縛住一隻有一條中心軸通過的木籠。我們漸漸的增加重量於不懸着鳥的那隻臂，以使這



第一〇三圖 這儀器的原理極其，有一安自錫鑄者這儀器，同時有三個記號就懸在中央的自記計，實錄者亦乘類
變相與現時錄收其繪圖。

儀器的兩端均衡。

假使我們不這樣謹慎，那這儀器在轉動時，對於本身所倚靠的軸線，以及本身的基部，必予以

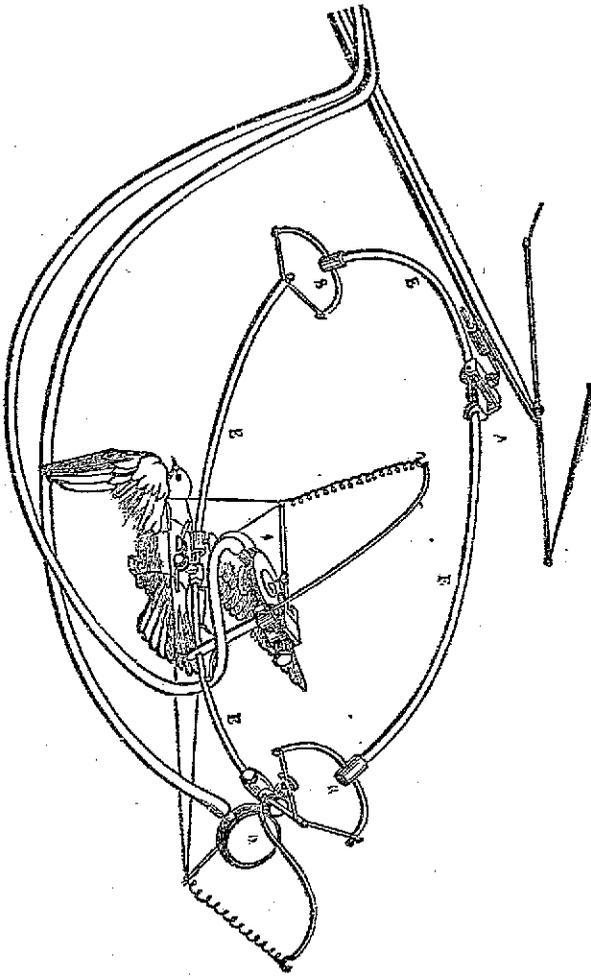
側面的各運動。

我們使鳥處於堅固的懸掛點，不但使之不引起縱振動，而且也使之不發生轉扭的各運動，所以在這儀器的每端放一片橫木，而這木片的兩端與直通天花板的繩子相連。在這點上是一個轉動的鉤，自由的與儀器同轉動。

懸掛鳥的儀器 第一〇四圖指示這懸掛的詳情，把鳥縛在儀器的臂上，同時使這鳥的運動受到最小的約束。

關於自記器 傳送管是安置在這儀器的臂上，這些管縛在這臂的全部，而終止在一個自記計（有三個在轉動機筒上繪寫的桿杆鼓。）這儀器的轉動要使傳送管繞着軸線旋轉，假使這些管所趨向的自記計不加入全儀器的轉動。

我們在第一〇三圖中，見到這儀器的配置情形。機筒是直的安置在軸樞之上，而有三個桿杆在其上繪寫。這整個儀器是放在一個在中心軸上轉動的小檯上。此處我們的配置是盡人皆知的，就是同時在機筒上記錄幾個運動，因此重複管理這儀器所必有的預備手段（如繪寫針的正確



第一〇四圖 鳥在這種器的懸掛情形，金屬的圓筒形 B、B、B，能在軸方向自由自在地振動，由於微懸掛 A。橡皮支柱 S、S，使圓筒形的下部在軸方向振動。必懸掛儀器是裝在輪背上。桿杆放 (C) 接受要在軸方向所行的既均各運動。桿杆放 (B) 接受橫方向的各運動。重疊等等，也是沒用的了。

翼的各運動是非常迅速的，而祇能在轉動極速的機筒上記錄之。這實驗中所用的每秒半轉動一次。時間的短促，使我們祇能在我們所要考察的現象表現的那一刻加以繪寫，不論這現象是最快的飛翔，速度的漸漸延緩或在出發時的用力。假使這三個桿杆不斷的磨擦機筒，那我們所得的祇是胡塗亂寫。所以這儀器必加以配置，以使桿杆的尖端祇在我們要記錄現象的那一刻，碰着機筒，而在機筒的一個或最多兩個轉動之後，停止這接觸，以避免繪圖的混亂。

我們爲此而採用對於走的實驗所有的配置法。

第一〇三圖指示實驗者要從白鴿收集繪圖的那一時刻。他觀察這鳥的飛翔，而等這飛翔變得勻稱時就壓緊橡皮球。桿杆立刻就接觸，而繪圖畫成了。在一秒半之後，他就停止壓縮，而彈簧把桿杆移開，繪圖就完了。

祇要稍爲練習，就能確定機筒旋轉的期間，並且把繪圖限於所必需的時間之內。

這長篇的敘述是必需的，因爲我們急要使儀器明白。這儀器因其雙重的功用，而成爲最重要的了。我們要表現鳥的飛翔的各運動時，不但爲這些研究的分析部分，並且爲綜合的部分而採用之。

