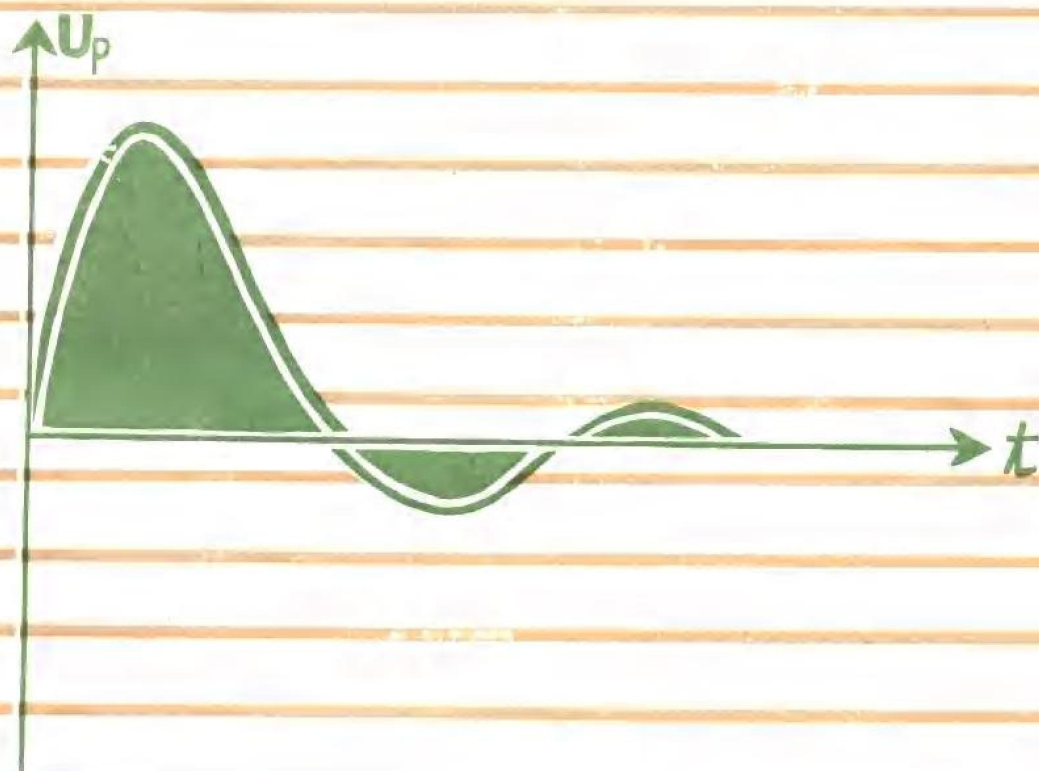


YIYONGDIANZIXUEJICHU

医用电子学基础

上册 陈永信 韩瑞芬 编著



山西科学教育出版社

医用电子学基础

陈永信 编 著
韩瑞芬

山西科学教育出版社

前 言

《医用电子学基础》是介绍医、工交叉学科的一门技术基础知识参考书。随着电子学的迅速发展，电子学已渗透到医学的各个领域，极大地促进了基础医学的发展和诊断、治疗与护理水平的提高。目前，医用电子学的发展水平已成为衡量当代医学发展水平的重要尺度之一。

在编写这本参考书的过程中，力求从医用信息的提取、加工处理和传输入手，介绍医用电子学的基础知识。全书共分十二章，包括绪论、生物电、医用传感器、心电图仪器、脑电仪器、超声仪器、红外线技术在医学上的应用、医用X线电视、医用遥测、血流量的测量、医用激光器、医用计算机和CT技术（其中，第十二章医用计算机和CT技术由韩瑞芬编写）。

这本参考书是在教学实践中，经过反复不断地对内容进行增删而成的。在编写中承蒙西安交通大学蒋大宗教授、山西医学院乔健天教授、太原工业大学陈衍翊付教授及中国科学院环境研究室、北方交通大学、重庆大学和华东师范大学一些同志的热情帮助和指导，并得到上海医用电子仪器厂、上海医用仪表厂、北京朝阳电子仪器厂、武汉无线电研究所、广州无线电研究所、山西电子技术研究所、山西医疗器械厂、北京医疗器械厂等单位的积极支持和协助，在此一再表示衷心感谢。由于水平有限，教学经验不足，书中错漏之处一定不少，谨请读者批评指正。

编著者 1985.6.

