

探索生物电



IRANKEXUE XIAOCONGSHU

然科学小丛书

北京出版社

自然科学小丛书

探索生物电

王谷岩

北京出版社

编辑说明

《自然科学小丛书》是综合性科学普及读物，包括数学、物理、化学、天文、地学、生物、航空和无线电电子等学科。主要介绍这些学科的基础知识，以及现代科学技术成就。编写上力求深入浅出，通俗易懂，使它具有思想性、知识性和趣味性，可以作为中学的课外辅导读物，并适合具有初中文化水平的广大读者阅读。

自然科学小丛书

探索生物电

Tansuo Shengwudian

王谷岩

*

北京出版社出版

(北京北三环中路6号)

新华书店北京发行所发行

安平印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4印张 62,000字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数：1-1,500

书号：13071·169 定价：0.64元

目 录

- 一 电与生命..... (1)
带电的青蛙腿(1) 没有电就没有生命(5)
- 二 皮肤电与肌肉电..... (8)
皮肤流电现象(8) 肌肉收缩与肌电(12)
肌电控制的假手(17) 使瘫痪病人站起来(23)
- 三 心电..... (26)
不疲倦的心脏(26) 心脏跳动发出电(28)
心电描记术(29) 心电图说明了什么(33)
心脏起搏器(36)
- 四 脑电..... (38)
大脑的功能(38) 大脑的电活动(39) 脑电图(43) 诱发脑电活动(46)
- 五 眼、耳、鼻、舌也有电..... (49)
感受器是换能器(49) 眼的电活动(51) 耳的电活动(57) 鼻和舌的电活动(62) 一切感受器都有电活动(65)
- 六 神经电..... (68)

动物的神经系统(68)	神经纤维的电活动(70)	
生物调控系统	(73)	
七 电生理学		(78)
生理活动中的电现象	(78)	生物电信号的记录(80)
破译“密电码”	(82)	
八 细胞和组织的电学性质		(87)
生物电阻抗	(87)	细胞的电阻抗(88)
组织和器官的电阻抗	(89)	细胞电泳(91)
九 生物电与机体的发育和再生		(96)
穿过细胞和组织的电位	(96)	生物电与再生(98)
十 生物电与生物磁		(101)
生物电是怎样产生的	(101)	目前的最佳解释(103)
生物磁场	(107)	心磁场与心磁图(109)
神经磁场与脑磁图	(111)	其他生物磁场(112)
十一 生物电池		(115)
生物太阳电池	(116)	微生物电池(118)
酶电池	(122)	

一 电 与 生 命

我们的周围是一个电的世界。

现代人类的衣食住行，和电紧密联系在一起：从生活中的家用电器到工作中的电子计算机、电子显微镜，从工厂开动的机器、行驶的车船到上天的飞机、登月的飞船，……现代技术文明带给我们的一切，都离不开电。

自然界里也处处有电。阴天下雨，电闪雷鸣，那是大气层在放电；宇宙中的无数星体时时都在向外辐射着无线电波，整个宇宙都充满了电。

世界上的一切物质都由原子组成，每种原子里又都含有一定数目的电子。从这个意义上讲，没有电，就没有物质；没有电，世界上的一切也就不复存在了。

动物、植物、微生物通称为生物，是自然界中有生命的物体。生物机体是由物质组成的，因此，生物体中也是有电的。

生物体中的电，人们把它叫作生物电。历史上关于生物电的记载，见于公元一世纪电鱼放电现象的描述，不过当时人们并不知道电鱼放出的是“电”。直到十八世纪，人类才对电鱼放电开展了科学研究工作。科学界一般认为，人类对生物电现象的研究，开始于十八世纪的意大利医生兼生理学家加尔伐尼。在总结了前人的观察结果和本人的大量实验的基础上，加尔伐尼于1791年发表了著名著作《肌肉运动中的电效应》，提出在神经和肌肉这些机体组织中存在着电现象，这是一项开创性的工作。

带电的青蛙腿



图1 青蛙腿肌肉标本

加尔伐尼对生物电进行的研究，是由一条青蛙腿的抽动现象引起的。他在实验中观察到，当把一条切下来的蛙腿肌肉标本（图1）用铜钩挂在铁栅栏上时，每当肌肉标本碰到栏杆，肌肉就抽动（收缩）。加尔伐尼认为，这是因为肌肉标本中带有“动物电”，就象莱顿瓶中贮存着电一样，当肌肉两端通过金属构成一个闭合的电路时，就发生了放电现象，正是由于这种动物电的释放，才使