鳥翼的軌道的新測定。這實驗所用的是鴿子。這鴿是屬於所謂的羅馬鴿的一種雄鴿，極強壯有力，並且慣於飛翔。（註）第一〇四圖指示我們研究這鴿的各運動所用的儀器的配置。

（註）這一點是頗爲重要的，因爲大部分在鴿舍中的鴿對於飛翔沒有經驗，而於我們是無用的。

我們所特別注意的是上膊骨，以得到翼在空間中的各運動。我們爲此而把一條線繞着這骨，而在未縛住的一端形成在翼外的一個連結固定點，以與影響於實驗鼓的其他線相連。

在勻稱的飛翔中兩翼是十分均衡的，我們使兩條線平行的從翼經過，而集中於實驗的鼓。因此用以發出翼的升降記號的第1.鼓，接受兩條線，每條從上膊骨出來，大約在肩部的關節點之外三釐或一又五分之一英寸。這兩條線舉高而又集中，並且是與第1.桿杆的尖端相連。同時從同一

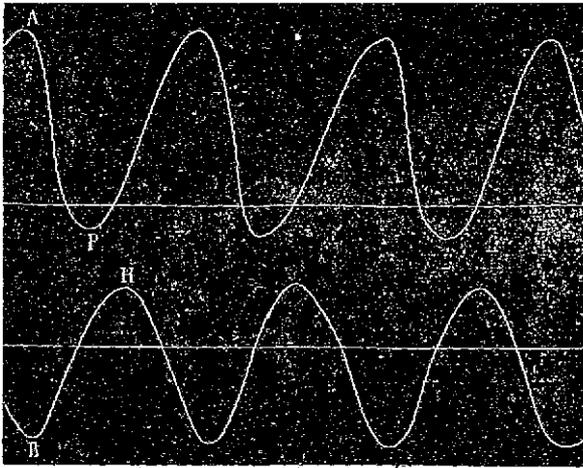
點上有一條橡皮繩出來，（註）作為副彈簧之用，並且直升到在上面的鈎。

（註）在第一〇四圖中，有一個螺旋彈簧管代這橡皮繩。

我們在第一〇二圖中，已見到在這些條件之下，實驗鼓的桿杆怎樣接受鳥的上膊骨所執行的升降運動。

還有兩條線，各連着鴿的每翼的上膊部，而從第1鼓的線所縛住的同一點出發，也集中起來（向後轉），而到第2鼓的桿杆。這個鼓接受翼在前後方向所執行的各運動。這兩個鼓用氣管而傳送記號到處於儀器中央的自記計。

實驗 我們確定用以繪寫的兩個桿杆的尖端，是處於同一的縱線上之後，這白鴿就可以飛了。這鳥表演飛翔的各運動，而不久就帶着儀器而迅速的飛。站在儀器中央的實驗者，祇要對於這儀器的轉動追隨幾步。在這時間中他的手拿着橡皮球，而祇須加以壓縮，以使兩個桿杆的尖端碰着燻黑的紙而開始繪寫。等到飛翔穩定，並且看上去很滿意時，他立刻就壓縮這球，而得到第一〇五圖。



第一〇五圖 鴿翼的運動的繪圖，上線 AP 指示前後的運動，下線 HB 指示上下的運動。

三〇

繪圖的解釋。這些曲線是從左至右，如普通的文字讀法一般。上線是鳥的上膊部在前後運動中所繪成的。這些運動的方向，用 A 與 P 來指示，就是表明這些曲線的各上端，與翼達到軌道中最前部分的時間相符合。在另一方面，這些曲線的下端指示翼達到牠的運動的後部的時刻。

在以前的實驗中，切斷這曲線的橫線，是在鳥翼不動，而可以認為是不向前也不向後的橫展的那一刻，由桿杆的尖端所繪成的。因此這線代表翼在前後方

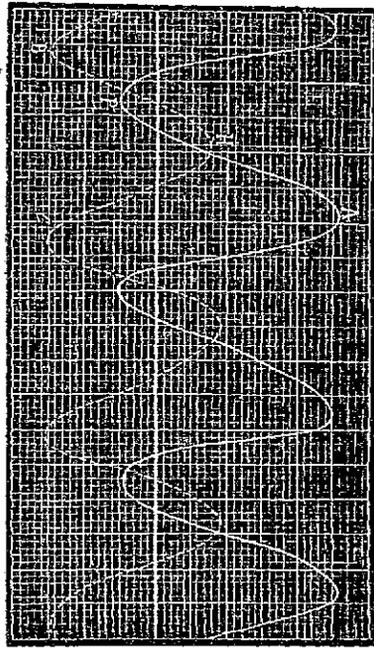
向的各運動標度的零點。這曲線也指示我們鴿翼特別趨向上端（就是A點）換言之，向前運動超過向後的。

這同一的說明必適用於下曲線H，就是表現鴿翼向上與向下運動的。

我們要確定鴿翼的軌道與前述的鵝的情形是相同的，所以繪成這翼在一旋轉中的全部曲線，而利用第一〇五圖的兩個部分的曲線以達到這目標。

茲將構成這繪圖的方法述之於下：

我們爲使測量這些曲線的各點的地位較爲容易起見，而把這些曲線抄在一張按裡與耗而分割的紙上。我們用實線繪寫二曲線之一在前後方向的各運動，而其軌道用A P來指示。我們又用虛線代表上下運動的曲線，而以H B來指示。我們把這兩個繪圖重疊起來，以便各個的消盡線相符合，我們也留心保持這兩條曲線的相等點的縱重疊，因此我們可以確定在任何縱線切斷這兩條曲線的地點上，這交叉與鳥的上膊所占據的地點（在兩翼面或爲直角的那一刻）相符合。虛線的交叉點（由於從這點到橫坐標的軸線的縱坐標的長度）表現這時翼在橫面所占據的

