



215
知识
百科全书

16

医疗与电气

孙左一等 编译

电 知 识 小 百 科 全 书

①⑥

医 疗 与 电 气

孙左一等 编译

水利电力出版社

内 容 提 要

《电知识小百科全书》是一套兼有百科全书、辞书和科普图书特点的丛书，共18分册，《医疗与电气》是其中的第16分册。书中首先阐述生物电和人体的电现象，接着介绍血压、心电图、脑电图、血液检查和细胞诊断等电测量技术；电子计算机X线断层摄影(CT)、核磁共振成像等图象诊断技术；离子导入、电针、心脏电刺激等电疗技术；磁疗、超声波诊断与治疗、光疗等其它与电有关的理疗技术；人造器官，最后概述了医学工程与医疗自动化的现状与展望。

电知识小百科全书 16

医疗与电气

孙左一等 编译

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 2.25印张 48千字

1989年7月第一版 1989年7月北京第一次印刷

印数0001—1290册

ISBN 7-120-00816-1/TM·220

定价1.25元

序

打开电世界知识宝库大门的钥匙

在现代社会中，电已经应用于生产、生活和社会活动的所有领域。电既是极其重要的能源又是极其重要的信息载体。从日常生活中普遍使用的电灯、电话、电报、电视机、电冰箱、电炉、空调到各种机械、电气机车、船舶飞机；从袖珍计算器、电子钟表、电子玩具到各种计算机网络和系统；从电针治疗到航天技术……人们都要和电打交道。巨大的电力网犹如人体的血液循环系统向整个社会传递着运转的动力；巨大的电气通信和电子通信网络则为整个社会的协调发展瞬息不停地传递着信息。从某种意义上，可以把当今世界看成是“电世界”。作为一个现代人，一个“电世界的公民”，学习和掌握一些电的基本知识，会得到许多帮助和方便。

水利电力出版社出版的《电知识小百科全书》为具有中等文化程度的广大读者提供了一把打开电世界知识宝库大门的钥匙。这套小百科全书是我国中青年电气科技工作者根据国外同类图书移植改编而成的。在编译过程中，编译者根据我国的国情和广大读者的需要作了许多补充和修改。全套图书共18分册，不过百万字，篇幅约为《电机工程手册》的十分之一，既可以作为入门的科普读物，又是百科全书式的工具书。大中学校师生、企业管理人员、科技人员和其他各行各业的读者，都可以从中得到一些有用的知识。我相

信这套小百科全书会得到读者的欢迎。同时也希望广大读者特别是电气科技工作者一起来发表意见，集思广益，帮助编者进一步修订好这套小百科全书，使之成为一套具有中国特色的电气知识普及读物。

毛 鹤 年*

1987年夏

* 毛鹤年同志是我国电机工程学的老前辈，生前担任中国电机工程学会理事长、国际大电网会议中国国家委员会主席。这篇序言是毛鹤年同志在1987年夏季撰写的。毛鹤年同志已于1988年10月病逝。

编 译 说 明

1982年日本欧姆社(OHM社)在建社70周年之际,出版了一本《图解电气百科事典》,以大约百万字的篇幅,介绍了包括电的基础知识、电力的生产与应用、电子技术、通信、广播、电视、计算机和自动控制等各方面的知识。这套《电知识小百科全书》就是以《图解电气百科事典》为蓝本,根据电气科学技术近年间的最新发展和我国的国情,作了较多的修改和补充,编译而成的。全套丛书共18分册。各册的书名是:

1. 电的基础知识
2. 电工材料与电子器件
3. 电子电路
4. 电气测量与电工仪表
5. 电机与电器
6. 电力系统与新能源
7. 工厂用电
8. 安装电工
9. 安全用电
10. 照明
11. 电热利用
12. 自动控制
13. 电子计算机
14. 电气通信与广播电视
15. 交通与电气

16. 医疗与电气

17. 家庭用电与家用电器

18. 趣味电气

这套小百科全书在编译体例上有以下特点:

(1) 具有百科全书的特色: 内容涉及与电有关的各个领域, 从最基础的电荷、电场、电流、电压等概念到超导材料、信息处理、医疗电子工程等正在迅速发展的高技术; 从电力的生产、输送、分配到工厂和居民生活用电等都有简明扼要、深入浅出的介绍, 适合各行各业、各个层次的读者的不同需要。

(2) 具有辞书类工具书的特点: 以基本概念、技术用语、定义规律为中心组织各部分内容。各个分册、各个部分总体上互相联系, 局部又都各自形成完整的叙述。读者可以方便地查阅所要了解的事项。

