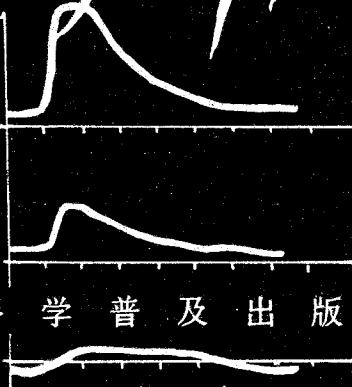
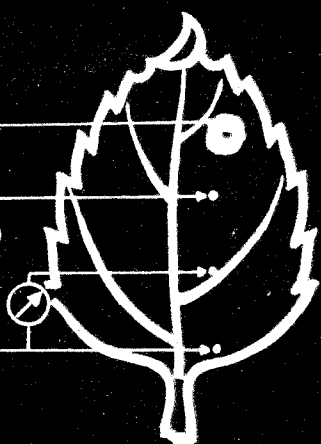


生物电之谜

解少柏 著



科学普及出版社

331
1
3

内 容 提 要

生物的器官、组织和细胞进行生命活动的过程中都会产生一定的电位变化,这种生物体内的电现象就是“生物电”。生物电现象自发现以来,经历了两千多年的历史,现已发展成一门重要的科学——电生理学。电生理学的研究不仅揭示了许多生命现象之谜,在理论方面做出了巨大贡献,而且在医学和仿生学等方面的实践中得到了日益广泛的应用。

本书介绍了生物电有趣的发展历史,别致的研究方法,有益的学术争论,广泛的应用途径以及这门既古老又年轻学科的诱人前景。

本书资料新颖,知识性强,图文并茂,引人入胜。既可作为生物学、医学和仿生学等专业人员的业务参考书,也是本适合中等文化程度读者阅读的科普读物。

生 物 电 之 谜

解少柏 著

责任编辑:战立克

封面设计:松美珍

*

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 $1/32$ 印张: 4 字数: 85 千字

1982 年 8 月第 1 版 1982 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—12,500 册 定价: 0.36 元

统一书号: 13051·1251 本社书号: 0330

目 录

一、从生物电控制的假手说起	1
二、会放电的鱼	4
古代的“电疗”	4
几种能放电的鱼	5
电鱼的“发电机”	7
有趣的战术	8
三、一场有价值的争论	10
偶然的发现	10
模拟性的实验	11
洞察到了症结	12
有力的回击	13
一场争论 两大成就	15
四、从一般观察到实验研究	17
难以排除的惰性	17
仍不理想的仪器	19
矛盾解决了	20
五、损伤电位	22
损伤电位的测定	22
时间、距离与电位递减	23
六、膜电位	26
理想的实验材料	27
比头发还细的微电极	28
七、动作电位	31

魔术般的实验	32
模拟与验证	33
奥秘在那里	35
锋电位和后电位	38
植物有动作电位吗	40
八、水火之争	42
局部电流学说	42
化学传导学说	46
九、跳跃式前进	48
大胆的设置	48
学说的形成	50
十、产生生物电的两个学说	52
变质学说	52
薄膜学说	54
分歧的焦点	57
十一、薄膜学说的危机和发展	59
致命的弱点	59
钠学说的创立	60
不朽的论据	62
最新的见解	64
十二、“递棒”与“接棒”	67
“接力赛”的特点	68
分型与结构	69
“递棒”与“接棒”的奥妙	72
十三、智慧之窗的变幻	75
视网膜的电变化	76
耳朵里的“麦克风”	78
鼻粘膜上的电反应	81
十四、心脏活动的电变化	83

绝妙的实验	83
历史的回顾	85
五个波段	86
它能提示我们些什么	87
十五、肌肉收缩的电现象	90
公认的看法	90
它使了多大劲儿	92
价值在哪里	94
十六、大脑皮层的电活动	96
被压抑了的发现	97
动人的往事	98
科学的假说	99
“同步”与“异步”	101
脑电的波型	102
脑电图的“神通”	105
医生手里的“探雷器”	107
十七、脑电的另一种形式	109
特点与型式	109
价值和意义	111
十八、生物电的最新应用与展望	114
在临床医学方面	114
在航空医学方面	116
在动物胚胎学方面	117
在植物生理学方面	118
在仿生学方面	119
结语	121