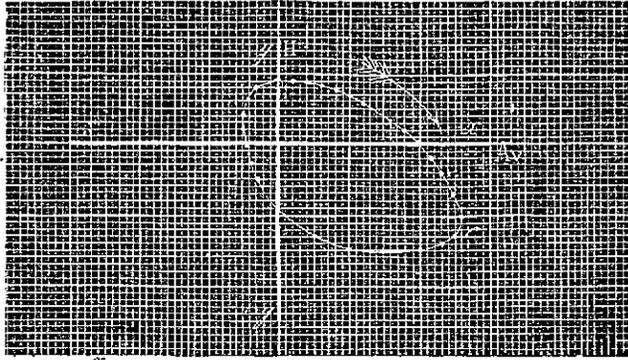


第一〇六圖 把前圖的曲線加在用標點另的紙上，從橫坐標的軸線起算，這兩條曲線有一個共同的方向。

地位。實線的交叉點，表示翼在縱面所占的地位。

對於鳥翼的軌道的這個測定，見於第一〇七圖，該軌道是用圖中的連續點所構成的。

假定有兩條線 x 、 x' ，形成橫坐標的軸線，而 y 、 y' 形成縱坐標。我們試假定一切在零點之上，換



第一〇七圖 用前圖曲線所構成的圖形，有一條箭指示運動的方向，各點的分開，表示翼在軌道中各部分的運動速率。

言之，等於向前運動的，應指向 Y 線之右，反之，在令曲線上處於零點之下的，要指向 Y 軸線之左。這軸線的地位，要用耗度（在平行線方面）來計算的。

在另一方面，對於虛線的曲線（就是表示翼的向上運動）的各測量，必指示同位的高度，而這高度是在 x 線之上或之下計算的，就是按在高度的曲線上各點從零點線移上或移下的纏數。

我們試在新曲線上，以 O 點為出發點（見第一〇七圖），就是在翼達到前限度之一的那一時刻在虛線上指定的。

按纏的標度，這點指示我們翼是降低橫線之下十三格。我們試遵循經過 O 點的縱線，直到該線與在

前後方向的運動曲線相遇，這縱線與曲線的交叉，指示我們翼在這時已前進二十六格。因此在新曲線上，a點應記在c的地位；這就在x軸線之下第十三格的交叉點，而在y軸線之右二十六格，按我們所假定的，這與向前方向的二十六格相符合。

我們要在這曲線上測定第二點，試再向右移一彈格，我們想像前次一樣，發見縱線在這點上與兩條曲線相交，並且我們在這新曲線上測定了第二點。

用這法而得的一串連續點，形成指示鳥翼的軌道的曲線，箭記號就指示這運動的方向。這樣構成了這全圖之後，我們見到這曲線在向下向前之後，升高而又回到原位。

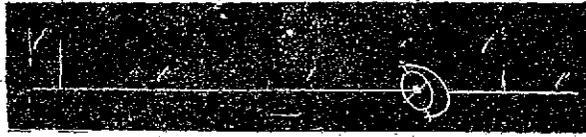
用這圖形比較我們用另一儀器實驗另一種鳥所得的繪圖（第一〇〇圖），並且考察翼的另一部分的運動，我們就要見到兩個曲線之間的十分相像，這指示鳥類在飛翔中行使的各運動差不多是相同的。在事實上，各個的翼骨繪成一種不正的橢圓形，而其較大的軸線向下與向前傾斜。這測定是極重要的，所以我們不得不詳述得到這些結果的各實驗。

關於翼面的變化

我們在第一章中，已見到蟲翅在空氣的抵抗力之下，必受扭轉，並且翼面的斜度時刻在變化的。這些完全被動的運動，構成昆蟲飛翔的機構的要素。這翅在交替的各運動中，影響於空氣的抵抗力，而由此得到一個由大翅脈旁行使於膜的力，以支持這昆蟲而使之前進。鳥翼的構造，並不引起相同的機構學。鳥翼在上升時對於空氣不予以抵抗力，因為互相覆掩的羽毛必展開而使之通過。因此翼的低下是鳥在飛翔中的唯一形態，而與昆蟲的稍為相似。除此之外，鳥翼的尖端所繪成的曲線與昆蟲的差異，足以證明二者的機構條件是十分不同的。

用實驗測定翼面在旋轉的每個形態上的不同，是必要的。在事實上，我們估計空氣在飛翔的每刻所給予的抵抗力，必須知道這抵抗力的兩個要素：第一，翼面擊拍空氣的角度，第二，降低這翼面的速度。最容易得到的是第二事實，我們能從代表在每刻上翼的地位的曲線，化成如第一〇七圖的曲線。但是所有的困難，是得到翼面在飛翔中的變化形態，我們為此不得不採用下列的機構學。

在第九十九圖中，我們見到一個桿與 *Cardan* 通用樞紐相連，而這桿的轉動中心是近於肩



第一〇八圖 用以考察翼的扭轉的儀器的理想圖形。

胛上膊的關節點，我們能使這桿正確的表現翼的圓形運動。但是這通用樞紐雖則服從給予桿的每種轉旋的運動，但是對於這桿的軸線並不引起任何的扭轉運動。

試以第一〇八圖作為這種的儀器：我們對於 t 桿能予以在縱橫方向的每種運動，這桿要遵從牠所接受的一切衡量。但是我們若拿着這桿的末端（近於在直線上的 l 桿杆）並且對於這桿杆予以扭轉的運動，好像我們轉動一個螺旋似的，那這通用樞紐不使這運動發生，並且這桿抵抗加於其上的衡量。我們試假定在這通用樞紐之後，而在 t 桿的延長部分上，另有一個圓筒狀的桿 p ，在管中轉動；這桿要在拿着 l 桿杆的手所行使的扭轉之下轉動，並且這桿 p 若移動在直角上的 l 桿杆，而處於與 l 相同的平面上，那我們就見到這些桿杆是互相符合的，並且第一桿杆所有的翼面的變化，必傳送到第二桿杆。