内 容 简 介

《医用电子学基础》是介于医、工之间的技术基础参考书。全书共十二章，主要讲述医用信息的产生、提取、加工和传输。

本书可供中专以上文化程度的工程技术人员和医务人员，进行医用电子技术研究的基础参考书，亦可作为短训班的教材。

目 录

(上 册)

第一章 绪论

- § 1—1 医用电子学的发展历史和动向…………… (2)
- § 1—2 医用电子学的一般原理…………… (8)
- § 1—3 医用电子仪器的设计原则和技术指标 …… (15)

第二章 生物电

- § 2—1 生物电现象…………… (19)
- § 2—2 动作电位与刺激的关系…………… (26)
- § 2—3 动作电位的传播…………… (29)
- § 2—4 容积导体电场…………… (31)
- § 2—5 电偶与容积导体中的电位…………… (33)
- § 2—6 视网膜电图和眼电图…………… (34)
- § 2—7 肌电图…………… (37)
- § 2—8 耳蜗的生物电…………… (40)

第三章 医用传感器

- § 3—1 交、直流电桥…………… (44)
- § 3—2 环形相敏检波器…………… (55)
- § 3—3 位移传感器…………… (58)
- § 3—4 压电传感器…………… (73)
- § 3—5 温度传感器…………… (77)

第四章 心电仪器

- § 4—1 心脏的解剖及生理功能…………… (89)
- § 4—2 心肌细胞和特殊心肌细胞的电生理…………… (91)
- § 4—3 正常心律与异常心律…………… (104)
- § 4—4 心电图的导联…………… (108)
- § 4—5 心电向量环及其投影…………… (116)
- § 4—6 心电向量图机…………… (119)
- § 4—7 心电图机的组成…………… (123)
- § 4—8 心脏起搏器…………… (141)
- § 4—9 除颤器与心脏复律器…………… (160)

§ 4—10 心电图的右脚驱动系统····· (166)

第五章 脑电图机

§ 5—1 概述····· (170)
§ 5—2 脑电图的电生理学基础知识····· (174)
§ 5—3 导联方法····· (178)
§ 5—4 人脑诱发电位····· (182)
§ 5—5 脑电机的组成····· (184)
§ 5—6 ND—82B型国产脑电机····· (188)
§ 5—7 生物电极····· (205)

第六章 超声在医学中的作用

§ 6—1 超声的物理特性····· (215)
§ 6—2 超声换能器····· (227)
§ 6—3 超声诊断仪····· (232)
§ 6—4 超声多卜勒 Doppler 诊断仪····· (250)
§ 6—5 超声液面全息····· (266)
§ 6—6 超声显象的新技术····· (271)
§ 6—7 超声诊断仪的使用和维修····· (279)

第一章 绪论

近代电子技术的迅速发展，已经广泛地渗透到医学的各个领域。从基础医学的研究到临床诊断、治疗和病房监护都离不开电子技术的应用。电子技术在医学领域中的应用正在日益扩大，在这个应用的过程中，电子技术也不断地吸取了生物医学领域中其它学科的知识，例如生物物理学、电生理学和生物工程学等方面的知识，从而逐步地形成了一门独立的新学科，即医用电子学（Medical Electronics简称ME）。

随着科学技术的不断发展，电子技术以外的理工学科例如力学、高分子化学、金属学、工程学、机械学、系统控制论和计算机等也相继渗透到生物医学领域。在这个渗透的过程中，同样地各个学科也不断地和生物医学理论相结合，在知识领域中彼此渗透，互相交错，从而形成了一门包含内容更为广泛的边缘学科，即生物医学工程（Biomedical Engineering简称BME）。