早在公元前六世纪，人类就发现了物体摩擦起电的现象。然而，这是存在于非生物界中的电现象。那么，在另外一个世界——生物界里，是不是也有电现象呢？

恩格斯在一百多年前曾经指出：“地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象”^①。自然，作为广泛生存于地球上的生物界，也一定会有电现象的。我们把这种存在于生物体的电现象，叫做“生物电”。

那么，生物电是怎么发现的？生物电有哪些存在形式？它们又是怎样产生的？生物电的应用价值有多大？今后将如何发展？关于这一系列的有趣问题，就让我们按照历史的顺序，一个一个说下去吧！

一、从生物电控制的假手说起

1958年，在法国召开过一次国际自动控制会议。在那次会议上，有一个没手的十五岁小男孩，神态自如地走上讲台，利用他自身产生的生物电控制的假手，拿起粉笔在黑板上写了“向会议的参加者致敬”一排大字。顿时，全体与会者勃然而起，个个瞠目相视，无不为之惊愕与赞叹。接着，人们互相议论，整个会场马上沸腾起来了。

利用生物电来控制假手的活动是怎么一回事呢？要知道这个问题的奥秘，还得先从大脑的机能谈起。

大脑，可以比方为指挥和协调身体各种活动的“操纵台”。它既能接受来自全身的传入信息，又可以发出信息通达全

① 《自然辩证法》 人民出版社出版，第95页。

身，而接受和发出信息的这种机能，都是靠生物电实现的。

原来，构成生物体的任何器官、组织和细胞，只要它们在活动，都可以产生一定的电位变化。这种电位变化，就是一种生物电。譬如，当我们想做某一个动作时，根据大脑发出的信息，就可以引起相应部分的神经、肌肉产生生物电。如果我们能把断肢肌肉产生的生物电流引导出来，再通过一定的仪器把电流放大，由它直接来操纵支配假手活动的机器，这就是利用生物电来控制假手活动的基本道理。

科学家们，首先根据上述原理设计和制造了一种靠生物电控制的“机器手”（图 1）。图 1 所示的那个人，手臂上套着一只特制的手镯，手镯上有导线连到带有机器手的控制器上。当人手做紧握动作时，控制器上的机器手也随着紧握起来；当手做撒开动作时，机器手也立即跟着撒开。

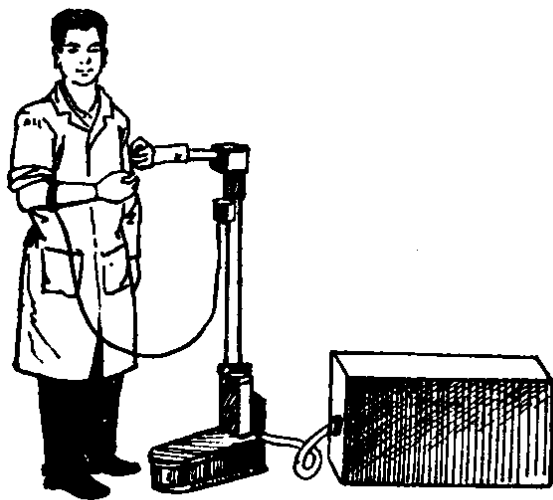


图 1 靠生物电控制的机器手

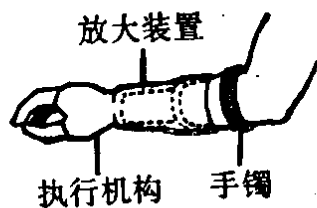


图 2 安装在断肢上的生物电假手

既然上面这种控制器上的机器手，能够随着健康人的完整手臂的肌肉活动作出相应的动作，当然也就有可能把这种方法应用到被截断手的人身上了（图 2）。不过，这需要把构

成控制器的全部元件尽量作得小些，并仿造成人手的大小和外形，把它安装在被截断的残肢上，利用未截断部分的神经肌肉发出来的生物电流，来控制假手的活动。这就是利用生物电来控制的假手的奥秘所在。

在这方面，一些科学技术比较先进的国家，已经取得了很好的成绩。新近日本研制成的一种电子假手，重量仅 1.13 公斤。他们为了减少手指的动作误差，又设法作成了手指伸张和屈合的两个电位电极，并把这两个电信号按时间先后顺序排好，从而保障手指伸屈动作的准确性和稳定性。为使装有假手的人，能够正确地判断被抓物体的硬度和重量，他们还在假手上设计一个压力感受装置，这样就能根据电压的变化，通过假手来推测出承受力的大小。