在這些條件之下，我們若使 l 桿杆表記翼面在旋轉的各形態中所受到的變化，那這些變化就通到 l 桿杆，而這桿杆又影響於實驗的儀器，並且用繪圖形式而傳送記號。這正是我們在實驗中所採用的方法。 l 桿杆是放在鳥翼之上，而且是處橫線的地位。 l 桿杆也是橫的，是用一條線縛住在上的實驗鼓的桿杆，而用與前章中各實驗相同的配置法。

我們使翼面振動，以使其上面轉後時，所記的曲線就降低了。反之，我們使翼轉動以使其上面向上時，這曲線就升高了。

但是仍然有一個困難。我們不能使 l 桿杆固定在 t t 桿上的任何點上，同時也不能使之在鳥翼的一點上固定不動。在事實上，普用樞紐的運動中心與翼的關節點的不相同，因此在縱線運動中這桿滑到翼上。所以桿杆 l 裝在羽毛時，必須自由自在的在長度方面滑過這桿，但是在扭轉的形式之下，應使之受到鳥翼傳送來的各斜度的變化。我們從第一〇九圖見到促成這結果的方法。

試以 t t 桿遵循鳥所執行的一切圓形運動。這桿中有深的縱凹線，而使其截面像星的形狀。



第一〇九圖 用以實驗鳥翼的運動與其翼面的變化的儀器的實際配置法。

這桿在加於其外面的管中自由的滑動。但是在管的末端之一，有一個金屬的滑動鑄物，而其中部像星形的凹進去，這桿就由此經過而其凹線在這星形洞中滑動。然後 I 桿杆與這管接合，並且能隨之在桿的任何點上動作，以使飛翔的各運動完全自由；同時不予這桿以扭轉的運動，就不能引起翼面的變化。

經過幾次實驗之後，對於這儀器有加以改良的必要。因此 I 桿杆因為羽毛在飛翔中的移置而有扭曲的趨勢，就代以一個有三個移動的桿杆 b b b 的桿子（見第一〇九圖），這三個桿杆在同面的共同中心點上轉動，就像一把扇的葉片。這三葉片的末端是一個鉤子。我們把滑動管接連鳥的這假翼之後，每個葉片的末端都縛住翼的長羽毛。這用橡皮做的綁帶有極好的結果。

第一〇九圖中 I 桿杆，因其不均等的動作，也有缺點的。我們代

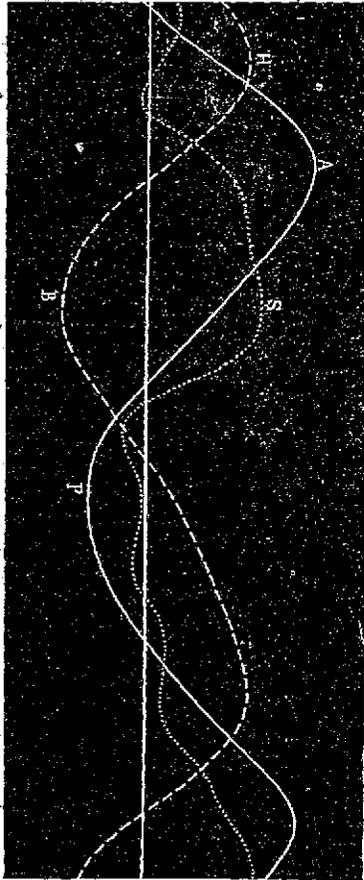
以一個短半徑的滑輪，放在普用樞紐之後延長的桿上。傳送扭轉動作於這桿的細繩 r ，經過這滑輪。這樣從桿的扭轉而引起的滑輪的轉動，總是把這扭轉正確的傳送到實驗的桿杆。

我們將結束關於用以傳送鳥翼的升降記號的儀器的長篇敘述之前，祇要提出一句，就是處於 t 桿杆的基部的一片，是用以傳送兩個繩的縱橫運動。▽繩把縱的運動傳送到實驗鼓的桿杆。⊥繩把橫的運動（就是在前後方向的）傳送到另一個儀器。

實驗 這儀器所用的鵬，是縛在器上而使之飛翔，我們同時得到第一一〇圖中的三個曲線，我們有了這三個材料，不但能構成鳥翼的軌道，並且也能形成翼面在軌道中各點上的一串斜度。實線的曲線與翼在前後方向的各運動相符合。A點以及與之相同的各點，與翼的極前地位相合，而P點等於極後的地位。用間斷的筆畫所繪成的曲線，指示翼在空間中的相對高度，B點與翼的最高度相符合，而B點與其最低度相符合。

這兩條曲線使我們能用這些點，而構成一個封閉的曲線，以代表鵬翼的軌道（第一一一圖。）（註）我們就藉這軌道而測定翼面在其橢形軌道的每部分的斜度。

(註)這曲線並非總是封閉的，這祇是在飛翔非常不勻稱時的情形。



第一〇圖 同時的為翼翼的各運動，A.P. 曲線指示前後運動，H.B. 表示上下的運動，虛線指示翼對於翼面上應有的扭轉，曲線愈升出機體愈偏向軸線之上，就愈指示翼的前邊舉高了。