在生物医学工程的发展过程中，医用电子学又为生物医学工程的研究提供了准确的测试、显示和控制手段。所以医用电子学在一定程度上又进一步促进了整个生物医学工程的发展，因而医用电子学又被人们誉为整个生物医学工程的先行技术。

医用电子学的迅速发展，极大地促进了医学领域中基础医学的研究和诊断、治疗以及监护技术水平的提高。目前，医用电子学的发展程度已成为衡量一个国家或一个地区当代医学发展水平的重要尺度之一。

医用电子学研究的内容和应用范围比较广泛，一般可归纳为如下几个方面：

（1）生物医学检测 包括生物电的测量、流速和流量的测量、位移和压力的测量、放射线的测量、超声的测量以及红外线和温度的测量等；

（2）生物医学显示技术 包括X线电视、监护电视、显微电视和光纤内窥镜等；

（3）生物医学材料和器件的研制和应用 包括各种医用传感器，各种仪器所使用的电极及生物医学用的特殊电源等；

（4）生物医学信息处理和传递技术 包括生物医学信息处理，医学图像识别和生物医学数据传递等；

（5）电对生物组织的刺激技术 包括电刺激理论的研究和应用，放射线的生物效应，超声的生物效应以及电磁场对生物组织的作用等；

（6）生物医学系统的研究 包括医院的自动化系统、自动保健系统、环境监测技术和地区医疗系统等；

（7）人体功能的辅助和修复技术 包括人工脏器（人工心脏、人工肾等），电子动力假肢，感觉器官的辅助装置以及人体组织的保存技术等；

（8）生物系统的模拟技术 包括对神经系、感觉系、消化系、循环系等的模拟技

术；

(9) 医工之间的协调教育 包括生物医学工程的教育, 生物医学和理工学科的协调教育等。

实践证明, 全面地应用医用电子学, 对促进医学基础研究, 提高临床诊断、治疗、护理、保健等工作的质量都有重大意义。因而, 从广义的角度来看, 医用电子学又是仿生学、生态学、空间技术、生物工程学等方面的一种重要的研究方法, 是一门先行技术, 不言而喻, 今天医用电子学的应用和发展水平已成为衡量医学发展水平的重要标志之一。

§ 1—1 医用电子学的发展历史和动向

回顾和了解医用电子学的发展历史, 对促进这门边缘学科的发展是很有意义的。

1780年意大利解剖学家伽发尼(Galvani)首次提出活组织与电的关系, 奠定了电生理学基础。而电子技术第一次被用到医学上应该从伦琴(1895年)发现X射线开始, 1907年Einthoven用弦线电流计成功地记录心脏活动电位。待电子管、阴极射线管发明后, 电子技术在医学上的应用又向前推进了一步。1929年德国精神病学家李格(Berger)用改进的弦线式电流计做出了人脑的第一张脑电图。1940~1942年Scheaefer又系统地描述了电生理学。但从此以后, 在较长的一段时间内, 由于医学与电子学缺少协调知识, 两者未能交叉、渗透、使医用电子学比其它科学技术的发展推迟了若干年。

本世纪六十年代后, 随着电子器件微型化, 显示技术多样化, 加上电子计算机、彩色电视和粒子加速器等的应用, 医用电子学才得到突破性的发展。在此期间, 生物学、生理学、生态学、生物工程学、仿生学和空间技术等又给医用电子学提出了不少新的课题, 进一步推动了医用电子学的发展。

随着集成电路、激光、小型电子计算机、新型显示装置的相继出现, 使医用电子学发生了质的变化。总的趋势是, 医用电子学使常规的诊断、治疗和监护过程均进行数据处理, 从而形成了一个完整的自动化系统——电子监护治疗系统。

从医用电子学的发展阶段来看, 六十年代初期各国重点是研制和应用各种新型临床诊断装置——取得医用数据手段, 这方面的技术已趋成熟。

六十年代中期, 由于小型电子计算机的实用化(简化了程序编制、造价低、体积小), 使获得的医用数据能得到快速逻辑处理, 从而转向诊断、治疗自动化, 向提高早期确诊率的方向迈进。