现在，这种假手除了已能应用到被截肢的残废人身上以外，而且根据同样道理，正在研制一种利用生物电操纵的车子，以便为四肢全都残废了的人使用。只要残废人坐在这种车子上，无需别人推着，就可随意驱动。

现已完全可以把这种生物电控制的机器手，安装在炼钢炉旁，使人避开几千度的高温熔炉，远距离地操纵炼钢。还可以利用这种机器手，去做目前人们无法直接用手来干的工作。譬如，在深海潜水球上、宇宙飞船上以及有大量辐射的研究室里的工作等。因此，可以展望生物电的研究和应用，在未来的生产建设和科研工作中是大有作为的。

二、会放电的鱼

鱼会放电，乍听起来觉得很奇怪。其实，在人类还没有创造出第一个电源的时候，就已经发现这种生物电现象了。

那是在公元前三百多年的时候，希腊的大哲学家亚里士多德，有一次去地中海旅行，发现一种很稀奇的鱼。这种鱼，能把跟它接触的小动物击昏，甚至击毙。当时，他把这种鱼看作是具有强烈“震击”作用的怪鱼。过了两千多年，到了十七世纪，人们才知道这种怪鱼的“震击”作用，就是鱼的放电反应。从这以后，人们就把这种会放电的鱼，统称为“电鱼”了。

古代的“电疗”

如今，在现代化的各大医院里，几乎都已建立了设备完善的电疗科室，并把电疗列为综合治疗中的一个重要组成部分。在古代，尽管人们还没有制造出任何电疗仪器，然而却已采用“电疗”的办法，开始给病人治病了。

远在古代的希腊和罗马，人们还没有从愚昧无知的落后状态中解脱出来时，他们对症状复杂、表现特殊的癫狂病，显然不会作出什么科学解释。但是，凭借人们积累起来的经验，已经知道用电鱼放电的方法，来为这种病人治病。他们把正在发作的癫狂病人，抬到一个装有电鱼的大木桶里，由于电鱼被病人接触而受到刺激，于是便放起电来。这时，病人受到电鱼放电的刺激作用，便会达到治疗的目的。当然，象这样的治疗方法，效果是难以令人满意的。但是，它却真

实地告诉我们一个事实：现代电疗技术的应用，是从古代的“电疗”那里受到启示而逐渐发展起来的。

现今在意大利和法国一些偏僻的沿海地区，我们依然可以看到，有些患了风湿症的老年人，仍旧沿用这种古老的电疗方法。他们常常趁着海水退潮的时候，到海边浅滩去捕捉这种活“电疗机”——电鱼，拿来为自己治病。

几 种 能 放 电 的 鱼

在鱼类中，具有放电能力的并不少见。下面我们介绍几种放电能力比较强的电鱼。

电鳗：它主要分布在南美洲一些大的河流里。从它的体形上看，算是电鱼中身躯最大的一种了。大约有两、三公尺那么长，体重有的可以达到 20 多公斤。它的背面呈暗绿色，腹面是桔黄色，外形很象一条色泽鲜艳的大蟒(图 3)。

电鳗有一种喜欢在夜里活动的习性，常常在河底游动。它可以通过自身放电的作用，来击毙一些鱼虾之类的小动物，以此作为它的食料。

看上去，电鳗的样子很可怕，但是吃起来，却肉嫩味



图 3 电 鳗

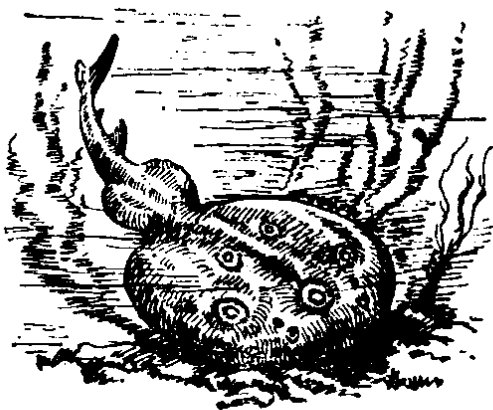


图 4 电 鳐

美。因此，成了南美洲人最喜爱的一种名贵佳肴。

电鳐：它分布的地区比较广，但以地中海最多。电鳐的头胸部很大，几乎占整个身体的绝大部分(图4)。在它的胸鳍内侧面与头部的后端，有专门的放电器官。当有动物与它接触时，它就立刻放电，击昏对方。