我們為此必參照第一一〇圖的虛線S，就是表現翼在各時刻上的扭轉。這曲線的正負縱坐標，與翼及身體的軸線(註一)所形成的角度(註二)的三角切線相符合。

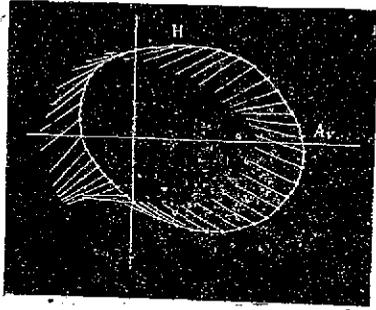
(註一) 我們不能絕對的證實這軸線是橫的。似乎這軸線是傾斜的，所以鳥的嘴脣爲向上。這軸線的斜度引起更正翼在旋轉的各點上的絕對斜度的必要。

(註二) 我們必須從所得的角度減去一個固定數量，就是鳥翼在休息中與水平線所成的三十度。

因此這些曲線使我們能在第一一圖中繪成一串的線，每線由於對橫軸線的斜度，而表現

翼面在同一地位上對於水平線的斜度。翼的運動方向是由上而前，由 Δ 至 Δv 。

第一一圖指示鳥翼在上升中採取一個傾斜的地位，以使之擋住空氣而受到最小的抵抗力。反之，在降落中這翼面的地位是相反的，所以翼的下面轉下而稍爲向後。因此在翼的降落時期中，翼由於其斜度而影響於空氣的抵抗力，而在提高鳥的身體時使之前進。我們也見到翼的斜度，在其升降的各形態中漸漸的變化。尤其是在降落的



第一一圖 翼面在飛行中對於鳥身的軸線(Δv)的斜度。

形態中，更易於見到空氣形成翼的軌道的勢力。在事實上，我們是在翼的降落速率得到最高度的那一刻，見到翼的前邊更有力的轉向上。

翼在達到降落的終了時，突然的改變牠的平面。這運動的說明是十分自然的。空氣的抵抗力一停止提高羽毛，這些羽毛由於其伸縮性，立刻就回到牠們在升高形態中所占據的原位了。

甚至形成翼的軌道的橢圓形，也能用空氣的抵抗力來說明。鳥的肌肉器也像昆蟲的，對於翼的軌道是無關的，而其所能引起的差不多就是升降的運動而已。但是在降落形態中，空氣的抵抗力提高所經過的曲線的前凸圓形，而其機構學我們已明白了，屬於上升形態的前凸圓形，也用空氣對於翼的下面的動作來說明（空氣把這翼面舉高時也使之向後。）我們必須從對於這些不同運動的人造表現法，而探求這理論的證明。

第六章 鳥翼的運動對於鳥身的反動力

翼的各運動的反動力。在各種類中的縱反動力，飛翔速率中橫反動力或變化，對於這兩個反動力的規律同時加以研究。鳥的飛翔的理論。翼的自動與被動的部分。對於鳥的飛翔機構學的構造。

我們在研究鳥的飛翔中，要遵從指導我們研究其他運動的同一計劃，就必測定鳥翼的每個運動對於鳥身的反響。

在飛翔中引起兩個顯明的影響：一是鳥抵抗其重量而支持於空中，一是鳥受制於使之從一處移到另一處的推進力。但是我們是否發見鳥支持於空中時，維持固定的高度？或是在縱面振動？這鳥由於擊拍羽翼的斷續影響，是否經過升降的運動，而我們不能看出其頻率與範圍嗎？再則鳥在前進的軌道中是否按不定的速率而前進嗎？我們在鳥翼的動作中，不要找到使其前進軌道有一個急動的一串衝量嗎？

這些問題用實驗來解答於下。

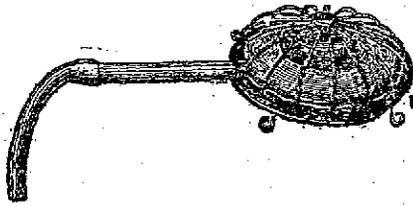
我們既有傳送運動的記號及用繪圖加以記錄的方法，那在這些運動有一個加於充滿空氣的鼓膜的壓力時，我們必須設法把所要研究的各運動變成這種的壓力。

鳥在橫面所能引起的振動，必使之加壓力於鼓膜，而這些壓力的強弱是按鳥的升降而定。對於橫面速率的變化，必採用這同一的實驗。

這問題對於縱反動力已由第二十八圖所示的儀器（討論地上運動時）解決了。這同一方法稍為加以改良，就能使我們用以確定在飛翔中是否引起縱線振動。

第一一二圖指示我們所採用的配置法。鉛質量是直接加於膜上。有個線架保護這儀器的上面，使之不受羽毛的磨擦，而不如預防，有時也許會影響於繪圖的形式。

我們相信這儀器正確的傳送與之相通的各運動之後，就用長管把牠與自記器連起來，而放在這時能飛的鳥背上。對於各種類的



第一一二圖 用以把鳥的一切縱線振動傳送到自記器的儀器。

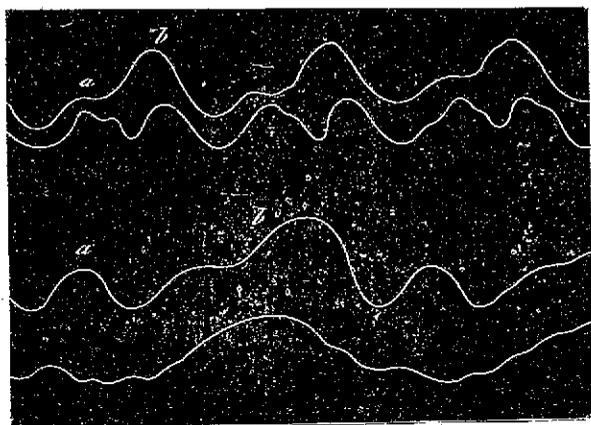
鳥如白鴿、野鴨、鵝、雄鷓與梟等所用的實驗，指示飛翔（在縱面的振動強度）有極不同的形式。