(3) 书中的叙述避免冗长的文字和繁杂的数学公式, 收集了较多的插图, 具有中等文化程度的读者都能阅读。

本书在编译过程中, 参考了国内外近年出版的许多百科类、辞书类和科普类图书。书中涉及技术标准之处均已统一为我国的国家标准或部颁标准, 计量单位亦已按新的国家标准核定。

能源部南京自动化研究所孙左一主持了《电知识小百科全书》的编译工作, 参加编译工作的还有(以姓氏笔划为序): 马师模、孙中遼、刘开增、刘振乾、何方、何云、罗贤伟、罗贤杰、张在德、张耀东、童永富、傅鸿仓、熊葆芳等。本分册编译者为罗贤伟、孙左一。审稿者为高士哲。

本书编译工作得到毛鹤年、韩祯祥、王平洋、都兴有、蔡洋、马经国、廖培鸿、叶世勋等学界前辈的鼓励和支持,

水利电力出版社的领导和有关编辑给予许多指导和帮助；南京自动化研究所图书馆为编译者查阅图书资料提供了诸多方便。在此谨向所有关心、支持、帮助过各项工作的同志表示衷心的感谢。

参加编、译、校、审的十余位同志兢兢业业，历时约三年，终于完成书稿，陆续付印。限于主持编译者的学识水平，书中仍会有尚未发现的疏漏和差错，祈望各位读者指正（通信地址：南京323信箱）。

孙左一

1988年7月1日

目 录

序

编译说明

1 人体与电	1
生物电	1
生物电产生的原理	2
人体组织的导电性	5
2 电与人体测量	8
人体测定的项目	8
血压的测量	9
心电图的测定	11
脑电图的测定	14
血液检查与细胞诊断的自动化技术	16
3 图象诊断	18
数字荧光X射线照相技术	19
电子计算机X线断层摄影	20
正电子断层摄影	21
核磁共振成像	23
电子计算机-X射线照相术	24
4 电与治疗	26
电能的生理作用	26
离子导入疗法	29
将电能引入人体的方法	31
电气与针灸	32
心脏病的电刺激治疗	35
5 磁、声、光和治疗	37

磁场与治疗	37
超声波诊断与治疗	39
光与治疗	43
6 人造器官	46
人造器官的种类	47
人工心肺	48
人工肾	49
人造心脏	50
盲人助视器	51
7 医学工程与医疗自动化	53
医学工程的各个分支	53
医疗自动化的进展	55
医疗系统工程	60

1 人 体 与 电

远在2000多年前，发现摩擦生电现象的古希腊人就已经知道自然界某些生物的带电现象。古希腊的渔夫曾利用海洋中捕获的电鳗放电来治疗关节的酸痛，这大概是人类历史上电气与医疗的最早结合。最近几百年间，人们在逐步深化对电的认识，掌握获取电能的方法的同时，一直在探索用电治疗疾病的方法。17世纪，欧洲有人尝试利用摩擦起电来治病。18世纪著名的科学家富兰克林曾经用莱顿瓶蓄积的静电荷放电来治疗瘫痪病人。1791年，意大利人伽伐尼发现动物的肌肉和神经能传导电荷，说明动物体内存在着“生物电”。人们开始逐步认识动物体（包括人体）内部的电现象。医疗与电气从此结下了不解之缘。

生 物 电

把蛙的坐骨神经和腓肠肌一起剥离出来，做成“神经-肌肉标本”。在神经远离肌肉的一端给予一次机械的、化学的或电的刺激，在经过一个短暂的潜伏期后，肌肉会出现一次快速的收缩。如图1所示，将一个灵敏电位计的两个电极置于神经上相隔一定距离的两点，在神经未受刺激时电位计的指针指零；当神经一端受到一次刺激后，指针即产生两次摆动，这就证明有电流通过神经。这个简单的实验表明了生物电现象的客观存在。电生理学的深入研究表明，电现象是人体细胞实现一些重要机能的关键和决定性的因素。

利用现代电子仪器，能够十分精细地研究神经的电特

性。将很细的微电极放置在神经的不同点，用示波器来观察电的变化，能够测量一个神经冲动的强度、持续时间和传播速度等（图2）。美国生理学家厄兰格和加塞由于在这方面的出色工作，得到了1944年医学与生理学的诺贝尔奖金。