在我国南海，有一种形状象蒲扇似的团扇鳐，也是电鳐的一种。它与地中海产的电鳐的不同点是，发电器官在尾部脊椎的两旁，左右成对，放电能力比较小。

电鲛：它分布在地中海、大西洋、太平洋等一些暖流经过的海洋里。因为它的头部比较大，身子呈扁平状，体形很象一把舀饭的勺子，所以又叫它“木勺鲛”(图5)。

在电鲛头部的上面，有眼和喷水孔，下面有嘴和鳃孔。头的两旁在鳃与胸鳍之间，有一个特殊的肉质构成的圆形器官，里边分布着很多神经，这就是它的发电器官。一旦有别的动物与它接触，它就放电抵御，甚至把对方击昏吃掉。

电鲛：从外形上看，很象一条大鳐鱼，大的有两、三尺那么长。它与鳐鱼不同的是，嘴巴上长着三对具有触觉功能的须子(图6)。



图 5 电 鳐



图 6 电 鲛

电鲛的发电器官是由皮肤腺体特化形成的。它贯穿在全身的皮肤下面。电鲛的放电能力比较小，但也足能击昏一些小动物。它的主要产区是非洲的尼罗河。

电 鱼 的“发 电 机”

电鱼放电，仅仅是个现象。电鱼为什么能放电？它的内在原因是什么？这些，才是我们要探讨的问题实质。

原来，电鱼都有如同“发电机”似的专门发电器官。就拿电鲛的发电器官来说吧，它是由头、胸鳍的肩部两侧的许多纤维组织间隔成的六角形柱状管子构成。这样的管子一侧大约有六百多个，每个管子里又有很多水平排列的电板，电板的腹面都有神经纤维联系(图7)。与电板联系的神经纤维，主要是由延髓①发出来的舌咽神经②和迷走神经③。因此，我们可以断定：发电器官的放电活动，是在中枢神经系统④控制下进

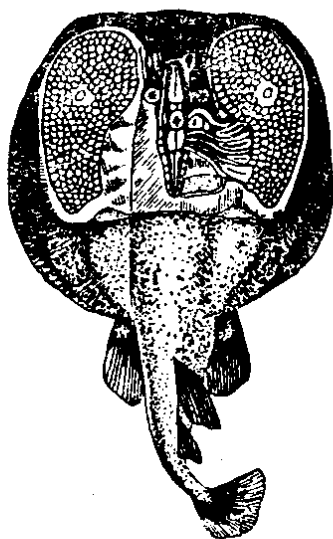


图 7 电鲛的发电器官

-
- ① 延髓：脑干的下段部分，向下连接脊髓。
 - ② 舌咽神经：属于混合性神经，包括来自咽、舌的传入纤维和由延髓发出的传出纤维。
 - ③ 迷走神经：发自延髓，穿过颅底，沿食管两侧纵贯颈部、胸腔和腹腔。是一根重要的内脏神经，由它管理呼吸、消化两大系统的绝大部分和整个心脏的运动和感觉。
 - ④ 中枢神经系统：包括大脑、间脑、中脑、脑桥、小脑、延髓和脊髓等部分。里边含有许多上行、下行的传导通路，象电话线那样，联结着内部的许多神经细胞群或神经核。

行的。当由神经中枢发出兴奋冲动时，电板腹面就带负电①，电板背面就带正电②。一旦有导体接通两点，就会有电流通过。

电鱼发电器官的放电能力是很强的。例如电鳗放电时的电压③，最高可以达到 800 多伏④；比较大的电鳐，放电时的电压也有 220 伏左右，相当于一般城市用电的电压；电鲰和电鲶，放电能力虽然小，但也有 20—35 伏，差不多相当于 14—20 节电池串联⑤的电压那么强。