第一一三圖指示各種類的鳥所供給的繪圖。這一切的繪圖是在一個速率固定的轉動機筒上所收集的，而且每秒振動六十次的測時計的音叉，使我們能確定各種鳥在飛翔中振動的絕對與相對的期間。

我們從這圖形要發見縱振動的頻率與振幅，因種類的不同而大有變化。我們爲要更爲正確的確定每個運動的原因，所以同時記錄鳥的縱振動與翼的肌肉的動作，假使我們把這雙重的實驗行於兩個飛翔形態很不相同的鳥，如野鴨與鵝，那就得到第一一四圖。

鴨（上線）在翼每次升高時表現兩個有力的振動，就是在翼降落那一刻的 b ，以及在翼再升高那一刻的 a ，說明鳥在翼升高時期中的上升，似乎不得不提及兒童所玩的風箏。這鳥得到某速度之後，雙翼就形成斜面現於空中；這立即引起一個效果，而與把已得的速度變成上升力的蹺翹上升相同。鵝的飛翔也指示隨向上運動而來的上升。

測定飛翔速率的變化。我們必須解決的第二問題，就是關於飛翔速率中各形態的測定。我



第一一四圖 在上部分我們見到肌肉的繪圖以及縱振動(野鴨的), 在指示翼的升高的振動 a 之下, 就見到縱振動, 在 b (與翼的降落相合) 之下, 有另一振動, 在圖的下部分, 是蹠的繪圖, 等於翼的升高的振動 a, 不如鴨的那麼顯明。

我們可以用同一方法加以解決。假使上載一片鉛的鼓, 放在鳥背而使其鼓現於縱面——就是與飛翔的方向成爲直角, 那這儀器必不感覺縱振動, 而祇發出向後向前的振動記號。我們試轉動前面的鼓膜, 就可見到這鳥若加速其速度, 那鉛質量的慣性的延滯影響, 必引起加於鼓膜的壓力; 空氣必受壓縮, 而自記桿必升高。同時鳥的速度的延緩, 必由相反的動作而使這桿降低。

以前所述加於各種鳥類的實驗, 供給我們與縱振動相似的繪圖。

假使真如我們所假定的，就是在翼上升那一刻的縱振動，是由於速度變成升高，我們就有證實這假定的方法，就是同時記錄縱振動與速率的變化的繪圖。

因此我們同時記錄鵬在飛翔中兩個振動的規律，而發見翼的壓低形態同時引起牠的升高與橫速率的加速。這影響是降落時翼面的斜度的自然結果，我們從昆蟲的飛翔已知道這一點了。至於翼的升高，我們見到在隨之而來的小小上升之中，鳥的速率減少了。在事實上，速率變化的曲線在鳥升高時降低了。因此這是證實我們對於鳥的橫速率變成上升力所闡明的理論。所以降低翼由於這機構學，而產出引起縱面兩個振動的力。這直接引起同時而來的上升，並且間接的由於造出速率而準備這鳥的第二縱振動。

同時繪寫鳥的兩個振動規律，我們不分別表現鳥飛時的兩種振動，而用一條曲線表現鳥身在空間中前進時的各運動。

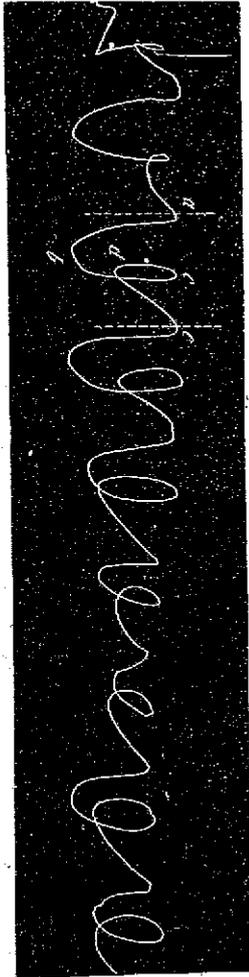
我們用以表現翼尖的各運動的方法，加以修改之後，可以供給我們所要研究的運動的兩個規律的同時繪圖。爲這目標，兩個相連的鼓，必與同一慣性質量相連。

我們試參考第九十七圖，其中兩個桿杆是相連的，並且由管子而互通，而這些管把一個桿杆所執行的一切運動傳送到另一桿杆。我們對第一桿杆予以任何運動時，見到第二桿杆在同一方向再表現出來。

試使每個桿杆載上一片鉛，而我們的手拿着這儀器的柱子。我們使之繪寫在與桿杆成爲直線的平面上任何運動。我們見到第2桿杆執行恰恰相反的各運動。在事實上，影響於鼓膜的原動力既然祇是鉛質量的慣性，而且這質量的各運動總是比給予儀器的較遲，那可見我們若提高這整個儀器，這質量（鉛）必使桿杆低下。同時我們若使這儀器降低，這質量就要使桿杆在上；而我們若使之向前，這慣性就使桿杆在後，依此類推。因此，第2桿杆祇經過與第1桿杆相同的各運動，而所形成的曲線必與給予儀器的運動，完全相反。假定了這一點之後，我們再進行實驗。我們爲此試採用第九十九圖中放在鵬背的儀器，我們把接受翼的各運動的桿杆移去，也把傳送這些運動於桿杆平行四邊形移開，我們祇留下縛住兩個鼓的桿杆，以及裝置這整理儀器於鵬背的機件。最後，我們把一片鉛裝在這桿杆上，而使這鳥飛。所得的繪圖見第一一五圖。對於這曲線的分析，剛看是