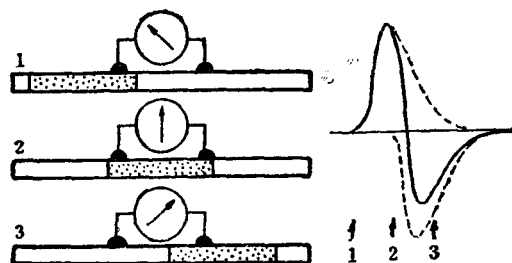


图 1 灵敏电位计指针摆动表明神经中的电传导

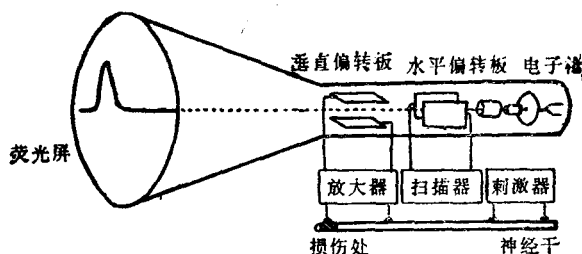


图 2 用阴极射线示波器观察生物电现象

生物电产生
的原理

人们在物理化学的实验中早已得知，把不同浓度的电解质溶液用一层半透膜隔开，由于膜对不同电解质离子的通透性不同，在半透膜的两侧会产生一

定的电位差，各种离子通过膜的运动会引起电位差的变化。由于细胞膜也是一种半透膜，人们便推测细胞传导电荷同样依靠离子通过细胞膜的运动。这一点已经为达到细胞一级水平的精确实验所验证。

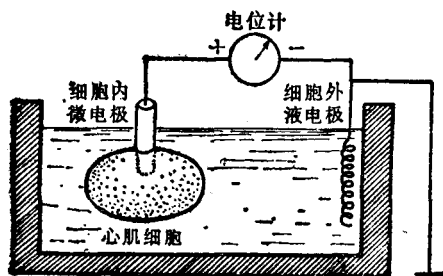


图 3 用微电极测定细胞膜内外电位差

如图3所示，用一个直径小于 $1\mu\text{m}$ 的微电极，刺入某一细胞的膜内，就可以测定细胞在安静或受刺激时膜内电位和另一固定于零值的膜外参考电极间的电位差（分别称为静息电位与动作电位）。动物细胞的静息电位表现为膜内低于膜外，如规定膜外电位为零，则膜内电位约为 $-10\sim-100\text{mV}$ 。如人体的肌肉和神经细胞为 $-70\sim-90\text{mV}$ 、红细胞为 $-6\sim-10\text{mV}$ ，则这种稳定的状态称为极化状态。当细胞受到一次短促的刺激时，膜内的负电位迅速消失，进而变为正电位，跨膜电位倒转为内正外负，电位变化的幅度约为 $90\sim130\text{mV}$ ，这个过程称为除极，动作电位达到一个峰值后（一般为 $+20\sim+40\text{mV}$ ），就立即开始下降，进入复极的过程，跨膜电位很快恢复为静息时的内负外正状态。

细胞的膜电位取决于被细胞膜所分隔开的细胞内液和外

液中各种离子浓度的分布情况。通常，细胞内有较多的钾离子，而细胞外有较多的钠离子。由于细胞有一种“钠泵”的作用，使得钠离子一进入细胞内便被“泵”给推了出来。细胞膜从总体上看只对钾离子有通透性，因而静息电位就取决于钾离子的平衡电位。当细胞受到刺激时，膜的通透性发生一次短暂的改变，钠离子大量涌入膜内，使膜内电位迅速升高，直到跨膜电位达到钠离子的平衡电位。但这种情况是暂时的，膜的通透性很快恢复到原来的情况，即对钾离子有很大的通透性。钾离子大量渗到膜外，建立起新的钾离子平衡，使膜电位恢复内负外正的静息电位水平。随后，在细胞内的能量合剂——三磷酸腺苷（ATP）的作用下细胞膜进行离子转运，相当于打开了向外输送钠离子的“钠泵”和向内输送钾离子的“钾泵”，使细胞内外的离子浓差逐渐恢

