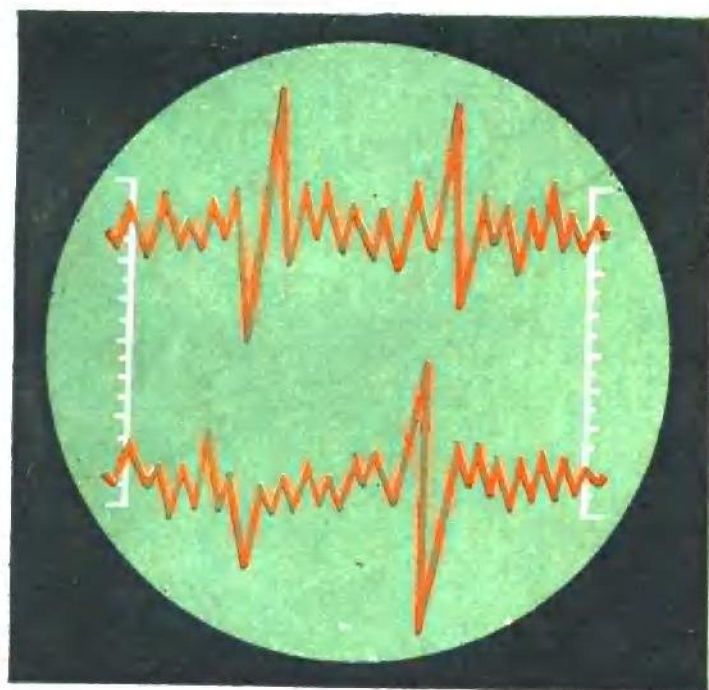


医疗电子学概论

YILIAO DIANZIXUE GAILUN

程稼培 赵保纯 编著



科学技术文献出版社

内 容 提 要

本书系统地阐明了电子学和电子技术在医院领域内的应用原理，介绍了医院电子学的有关基础知识。主要内容有：人体内部的电磁信息；电磁场和电磁波的生物学作用；电子学的医用基础；微波医学；由电子计算机引发的医院革命；电子化医用图像成像技术；激光医学和超声医学等。

本书内容由浅入深，顺序叙述，通俗易懂。主要读者对象：广大医务工作者和医疗卫生机构的干部；电子技术人员；大专和中等专科学校的有关专业师生。对于每一个关心健康的人，本书也是一本很好的参考读物。

医疗电子学概论

段穆德 赵保经编著

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 32开本 10印张 210千字

1987年1月北京第一版第一次印刷

印数：1—3000册

科技新书目：135—66

统一书号：15176·760 定价：2.05元

序

医学是一门最古老的科学，早在其他许多科学分支还处于襁褓时期时，医学就已成为一门较成熟的学科。

有史以来，医学始终是一门最活跃的科学分支，这是因为医学是一门研究人类生命过程、研究疾病治疗和预防的科学，它的兴衰直接关系到人类的生命和健康，维系着整个人类社会的幸福和繁荣昌盛。

源远流长的医学发展历史业已清楚表明：医学的任何重大进展和突破都有赖于医疗器械和诊断设备的发明、发展和完善。1676年光学显微镜的发明推动了人类对人体细胞、组织和病原微生物的研究，使医学实验研究上升到新的高度。1895年X射线（伦琴射线）的发现和随之出现的X射线透视摄影仪，开创了图像显示诊断的历史。本世纪三十年代第一架电子显微镜的诞生，为微生物学在医学领域内显示出它的重大作用提供了现实可能性。

今天，医学正处于一个新纪元的边缘。作为这个新纪元的三个主要标志是电子技术广泛深入地应用于医疗领域，以及人体器官的移植和人工（人造）器官的出现，而后两者仍需借助于电子学。

半个世纪前，化学仍几乎被看成是医学进步的主要动力，但现在，电子技术已为医学进步作出卓越的贡献。特别是随着微电子技术的发展和电子计算机的普及应用，使疾病

的诊断、治疗、预防和外科手术的面貌发生了令人难以置信的变化。从心脏起搏器到心电、脑电、心磁和脑磁描记仪；从电子耳到电子假肢；从激光医学技术到各种医用电子成像仪器，正在层出不穷地涌现出来。