十分困難的，然而我們希望能說明其意義。

分析說明鵬的振動的曲線。這曲線是按與第一〇〇圖相同的方法，而繪寫於機筒之上，這說明翼尖的不同運動。圖中玻璃板從右移到左，而繪圖的看法卻必須由左至右。這鳥的頭是轉向左，而其飛翔的方向，有一箭號指示。



第一一五圖 同時繪寫鵬在飛翔中所執行的兩種振動

我們可以用從相同點通過的直線，把這圖分成幾部分，不論我們使這些直線從各圈的頂，或從曲線的頂降下，如 a 與 e 點。這些部分各包括相同的要素，除了在各點上的不相等的發展。目前

我們試略去這一點。

相同形式的定時復現，自必與翼的旋轉中同一形態的復現相符合。因此 a e 部分代表在同一个旋轉中鳥的不同運動。

我們記着在我們分析的曲線中，一切運動都是與鳥所真行使的相反。鳥的兩個縱振動，較大的與較小的，必用兩個曲線來代表，而其頂點必向下的。在大曲線 a b c 中很容易看出來的，而在小曲線 c d e 中也是如此。所以這鳥在 a 升到 b，而從 b 降到 c；再從 c 升到 d，而從 d 降到 e。但是這些振動互相侵越，而引起 c d 圈，c d e 振動轉向鳥的頭部，而把第一振動遮掩了一部分。既然曲線的方向與實際的運動相反，那這就證明這鳥在這時不是向後，就是延滯了飛翔的速率。

因此這圖形，使我們連想到以前指示我們鳥在空間中各運動的實驗。我們見到鳥在翼的每個旋轉中，升高兩次，而有兩個降落繼之，並且這些振動是不相等的：我們知道，較大的與翼的降低相符合，而較小的與其升高相符合。我們也見到鳥在翼舉高時的上升，同時其速度必延滯，這證明

以再上升爲藉於所得的速度的理論。

不但如此，這圖（第一一五）也指示鳥的各運動在飛翔的開首與結束是不相同的。我們已見到（第九十五圖與第一〇〇圖）翼的擊拍在出發時較大，我們在此處見到由於翼的降落在出發時所引起的振動，也是較大的（見圖中左端）。但是理論使我們能預見翼的上升的振動（由於鳥的速度而起），在飛翔的開首必很無力，因爲鳥在這時祇有很小的速率。這圖指示我們這是實在的情形，並且在飛翔的開首，翼的第二振動（形成圈的）祇是極小的。

因此我們現在有了主要的觀念，而能以確立飛翔的機械理論。

我們從這一切的實驗，可以推論鳥是在翼的下降中，得到支持與指導牠在空間中的一切原動力。

鳥的飛翔的理論。對於這題目，像其他的一樣，差不多都已說過了，所以我們不能希望從上述的各實驗得到一個完全新的理論。在包來里的著作中，我們見到關於飛翔機械學的第一個正確的觀念。他說翼就像一個楔形而影響於空氣。我們對於這位著名的生理學家的理想，再加發揚，

而說鳥翼是按斜面形而影響於空氣，以產出一個反動力以抗拒使鳥身向上向前的抵抗力。這理論由杜克漢所證實，而由李亞斯 (Lillie) 所完成。李氏注意到翼的變重動作，第一是翼的降低形態，舉高鳥而予以向前的推進力。第二是翼的上升，就如風箏的形狀，而支持鳥身直到其次的擊拍爲止。

我們憑藉發源於二百多年前的學說，頗受非難。我們寧願信奉一個舊的真理，而不要最新的錯誤。因此我們必須歸切於包來里的才能，而我們的貢獻祇是用實驗證明一個已被懷疑的真理。但是至此所說明的各理論，忽略了實驗所發現的許多重要部分，而我們要闡明於下。

飛翔中每部分所引起的翼面的變化形態，我們必須知道，以說明時時支持鳥身的反動力，有時由於加速飛翔的速率，有時由於延滯這速率。(註) 第一一一圖指示這翼面的變化。

(註) 我們請讀者注意第一一一圖所指示的斜度，是關於一條線，而這線在飛翔中大概不是橫的。在事實上，這線並不等於鳥身的軸線，因為這鳥的翼後有個身軀而懸掛於這儀器中。因此牠的重心是在懸掛點之前，而使牠的嘴稍爲向下。反之，在自由的飛翔中，鳥的軸線是橫的，或說稍爲向上。恢復這恰當的地位後，翼的地位必各有一個新的方向(見第一一一圖) 而改變的度數全體是相等的。在大體上，我們應見翼的下正總是對空氣，而祇有在這下面中纔能發見。

個抵抗點。這假定必須有新的實驗來證實，我們希望不久能從事這些實驗。

至於鳥身所受的反動力，實驗已明白加以證明，而使我們有估計這些反動力的絕對力的方法。我們已見到這些反動力按鳥的種類而差異。在翼面小的鳥類中，這些反動力是有力而急速；在翱翔的鳥類中，就較長而又較緩；而在後一類中，翼的再上升期中的反動力差不多完全不見了。