有趣的战术

在南美洲，有两条比较大的河流。一条叫亚马孙河，一条叫奥科诺科河。这两条河，都是盛产电鳗的地方。

如果你有机会去南美旅行，不妨到亚马孙河或奥科诺科河走走。只要走到河的两岸，你就可以看到这样一场捕捉电鳗的热闹景象：渔民们，为了避免遭受电鳗放电的伤害，他们在捕捉电鳗以前，先把一群群的牛赶下河去。当电鳗碰到牛时，就会立刻放电。由于牛受到电鳗的电击刺激，就会惊慌不安、抬起蹶来。这样，牛就进一步激怒了电鳗，使它再一次放电，于是牛又受到第二次电击而再次骚动起来。如此反复下去，电鳗随着放电次数的增加，放电强度便会渐次减

① 负电：物质是由原子组成的，原子中的电子所带的负电量等于原子核中质子的正电量，呈中性。如物质上有多余电子，即表现为带负电。

② 正电：物质失去电子即表现为带正电。

③ 电压：是表明电力强度的概念。

④ 伏：是电压的实用单位。通常灯用电压为 220 伏。

⑤ 串联：把一个电池的正极依次同下一个电池的负极联接起来的方法，叫串联。其电压是各个电池电压的相加值。

弱下来。直到最后，电鳗终于停止了放电，牛群也就跟着平静下来。这时，渔民们才下到河里，把牛群赶上河岸，再用鱼叉把一条条的电鳗叉上来(图 8)。

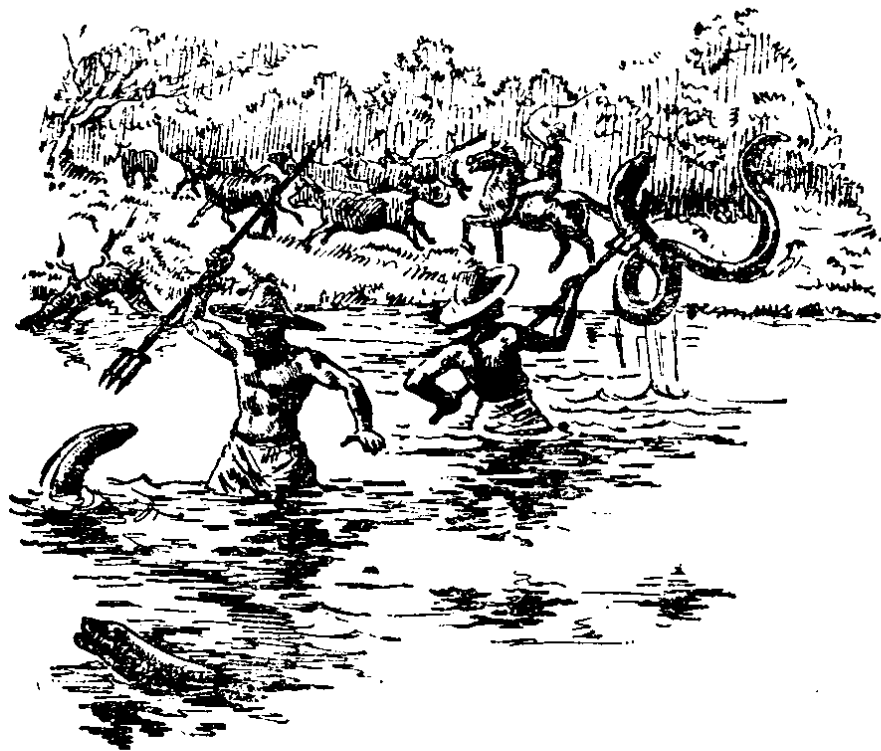


图 8 捕捉电鳗

为什么渔民们采用这样的方式捕捉电鳗呢？

这是根据电鱼放电的特点，制定出来的一种特殊战斗方案。原来，电鱼在没有受到外界刺激时，一般都是周期性放电的，也就是说，它不能连续不断地放电。但当受到刺激时，便会立刻放电，放电的频率大约每秒几十次。每次放电大都不会超过半秒钟。一次放电过后，间隔一定时间，再进行第二次放电。如果连续不断地刺激它放电，电压就会逐渐减弱，最后几乎减弱到放不出电来。