现代电子技术的突飞猛进在很大程度上正推动着医学从经验科学向着定量的理论分析的方向和目标发展，使诊断由定性观察发展到定量分析；也使人们由以前致力于组织结构的解剖学再现逐渐转移到偏重生物化学过程的微观描述。

当前人类社会正经受着信息革命浪潮的冲击，而信息革命的狂波巨澜也正在冲击着业已经历了几千年发展历史的传统医学的栅栏，正在激起医疗腹地的重大变革。仅仅在三十年前，一个不懂电子学的人也许并不妨碍他成为一个称职的医师；但在今天，面对着蓬勃发展的技术新形势，一个不掌握医疗电子学基本知识的医务工作者大概不能再面无愧色了。

电子学从一开始就在觊觎医学领域中每一可能渗入（应用）的隙缝，而现代医学的每一重大研究成果也或多或少地借用了电子技术的最新成就。应该强调指出，现在医务工作者和电子学工作者比以往任何时候更需要携起手来，紧密协作，将电子学业已取得或即将获得的每一项重大成就，充分而迅速地反映到医学领域，使信息革命的浪潮在医学园地激起更广阔的波澜。

鉴于目前国内尚鲜见关于医疗电子学方面的专著，作者的初衷是向读者提供一幅医疗电子学的鸟瞰图。因此在本书中，作者既不准准备深入地探讨和阐明局部问题，更不一一介绍现有的各种具体医用电子设备系统，而是力图反映出电子

学在医疗领域的应用基础和一般应用原理，以留给读者一个比较完整的概念和印象，使他们在实际工作中能举一反三地加以灵活运用和思考。另外，本书除了阐述电磁场和各种波长的电磁波（包括微波、红外辐射、X射线、激光……）的医用原理外，还将超声医学列入本书内容之中。这是因为超声波实际上是用电子学的方法产生的。

最后作者希望本书能使读者领悟到：我们人体决不仅仅是化学的集合体，而是闪烁着电磁火花的生命体。这个生命体不仅能对外界的电磁条件产生敏感的反应，而且其自身能够不断地向外界提供发自体内的电磁信息。因此电子学不单单可以为医学提供各种各样自动化检测和诊断手段，而且还能直接地探测反映人体内部各种病变状况的潜在电磁信息，并进而控制和参与改造有病的机体。从上述这个观点来说，医疗电子学现在所已取得的成就，也许还只能算是个开端，未来的前景将更会令人惊讶。

段穆德 赵保经

1984年12月于上海

目 录

第一章	人体内部的电磁信息	(1)
1.1	生物电的发现	(1)
1.2	生物磁性	(7)
1.3	脑电和心电信息	(11)
1.4	脑磁和心磁信息	(19)
1.5	电磁信息在人体内部的传递	(23)
1.6	电子学的医用基础	(28)
第二章	电磁场和电磁波的生物效应	(33)
2.1	电磁场和电磁波	(33)
2.2	电磁场和电磁波的生物学作用	(42)
2.3	电磁场和电磁波的组织再生作用	(48)
2.4	电磁场的镇痛效应	(51)
2.5	有关电磁场或电磁波生物效应的几种解释和 假说	(55)
第三章	微波医学	(60)
3.1	微波的特性	(60)
3.2	微波的生物效应	(64)
3.3	微波诊断	(67)
3.4	微波治疗	(71)