七十年代, 医用电子学的发展极其迅速, 1972年一些发达国家提出医学全面电子化, 可见医用电子学对医学的推动作用。

八十年代, 医用电子学的发展趋势可概括为以下几点,

(1) 在医用电子技术装置的设计方面, 力求小型化、轻量化、多功能、高灵敏度、稳定可靠和显示记录多样化。

在小型化方面, 国外研制出一种“医用手表”, 可自动指示体温、脉搏和血压的数

值。这对日常门诊检查、临床监护是一项革新。一种供医务人员连续观察的监护装置——电子监护系统，已用于冠心病加强监护室(CCU——Coronary Care Unit)。它可以对若干重症病人进行连续观察(或遥测)ECG、心搏出量、心律和心率，其它如体温、血压、呼吸、尿量、血内气体分析(动脉血内 p_{O_2} ， PCO_2)等医用数据，需要时亦可记录，当超出正常范围时，有自动声光报警，并进行快速处理。使用这种监护系统后，大多数冠心病患者可免于突然死亡。

(2) 改革X线诊断机。总的趋势是：提高X线成像分辨率，降低X线辐射剂量，扩大诊断范围，提高可靠性，简化操作。目前X线诊断机单相输出已达600mA，三相已达1200mA，电压已达150KV的水平。不少国家在X线诊断装置中采用了电子自动遥控系统，从透视、拍片、床面调节、机头方向、视野调节、曝光和最佳照射剂量选择等过程全部实行自动遥控。在X线摄影方面，为了降低X线辐射量，并提高心血管造影清晰度，采用脉冲同步摄影法，即与摄影机组快门或录像机同步。

(3) X线电视将获得广泛应用，X线电视具有如下优点：比诊断用的X线剂量降低一个数量级；图片清晰度提高，便于医用信息遥控和传递；X线装置使用效率得到提高。

一些国家已研制出可变视野图像增强管，可把亮度增强8000倍，能放大局部病灶，扩大了X线电视的使用范围；另一方面为了提高电视转换系统的图像清晰度，已研制出1毫米焦点的旋转阳极X线管。

(4) 随着电子技术的进步，同位素诊断装置在准确度、灵敏度和确诊速度等方面将有很大提高，而且新型的闪烁照相机将取代旧式盖勒计数器，最近国外生产一种 γ 照相机，使用大型探头，视野直径达35厘米。该装置可在1~2分钟内得到多种器官清晰图像或在数秒钟内连续地摄影进行系统的动态观察。利用电子计算机可迅速计算放射线分布浓度，定量示踪数据，实现同位素诊断自动化。

(5) 医用电子学在治疗装置方面将进行革新。例如，国外在危重患者加强监护室(简称ICU——Intensify Care Unit)和冠心病加强监护室CCU中，广泛应用一种急救诊断治疗联合装置，其中包括心脏监视器、起搏器、除颤器、电动呼吸器和同步延时触发器等。当危重病人心脏停跳时，能自动进行处理。

(6) 放射线治疗是一个值得注意的动向。由于加速器的发展，各国对高能粒子治疗癌症日益重视。加速器是利用电磁场使带电粒子(如电子、质子及其它重粒子)获得能量的装置。加速器产生的射线有电子、 γ 、 α 等射线，能量比放射性同位素高，所产生的射束方向性好，能量可以控制，利用率高，操作灵活。粒子辐射与X线不同，它们是由中子、质子、介子以及失去电子的原子核组成，高能粒子有高度集中的穿透力，生物效应高，皮肤损伤少，它能把癌组织电离成带电粒子或与其它细胞核碰撞使其分裂，从而收到良好疗效。它的优点是剂量自皮肤达到预定深度后突然下降，故可保护比肿瘤更深的组织；剂量分布均匀，利用电磁透镜可保护比肿瘤表浅的组织及皮肤，并且辐照深度易于控制。加速器是一种综合性技术较强的装置，涉及机械、电工、电子技术、真空技术等各个学科。美国已有数百台医用加速器，日本也设置了几十台加速器。我国已研

制成功，并用于治疗。

(7) 六十年代以来，国外不少人研究磁场与机体的关系，提出了所谓生物磁学 (Biomagnetics) 在防止恶性肿瘤生长方面取得了良好的效果。今后生物磁学将得到发展。