肌肉受到刺激而产生收缩。加尔伐尼的这种假说的发表，在当时的学术界引起了一场很有意义的争论。1800年，意大利物理学家伏打对这一现象提出了不同的看法。伏打认为，在上述实验条件下所以使蛙腿肌肉产生收缩，是由于“双金属电流”引起的。他通过实验证实，只要用一个导体把两种不同的金属连接起来构成一个闭合回路，就能产生电流——双金属电流。伏打认为，在加尔伐尼的实验中，肌肉标本是导体，它把铜钩和铁栅栏这两种金属连接起来，构成了闭合回路，因此产生双金属电流，正是这种电流刺激标本引起了肌肉的收缩。

这两种观点的争论，不仅促进了神经—肌肉电性质的深入研究，还促成了一项重大发明的诞生。伏打为了证明自己的观点，用一组铜板和一组锌板，中间用盐水浸过的呢绒隔开，制成了一个能产生电流的电池。这就是科学史上称作“伏打电池”（图2）的第一个人造电池。

加尔伐尼并没有放弃自己的观点，若干年后，他用蛙腿成功地作出了“无金属收缩实验”，从而有力地证实了“动物电”的存在。到了

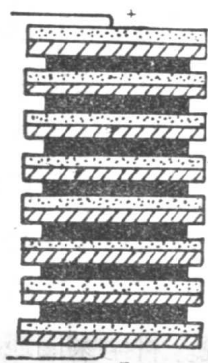


图2 伏打电池

十九世纪初，意大利物理学家马特尤斯在实验中证明，单独一块肌肉也能产生电流：如果把一块神经肌肉标本的神经搭在另一块肌肉上，这后一块肌肉收缩所产生的电流，就会对搭在它上面的神经产生刺激，而使与神经相连的肌肉收缩（图3）。1842年，德国人



图8 肌肉收缩产生电流的实验

伯义斯-雷蒙德使用电流计进行测量，证实了微弱的生物电流的存在。1848年，伯义斯-雷蒙德又观察到了神经在传导兴奋过程中产生的一种生物电流——动作电位。1850年，亥姆霍兹利用巧妙的实验，测定了青蛙神经电的传导速度。1875年，美国科学家卡顿在暴露的兔脑和猴脑的表面，引出了脑电流。科学家们的一系列研究工作，证实了生物电的存在。

继上述那些开拓性的研究工作之后，对生物电现象的研究更为广泛而深入。科学家们努力探索各种器官和组织中生物电的变化规律，并试图解释生物电究竟是怎样产生的（即生物电的起源），创立了许多种学说。科学家们还根据已经掌握的生物电变化规律，通过研究生物电的变化去揭示机体的生理机能，从而诞

生了一门新的学科——电生理学。

生物机体在环境中生活，它的一切活动都要和环境相协调。生物机体的结构是复杂的，机体内部各组成部分之间，在机能上也是高度协调的。生命活动的协调，离不开生物控制和调节系统。生命活动的调节和控制过程，包括信息的接收和传递、处理和利用。在现代，科学家们已经证实，生物机体中信息的携带媒介就是生物电。生物信息论和生物控制论两个分支学科，研究的就是生物电信息在生命活动调控中的作用规律。生物电的研究，在现代生物学里是一个很重要的方面。

没有电就没有生命

我们的周围，是一个电的世界。我们的身体里面，一切生物机体里面，也是一个电的世界。

动物区别于植物的主要特点，就是能够有运动动作。动物的运动是肌肉收缩的结果。肌肉的收缩会产生肌肉电。

动物的心脏，在时刻不停地跳动，以保证机体的血液循环。心脏的跳动是心肌收缩引起的，心肌收缩要产生心电。

动物具有各种感觉器官，负责接收外界环境中的

各种信息，如声音、影像、冷热、压力、气味等。感觉器官在接收到这些信息之后，都要把它们变换成神经信号，神经信号是一种神经电信号。

动物的大脑是机体活动的指挥中枢，脑的活动要产生脑电。大脑实现指挥作用，靠的是发出神经电信号。

动物机体中，一切器官和组织在执行正常生理功能的过程中，都要产生生物电；器官、组织产生的生物电，又是生理活动所必需的。

使机体内部各个器官、系统协同工作而成为统一的整体，使整个机体很好地适应外界环境的变化，是神经系统。神经系统实现它的功能，靠的是神经信号的接收、储存、处理和利用。机体一切部位、一切器官的活动，都是在接到由神经信号传达的“指令”之后才得以实现的。这就是说，象心脏的跳动、肺的呼吸、肌肉收缩、肠胃的蠕动等一切器官的正常活动，都要靠一定的生物电信号的刺激。没有生物电信号的刺激，这些器官就不能正常活动了。由脑血栓引起的半身不遂，尽管上肢与下肢的骨骼和肌肉都是完好的，但是因为肢体失去神经电信号的控制而不能正常活动。