正是由于渔民们掌握了电鱼放电的规律和特点，他们才采取了这种“牛人协作”的有趣战术。

三、一场有价值的争论

电鱼放电的现象，虽然早在公元前三百多年就被人们发现了，但是对生物电的研究，一直到十八世纪末才开始进行。

偶 然 的 发 现

科学家的素质，在于他善于从烟波浩淼的自然现象中，去发现问题和解决问题。

爱德华·琴纳蓦然发现长年在牛奶棚里工作的姑娘不易罹患天花，从而为免疫学的发展提供了有价值的资料；伽利略看到教堂里的吊灯随风摇动，提出了摆的等时性理论；瓦特见到壶盖被沸水的蒸汽顶起来的现象而想到制造蒸汽机；牛顿看到苹果落地而发现了万有引力定律；……。在各门学科的发展史上，这样的事例，已是屡见不鲜的了。生物电这门学问，也是从科学家的偶然发现中，开始研究和发展起来的。

1786年，著名的意大利医师兼生理学家伽尔伐尼在家中的小院子里做实验，偶然发现挂在窗前铁栅栏的铜钩上的蛙腿肌肉每当碰到铁栅栏时，就猛烈地收缩一次(图9)。

事出有因，原因何在呢？

伽尔伐尼认为上面这种引起蛙腿收缩的现象，是蛙腿带有“动物电”所造成的。那么，这种“动物电”又是怎么产生的呢？经过一番冥思苦想，他终于提出了历史上第一个解释生



图 9 伽尔伐尼发现动物电

物电的见解。他认为，青蛙的神经和肌肉是两种不同的组织，因为它们带有相反的电荷^①，所以两者之间就会存在着电位差^②，一旦用导电性能良好的物体把两者接通，就会有电流通过。在这里，铁栅栏和铜钩，恰恰在神经与肌肉之间起着一个接通电路的导体的作用，于是便有生物电流通过。由于生物电流的刺激，蛙腿肌肉才会收缩。

模拟性的实验

伽尔伐尼的重要发现，成为人类最早研究生物电的一次

-
- ① 电荷：即物质所带的电，有正电和负电两种。最初人们不知道电是物质的一种固有属性。因此称物体所带的电为电荷。
 - ② 电位差：即电压。

实验——“动物电实验”。

如果你有兴趣的话，不妨重复一下当年伽尔伐尼的实验。不过，现在已经没有必要完全照搬当时他的那种方法了。我们只是循规蹈矩的模拟一下他的实验，也同样可以看到那种肌肉收缩现象。

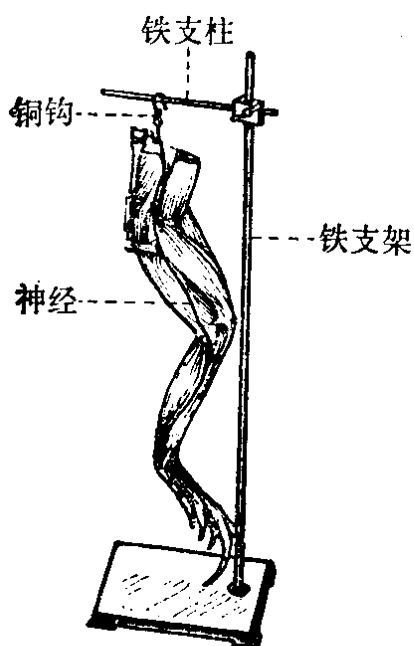


图 10 模拟性的实验

方法是把青蛙从腰部剪断，撕去腰部以下的全部皮肤，再在腰部脊柱正中纵向剪成左右两半。取一侧作实验标本，将从腰部脊髓发出来的一束神经分离清楚，但不要剪断或损伤神经。随后，用一个小铜钩把神经勾住，连同整个一侧蛙腿挂在铁支架上(图 10)。这时，如果把蛙趾碰一下铁支柱，蛙腿肌肉就会马上发生一次很强的收缩。

在上面这个实验里，除了铁支架取代了当年伽尔伐尼庭院中的铁栅栏外，其他条件基本一样。所得结果完全相似。

看来，“动物电”的存在，已是毋庸置疑的了；伽尔伐尼对于“动物电”的解释，也是无可非议的了。然而，事实并非如此。现在，让我们继续把这个有趣的故事讲下去吧！

洞察到了症结

伽尔伐尼发现了“动物电”的消息传出以后，很快就被当时意大利的物理学家伏打知道了，并且引起了他的极大兴趣