3.5	微波的其他医用价值·····	(76)
第四章	电磁污染及其控制·····	(80)
4.1	电磁污染的涵义·····	(81)
4.2	低频电磁场和电磁波对人体的影响·····	(83)
4.3	微波引起的电磁污染·····	(87)
4.4	其他形式的电磁污染·····	(90)
4.5	电磁污染的控制和预防·····	(94)
第五章	电子计算机向传统医学的挑战·····	(100)
5.1	电子计算机诊断系统·····	(102)
5.2	计算机自动体检和普查系统·····	(111)
5.3	计算机监护系统·····	(120)
5.4	计算机医疗信息库和医疗信息检索系统·····	(129)
5.5	计算机在器官移植方面的作用·····	(133)
5.6	计算机促进医院管理自动化·····	(136)
5.7	计算机给残伤者带来福音·····	(139)
第六章	电子化医用图像成像技术·····	(147)
6.1	X射线计算机层析摄像技术·····	(148)
6.2	核磁共振成像技术·····	(157)
6.3	核辐射成像技术的进展·····	(170)
6.4	正电子发射断层成像技术·····	(172)
6.5	微波成像技术·····	(174)
6.6	医用红外成像技术·····	(178)

第七章	激光医学	(191)
7.1	激光原理.....	(192)
7.2	激光的特点及其医用基础.....	(198)
7.3	激光在眼科中的应用.....	(204)
7.4	应用激光治疗口腔和耳鼻喉疾患.....	(207)
7.5	激光治疗皮肤病.....	(210)
7.6	激光的外科临床应用价值.....	(214)
7.7	激光治疗烧伤病人.....	(221)
7.8	利用激光治疗和探测癌症.....	(224)
7.9	激光针刺.....	(230)
7.10	激光的其他医学用途.....	(234)
 第八章	 超声医学	 (238)
8.1	超声波的特点.....	(238)
8.2	超声波的生物效应.....	(245)
8.3	超声医学的主要内容.....	(251)
8.4	医用超声波的安全剂量.....	(273)
 第九章	 电子学照耀着医学前进的道路	 (278)
9.1	微电子技术对医学的促进作用.....	(280)
9.2	多功能电子诊断仪和电子式自动化分析仪的 大量涌现.....	(291)
9.3	无线电遥测技术进入医学领域.....	(305)

第一章 人体内部的电磁信息

1.1 生物电的发现

著名的美国物理学家、诺贝尔奖金获得者法伊曼曾说：“实际上没有任何一种生命自然现象不是与电同时产生的”。这就是说，没有电效应，就不可能存在生物的生命；或者说，哪儿有生命，哪儿就有电（生物电）存在。

上述结论早已为一系列实验所证实。但是人类从怀疑到确信生物电的存在，是经历了很长时期的艰苦探索过程的。

长期以来，生物学界和医学界一直把人体看成是化学的集合体。十八世纪末期在科学界出现了一场有意义的争论：争论的中心是动物体内会不会产生电？这场争论揭开了人们探索研究人体内部电磁信息的序幕，最后终于使人们逐渐明白：我们人类并不仅仅是化学和生物细胞的集合体，而是不停地闪烁着电磁火花的生命体。这个生命体既能够对外界的多种电磁信息有所反应，又能够不断地散发出反映体内器官情况的潜在电磁信息。这一新的认识为以后电子学长驱直入医学领域开辟了康庄大道。

这场激烈的争论首先是从所谓“生物电”的发现开始的，两位意大利学者分别充当了论战双方的主角。

一、伽伐尼的发现

1791年，意大利解剖学教授伽伐尼在进行青蛙解剖实验时发现了一个震惊当时欧洲科学界的现象，并由此挑起了一场争论。

原来当伽伐尼把待解剖的青蛙挂在铜钩上，并用钢制解剖刀同时接触蛙腿和铜钩时，发现蛙腿的肌肉突然颤动和收缩起来。青蛙已死多时，蛙腿怎么会颤动收缩？伽伐尼观察到此现象与青蛙腿部受到莱顿蓄电瓶¹⁾的放电刺激而出现的颤动现象极其相似。于是伽伐尼猜想：一定是蛙腿的肌肉神经中产生了电流，并认为这种电流是生物组织里某种活素作用产生的。后来人们把这种生物体内的电流叫做“生物电”。