有些鱼类，体内还有专门的发电器官，发出的电

可以达到几百伏的电压，有的甚至能够把一个人击昏，是最强大的生物电流。发电器官发出的电，是这些鱼类保护自己、攻击敌人的武器。另外还有些动物，可以发出无线电波，并有专门的器官接收外来的无线电信号，这是它们的“联络电台”和“探测仪器”。

总之，生物体内具有的电现象，是机体生理活动的一种表现。生命活动与生物电的活动息息相关，没有电的活动，生命也就停止，生物世界也便不存在了。

在生物体内，各个器官、各种组织产生的生物电，都各有什么特点？它们的起源和规律是什么？怎样对它们进行测量和研究？对生物电的研究有些什么意义？这些问题就是这本小书要涉及的内容，但本书主要篇幅介绍的是动物体，特别是人体中的生物电现象。

二 皮肤电与肌肉电

皮肤流电现象

如果说“我们的皮肤是带电的”，许多人一定不会相信这是真的，因为我们平常觉察不到皮肤的带电现象。然而，皮肤带电是千真万确的事实。

皮肤的带电现象，用一个很简单的实验就可以证实。用两个金属电极分别接触皮肤上的两点（比如手心处和前臂处），这时我们就会看到与这两个电极相联接的一块电流表的指针发生了偏转（图4），说明电路

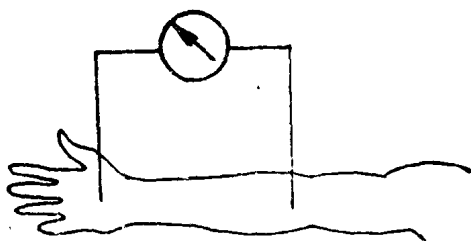


图4 皮肤两点间存在电位差

中有电流流过。这个实验证明，皮肤上被接通的两点之间存在着电位差。当然，这里做实验用的电流表，必须是一种灵敏度很高的电流表，因为皮肤上两点之间的电流是很微弱的。这也正是平常我们不能感觉到它的存在的原因。

这里有一点应该注意，在做实验时皮肤位置的选择很重要：如果一点富于汗腺，而另一点汗腺较少，则两点间电位差较大，电表指针的偏转角度也较大；如果所选择的两点情况相近，汗腺都比较多，或者都比较少，这时因为这两点的电位相近或者相同，电表指针偏转就很小或者根本不偏转。

皮肤表面上的这种电现象，就叫做皮肤流电现象。皮肤流电现象是皮肤表面的一种电学性质，用适当的仪器可以记录到流电图（图5）。如果把电极放到没有外层皮肤的部分，如舌、唇、鼻粘膜等处，就没

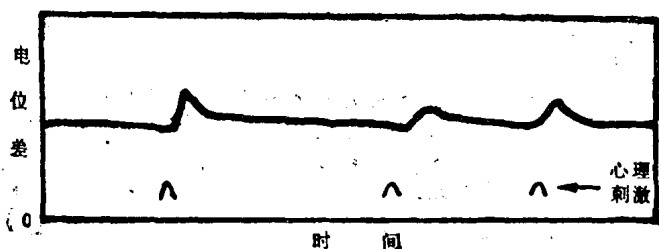


图5 皮肤流电图

有这种流电现象。另外，要观察到皮肤流电现象，实验用的两个电极至少要有有一个放到有汗腺的部位。实验证明，汗腺的密度与皮肤流电电流的大小有着密切关系。

在对皮肤流电现象进行研究的过程中，科学家们还发现了皮肤电反射现象。在用两个电极对一个受试者进行皮肤流电现象测量时，如果给这个人施加一种心理刺激（使其疼痛或令其进行数学运算），那么，在经过2~3秒钟的潜伏期（从受到刺激到出现反应的时间间隔）之后，电流表指针摆动的角度会变大（图6）。