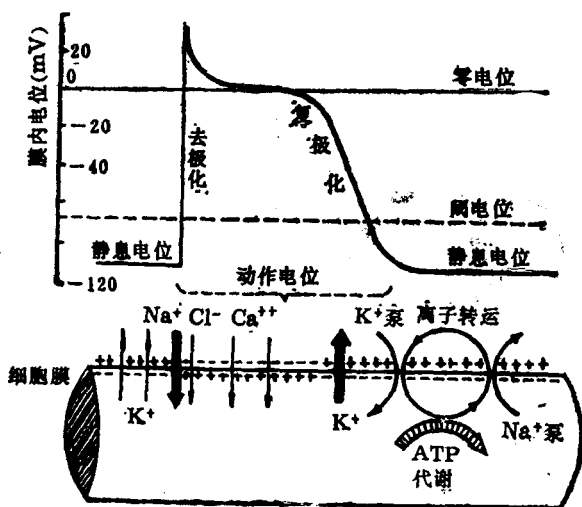


图 4 心肌细胞的跨膜电位和离子活动示意图

复，这一时期出入细胞离子所带电量正好相等，因而跨膜电位稳定在静息电位水平。图4是心肌细胞的跨膜电位和主要离子活动的示意图。

人体组织的
导电性

从细胞水平研究体内生物电现象是近三、四十年的事情，而以人体某一器官或组织的电现象为测量对象的心电图、肌电图和脑电图等早在本世纪初就开始在临床医学上得到应用(参见图5、图6)。1903年荷兰生理学家爱因托芬制成一种精密的电流计。1906年，他用这种电流计，通过安放在人体表面的两个电极描记下心电的波形——心电图。1929年德国精神病学家伯杰报告了他早期的研究工作：把电极放置到头部的不同位置，能够探测到节律性的脑电波。

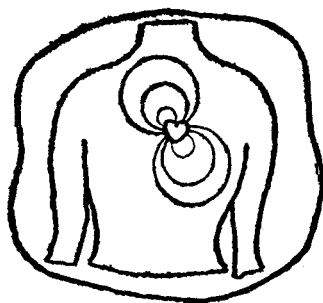


图 5 心脏搏动产生的心电在人体中传播

人体内部某一器官(如心脏)或组织(如脑神经)的生物电波形能够通过置于人体表面的电极来观察记录，这说明人体是一个导体。人体含有碳(C)、氧(O)、硫(S)、磷(P)、氯(Cl)、钠(Na)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)等元

素。这些元素相互化合构成水分、蛋白质、糖、脂肪和无机盐等，其中水分约占人体体重的60%~70%。许多元素以离子状态存在于血液、淋巴、脑脊液和组织细胞间液内。这些离子是人体内的电荷的主要传递者。

人体的组成十分复杂，不同部位的导电性能差别很大。表1是人体各种组织对直流电的电阻率。

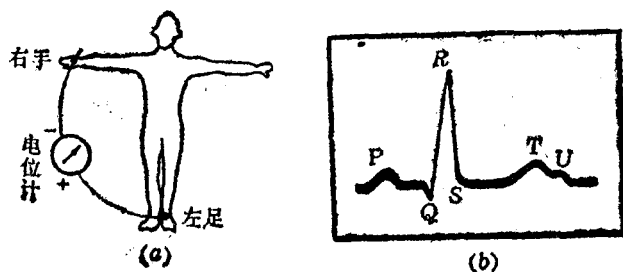


图 6 在右手和左脚放置电极，测定两极间电位差的变化就得到图(b)所示的心电图

表 1 人体组织对直流电的电阻率

组 织	脑脊液	血 清	全 血	神 经	萎缩肺	肝
电阻率($\Omega \cdot m$)	0.555	0.714	1.852	25.0	54.0	80.0

组 织	肌 肉	脑	脂 肪	湿的皮肤	干的皮肤	无骨膜的骨
电阻率($\Omega \cdot m$)	90.0	107	1080	3200	40000	2000000

从这个表可以看出，人体组织含水分较多的部分，导电性能也较强。脑脊液、淋巴液、血液、胆汁和胃液等是优良导体；神经、肝、肌肉、脑、肾等是良导体；干的皮肤、脂肪、胃和各种结缔组织等是不良导体；干的头发和指甲等是绝缘体。实际上，由于人体的各部分组织都不是单一性质的导体，而且在不同的生理和病理情况下，电阻率也很不相同，因而人体组织的导电情况是十分复杂的。

人体对电流的反应 人体对来自体外的电流刺激的感觉是比较灵敏的，特别是对工频（50Hz）交流电，只要1mA左右

表 2 人 体 对 电 流 的 反 应

通过电流的性质	直 流 (mA)		交流50Hz(mA)		交流10kHz(mA)	
性 别	男	女	男	女	男	女
有 感 觉	5.2	3.5	1.1	0.6	12	8
有痛苦感觉	62	41	9	6	55	37
痛苦难忍	74	50	16	10.5	75	50
呼吸困难肌肉收缩	90	60	23	15	94	63

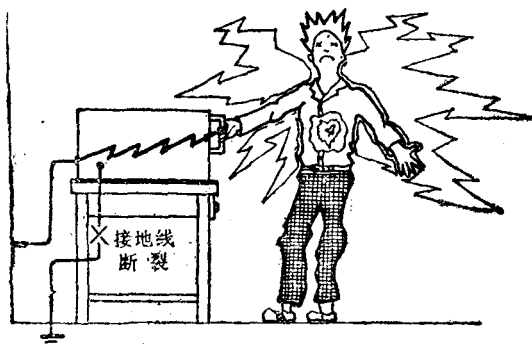


图 7 100mA左右的电流能使人触电致死