假使我們比較地上運動與鳥類的飛翔，而把交替與同時的各運動調和起來，我們可以在人類的走路與鳥類的飛翔之間，發見某種的相似點。在二者之中，有一個斷續的推進力使身體向前。人類像鳥一般，從他的肌力所得的動力，能量借用必需的功率，而把自己舉高起來。

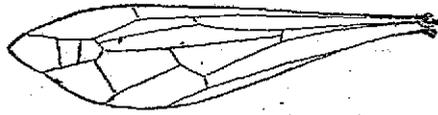
至於飛翔中所用的功率的估計，我們在未從事這估計之前，必須充分知道空氣給予各形式的表面的抵抗力，而這些形式有的在不同角度上傾斜，有的有各種的速度。我們祇知道翼的各運動，而這些運動在空氣中所遇到的抵抗力尚未加以測定。我們對於這题目的實驗仍在追求中，我們一旦有了這兩個要件，功率的測量，就從空氣在每刻上給予翼的抵抗力，乘所經過的距離而得到。這就是加於空氣的功率的測量。

鳥的橫前進，祇要發出與前面的空氣所給予的抵抗力相等的功量，乘所經過的距離。這抵抗力的一部分，就是用於翼的下面的一部分，是用以支持鳥的，而其動作我們已用兒童玩的風箏來比較。

我們看起來這動作對於鳥的飛翔是十分重要的。在事實上，關於空氣的抵抗力的各研究，其中有一是勞維里 (Louvrie) 的，這研究證明翼若與水平線成爲一個極小的角度，那這鳥從動力量所得的功率，差不多都用以支持牠了。按他的意見，六度三十分的角度最適宜於利用這能量。翼在空中滑過的重要，似乎也由於這器官（翼）的形式所證明。翼在擊拍空氣時，是自動的，而在滑過時是被動的，但在其各部分中，並不都適宜於這雙重的功用。

在翼面擊拍空氣時，必須迅速移動以得到抵抗力。因此翼旋轉與身體的連結點，而表示在同點（按與身體較近）上不均等與漸增的速度，所以在翼的連結點上是零點，而在未連着的一端速度必極大。

我們試想像蟲翅的基部與末端一樣大，這大小在最近身體的部分必無用，因為翅在這點上，



第一六圖 昆蟲的翅。



第一七圖 鳥翼的自動與被動的部分。

沒有擊拍空氣的充分速率。因此我們在大部分的昆蟲中，發見這翅在基部變成堅固的翅脈。膜的部分祇見於運動速率開首有用的部分上，而且這膜的闊度漸增，直到近於翼端為止。這就是自動的翅的形式（見第一一六圖）——就是祇用以擊拍空氣的。

反之，在鳥類中，翼的運動的形態中有一個是被動的，換言之，就是翼的下面，在鳥由於所得的速度而急速向前時，接受空氣的壓力。在這些條件之下，這整個的鳥都推進空間中。翼的各部分都是按同一的速率而移動，近於身體的部分也像其他部分一樣有用，而利用加於其上的空氣的動力（如加於風箏的一般）。

因此鳥翼的基部決不像蟲翅的變成堅硬的翅脈，而是

極寬的，並且右羽毛及翼構成一個大的表面，空氣在其下有力的壓榨，而極有利於支持鳥於空中。第一一七圖指示鳥翼的配置以及自動與被動的部分。

翼的內部（消失了充分的速度，）在降低時可認為是被動的部分；而其外部（就是擊拍空氣的，）是自動的部分。

翼尖由於極大的速度，必較其他部分遇到較大的空氣的抵抗力，這速度由其大羽毛的極大堅硬性而來的。

較近身體的翼部的羽毛愈柔軟，以及翼的基部或被動部分的細薄，就是減少速度的條件。

我們再說一句，就是風箏的效力在尖端擊着空氣時，必在基部產生的，所以鳥一得到速度，必因這斜面而不斷的減輕一部分的重量。

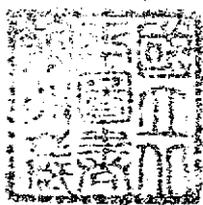
飛翔的機械學的模造。現在有許多的實驗家都努力從事這一點。我們對於飛翔的各種動作不斷的加以精細的分析，而在此能模仿這種的空中運動，雖則總有不完善的地方。我們在過去的兩年中曾經間斷的嘗試，已得到一點的成績。

我們的實驗室中有翼的儀器，適用於懸掛鳥的架子時，就有一個十分急速的轉動。但是這祇是一個很不完善的模造，而我們希望不久就加以改良。有一個年青而聰明的實驗家比勞（A. Peard）在這方面，已得到較好的成績。這空中運動的問題，從前是認為鳥托邦的設計（即空想的設計），而現在已達到真正的科學態度了。

這些實驗的計劃已完全畫出了：就是不斷的比較人造的飛翔儀器與真的鳥，而把二者受我們所述的分析法的支配。這儀器要時時加以改革，直到能正確的模仿這些運動為止，我們爲此而要從事許多新的實驗，現在正構造新的儀器，而不久就必完成的。

我們希望已證明關於鳥的飛翔的各運動的分析，沒有一點是不可能的。讀者必能信機構學總能模造一個運動，而這運動的性質會明白加以解釋的。

中華民國廿年六月廿八日



中華民國二十八年六月

中華民國二十八年一月初版

(52244B)

自然科學
小叢書
動物機構學 一冊

Animal Mechanism: A Treatise on
Terrestrial and Aerial
Locomotion

每冊實價國幣壹元肆角

外埠酌加運費

原著者 E. J. Marey

譯述者 黃澹哉

主編者 王雲五

發行人 王長沙

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

商務印書館

版權所有
翻印必究

五四三三上

六