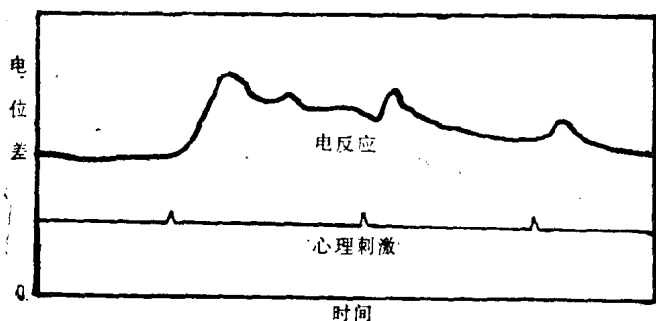


图6 皮肤电反射的反应电位

也就是说，被测两点皮肤间的电位差明显增大了。这种由心理刺激而引起的皮肤电的变化，就叫作“皮肤电反射”，最初也曾叫作心理电反射。

对于人类，凡是能够引起情绪变化的外来刺激，

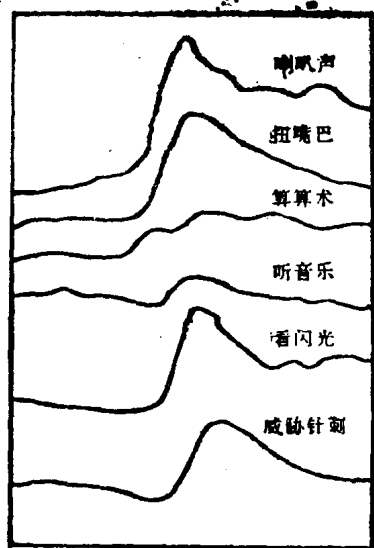


图7 人对各种刺激的皮肤电反射

都能产生皮肤电反射(图7)。猫、狗、马、蛙等动物也有皮肤电反射现象(图8)。只是对动物作实验时,所采用的刺激通常是揪尾巴、拧耳朵等疼痛刺激。

皮肤流电现象的存在,与皮肤汗腺的分泌机能有关。许多种心理刺激都能影响汗腺的分泌,从而产生了皮肤电

反射现象。实验证实,人的皮肤电反射与大脑的联想记忆活动、体温和呼吸状况,以及疲劳和疾病都有密切关系。因此,以皮肤电反射作指标来检测汗的分泌,从而了解

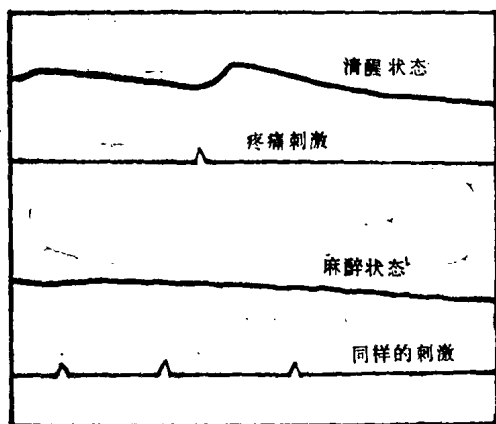


图8 猫的皮肤电反射

身体的工作、疲劳、体温、呼吸、记忆、睡眠、意识、饮酒以及心理和机体疾病状况，是具有实用价值的。

肌肉收缩与肌电

运动是动物的最普遍的机能，也是动物的一个主要特征。动物的运动机能，经历了从低级到高级的进化演变过程，从而形成了变形运动、纤毛运动和肌肉运动几种运动形式。

由肌肉收缩而产生的运动，称为肌肉运动。肌肉运动是动物运动机能发展的高级阶段，是现今一切高等动物的主要运动形式。动物机体的一切动作，如游泳、爬行、挖掘、行走、奔跑、跳跃、攀登、飞翔、鸣叫以及人类的各种创造性劳动和语言，都是以肌肉收缩为基础的运动。灵活、随意的运动机能，是动物体得以独立和自由生存的一个必不可少的基本条件。

动物机体的肌肉组织，分为平滑肌、心肌和骨骼肌三种。眼球睫状体和虹膜的肌肉，皮肤的竖毛肌，以及肠胃等内脏的肌肉，是平滑肌。构成心脏、产生心脏跳动的，是心肌。附着在骨骼上、带动骨骼运动的肌肉，是骨骼肌。骨骼肌是人体中数量最大的组织，约占体重的42%（图9）。