1793年，当伽伐尼在伦敦英国皇家学会宣布这一发现时，立即引起了另一位意大利科学家——巴维亚大学物理学教授伏打的兴趣。他也拿起解剖刀，一再重复着伽伐尼的实验。

1796年，经过多次重复实验和仔细观察，伏打也发现确实是电流引起了蛙腿的颤动和收缩。但他认为电流并不是由蛙腿内部的生物电产生的，而是由两种不同金属相接触所产生的电位差引起的（称为“金属电”）。伏打发现只要将两种不同金属的一端同时去接触蛙腿的不同部位（见图1-1），蛙腿的肌肉就会呈现颤动现象。根据不同金属产生接触电位差原理，伏打于1800年成功地创制出人类历史上第一个人造

1) 盛水玻璃瓶的贮电作用是十八世纪四十年代初荷兰莱顿城卡那阿斯首先发现的，后经莱顿大学物理学教授马赫布诺克等人改进而制成为专门用来贮电的瓶子——莱顿蓄电瓶。在电池发明前，莱顿蓄电瓶充作电池之用。

电池，那就是历史上著名的“伏打电池¹⁾”。

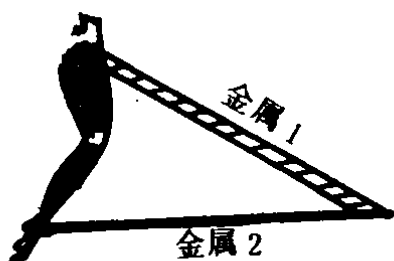


图1-1 伏打所进行的蛙腿颤动实验示意图

于是在科学界展开了“生物电”和“金属电”的争论。争论持续了很长一段时间。伽伐尼和他的支持者进一步用实验表明：即使不用什么金属，只要将青蛙的神经的一端拉出，并弯转过来再与其肌肉直接相接触，青蛙的肌肉同样地会由于电流流动而呈现颤动现象，这表明“生物电”的存在。但伏打电池不是也明白无误地证明“金属电”的存在吗？真正的科学是经受得住时间的考验的。本世纪初，随着“细胞膜电位”理论的提出，科学界才普遍接受了生物电的概念，并激起生物学家和医学家研究和探索人体内部生物电的热情。

二、细胞膜电位理论的提出和生物电存在的证实

探索生物电和金属电产生的完善机理是平息上述争论的最有效途径。

任何动物组织都是由一群群细胞和浸泡它们的体液所组成。每一个细胞都有一层很薄的细胞膜，将细胞的内液与细

1) 有关伏打电池的构造可参见《电子的基本概念》一书（赵保经编著，科学技术文献出版社1983年出版）。

胞外的体液隔开，而细胞膜内外的液体都是由水、蛋白、纤维蛋白、盐与一些其他物质所构成，这些都是具有良好导电性能的物质（电解质）。但根据本世纪初提出的“细胞膜电位”理论以及细胞膜内、外液体的浓度和化学成份不等，很自然地在细胞膜内、外液体之间出现了生物电位差。因此当动物机体的神经受到某种刺激时，将会出现短暂电流（瞬时生物电流，或称为生物电流脉冲）。

进一步的研究和测量表明（目前应用精密的电子测量仪器已能测量到单个细胞的电变化），安静时细胞膜电位差值一般为几十毫伏，而且膜内电位为负，膜外电位为正（内负外正）。当细胞膜遭受损伤时，膜电位将减小，或甚至消失。当动物体的神经细胞或肌肉细胞等一类可兴奋的细胞受刺激而传导冲动时，膜电位也将发生急剧变化，并暂时可使膜电位变为“内正外负”，因而所产生的生物电发生了变化。

细胞膜电位理论抹去了生物电的种种神秘色彩，使人们确信生物电的存在——凡是有生命的细胞，都会产生微弱的生物电和生物电流。实际上早在伽伐尼之前，人们早已从一些鱼类身上发现这种“生物电”的存在，只是当时既没有冠以“生物电”的名称，也更不知道产生生物电的机理。如在古罗马时代，人们已用能发电的一种电鱼来给人治疗风湿症。意大利和非洲有一种叫做“电鳗”的鱼，它体内的“生物发电机”可发出高达500伏的电压。当将两根很小的金属电极分别埋入大白鼠的腹腔和前腿皮下时，大白鼠竟成了一个“生物电池”，由这两根电极引出的大白鼠生物电已可供给一台小型发报机工作。

1966年，苏联科学家П·古利亚那夫借助高灵敏的电子放大仪器第一次将生物电所形成（产生）的极为微弱的电场记录下来。这种生物电场环绕着动物、人和甚至会飞的昆虫的神经、组织和机体。这就更使人们确信：一切动物，包括我们人类在内，都是活的带电体。

三、人体内的生物电

人体内各部分普遍存在着生物电，特别是以伴随神经细胞、肌肉细胞和感觉器官细胞活动的生物电更显得重要。

人体在新陈代谢过程中不断地进行着能量转换、信息传递和物质运输各种动作，并伴随着电子和离子的定向流动（电流），这就是所谓生物电流。人体的组织、器官的生命活动（如大脑的神经系统活动、肌肉运动、体液流动、心脏搏动……）都有生物电流参与。

当人体组织细胞活动时，细胞膜内外的液体（电解质）就会透过细胞膜相互渗透，从而导致膜电位的变化，由此产生出一定频率和强度的交流电（生物电流）或电磁波¹⁾。譬如人心脏的跳动将会在我们的身体表面产生1~2毫伏左右、频率为几十周的电压。人体各部分的肌肉是在大脑发生的信息控制之下活动的，其活动时产生的电位变化（电信息）叫作“肌电信号”。这种肌电信号虽很微弱（肌肉收缩时信号电压为60~300微伏；松弛时为20~30微伏），但其频率较高，有的已达到20~30千周/秒，这相当于远距离全

1) 根据物理学的电磁理论，方向和大小时时变化的交流电流会在其周围区域激发出由电场和磁场交替变化、并由近及远传播的电磁波（参见本书第三章）。

球通信和水下潜艇通信用的超长波段无线电波。就连人的小指头上也在不停地发射出无线电波，而且奇怪的是这部分无线电波比起身体其他部位来，要强得多。

如果人体内部某些组织的细胞发生病变或损伤（或者受到外界的一定强度的刺激），则该处的细胞膜活化的生物电荷将发生变化，从而使得由该处细胞组织发出的电信息发生变化——诸如强度、频率或时间间隔的变化。反过来可由这种电信息的变化反映出某部分机体活动的功能变化或组织器官的病变情况。

在1979年，美国科学家赫伯特·玻尔曾进行了下述实验以证实活细胞所存在的电性能。他在细胞上喷撒了两种粉末——一种是对电具有高度敏感的粉末；另一种是对电不敏感的粉末。在显微镜下比较细胞对这两种粉末的反应，以探测细胞周围的电场。结果发现，对电敏感的粉末被吸引通过这些细胞，就象有一块磁铁存在似的；而对电不敏感的粉末却不被吸引。由此证明了细胞的确会产生电场。玻尔还发现，从细菌到海藻，从老鼠到人的细胞，都会产生电场。

不仅是动物，植物本身也带电，植物体内也有电场和电流产生。植物体内产生电的原因并不是单一的。如植物根细胞在吸收矿物质元素时，由于矿物质元素在植物体内的分布不平衡而使植物带电。又例如当植物在日光下进行光合作用过程中，光合作用一方面将水分子分解成氢和氧，另一方面，在一定时期内，被分解出来的氢再被分解成带正电和负电的粒子，从而使植物荷电。实际上植物的每个绿色细胞起到了小发电机的作用。

人体内部各器官或组织所产生的生物电大小是很不同

的。除了心脏产生较强的心电外〔成人的心电幅度高达1毫伏（1000微伏）以上，即使是母腹中的胎儿心电，其幅度也达到5～50微伏〕，脑、眼和肌肉活动都会产生相应的生物电。表1-1列出了生物电的大致幅值与频率范围。

表1-1 生物电的幅值与频率范围

类 别	幅 值(微伏)	频率范围(赫兹)
心 电	1000～2000	0.05～100
胎儿心电	5～50	0.05～100
脑 电	50	0.5～30
肌肉动电	收缩时：60～300 松弛时：20～30	直流～30千
眼 电	1000	直流
视网膜电	100	0.1～30
诱发电位	10	直流～60

1.2 生物的磁性

一、磁性是物质的一种基本属性

近代物理学的电磁理论指出：一切磁性都起源于电流，即哪儿出现电流，哪儿就会显出磁性¹⁾。早在1820年，人们就发现通电流导线周围存在着磁场这一现象²⁾。现时广泛应

1) 读者如欲详细了解这方面内容，请参阅《电子的基本概念》一书（赵保经编者，科学技术文献出版社1983年出版）。

2) 此现象被称为“电流的磁效应”现象，是1820年丹麦哥本哈根大学物理学教授奥斯特首先发现的。有关这方面的知识可参阅《物质的磁性及其新应用》一书（赵保经编著，科学技术文献出版社1985年出版）。

用的电磁铁就是据此制作的。电磁理论还指出：当电流大小和方向发生变化时，由电流产生的磁场强度和磁场方向也随之发生改变。

大家知道，电流是由电子或其他带电粒子的定向运动引起的（实际上带电粒子荷电的原因也是由于得到额外电子或丧失固有电子导致的，因此我们可以将电流归结为电子的定向运动）。电流愈大，所引起的磁性或磁场强度也愈强。已知电子是组成任何原子和所有物质的最基本的重要材料之一；哪儿有物质，哪儿就存在着不停地运动着的电子。所以电子、原子和其他许多基本粒子都显示出磁性，由这些基本粒子构成的宏观物质也都具有磁性。所以磁性是所有物质的一种基本属性，只是不同的物质所具有的磁性强弱相差十分悬殊而已（可相差几十万，甚至几千万倍）。

二、生物的磁性

构成生物活体的生物材料同样地也具有磁性。许多动物利用自身固有的磁性和借助地球磁场来确定方向。鸽飞万里，仍能回归老巢；洄游的鱼类能从遥远的太平洋，游回它们的出生地；蜜蜂能从几公里之外的觅食地正确无误地找到自己的蜂巢。晚近的研究表明，在鸽子一类动物体内确实存在着类似于磁针罗盘那样能够确定方向的所谓“生物罗盘”。而且科学家们确实从一些动物体内找到了具有磁性的微粒。

在前面我们已经叙述了生物体内生物电的存在。生物（动物）体内各部分器官、组织的生命活动——诸如大脑活动、神经活动、肌肉运动、心脏搏动，都伴随有生物电流产

生。生物体新陈代谢过程中某些物质的运输、信息的传递和能量的转换都离不开生物电流。根据哪儿有电流，哪儿就有磁场产生的原理，那么这些生物电流就必然会显示出磁性。

另外，构成生物活体的生物材料中有些物质本身就含有顺磁性和铁磁性物质¹⁾。如含铁的血红蛋白、铁蛋白和肌蛋白，含铜的血蓝蛋白和肝铜蛋白，以及含有钴的维生素等，它们的结构和功能与其所表现出的磁性紧密相关。肝、脾的磁性就是起源于上述磁性生物材料。

三、人体内的磁信息

科学家们确实陆续地发现和测出发自人体的磁场。现已发现，人的心、脑、肺、肌肉和肝、脾都会产生磁场。但是人体的生物磁场是极为微弱的，与我们生活的地球所产生的磁场（地磁场）相比，只有后者的十万分之一至十亿分之一。显然，这就需要借助极为灵敏的磁场检测仪器，特别还要求排除地磁场和其他环境磁场的干扰。从六十年代后半期开始，随着高灵敏度磁场检测仪器陆续出现后，人体的生物磁场探索研究工作有了突破。由此可见医学的进展是如何有赖于检测手段的进一步完善的。

1964年出现的所谓超导量子干涉器（SQUID）——超导

1) 顺磁性物质是指在不均匀磁场中受到磁力作用后趋向强磁场的一类物质，如铁等一类物质即是顺磁性物质。在顺磁性物质中有一类物质——如铁、镍、钴等，其内部原子的磁矩显示规律的有序排列，因而比一般的顺磁物质所显示出的磁性要强几十万倍，这类物质称为铁磁性物质。