(8) 电子学直接用于医学方面将取得很大发展。主要有：

①显示技术 最近有些国家已开始应用彩色的XTV装置。并用彩色电视摄像机播送手术实况，人们可以通过显示装置远距离观察手术情况。

②遥测技术 随着空间技术发展的需要，医用遥测技术亦相应得到发展，利用电子技术同时传递多种医用数据已不成什么问题。目前遥测制分有线和无线两种。有线遥测制主要用于医院（包括ICU和CCU病室）与患者间，通过专用线路、电话线路，或电灯线路进行传递。而无线遥测制用于传递活动对象（处于自然状态下的机体）如运动员、宇航员、潜水员等，通常是用图1—1、图1—2方式进行医用数据的传递。

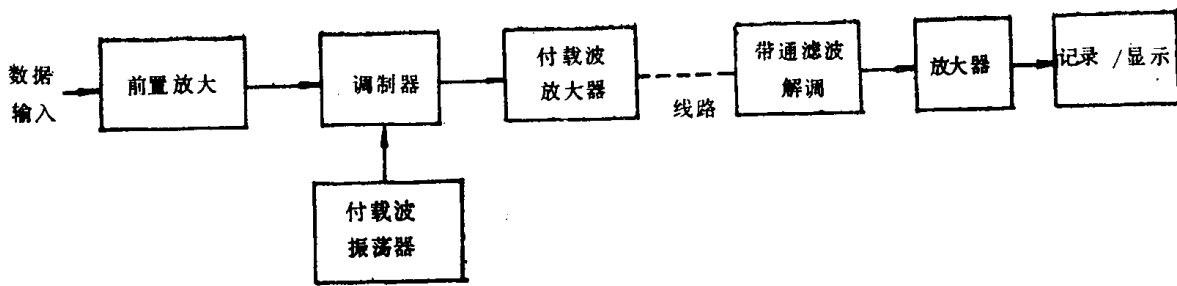


图1—1 有线传输

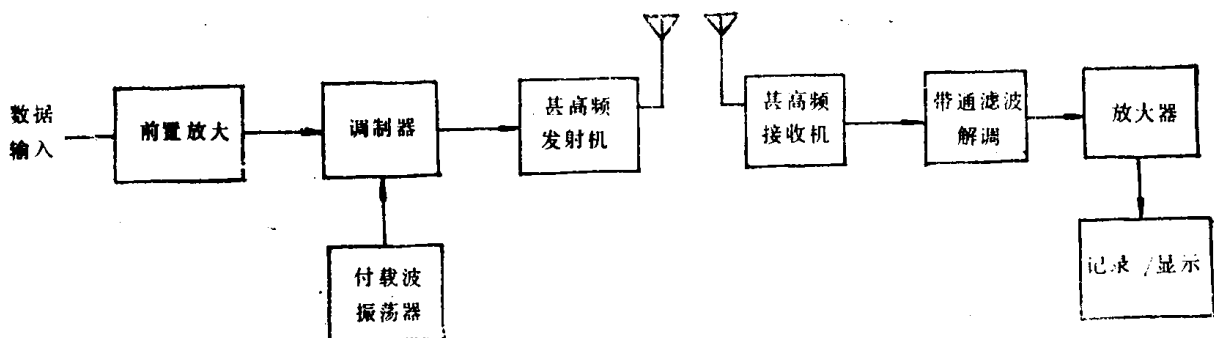


图1—2 医用数据无线传输

国外有一种所谓电子随诊系统，如图 1—3 所示，即从患者住处或医疗站利用电话线路将心电信号等医用数据送至大医院进行遥测诊断，然后再通过电话线路快速报告诊断和处理结果。全部过程在一分钟内即可完成。

利用遥测技术，近几年也相继出现微型电子内诊器，实际上它是一个微型 FM 发射机，直径一般 5~6 mm，长 9~10 mm。患者吞服后，通过发射机传递肠胃的温度、PH 值、压力和酶活性等数据。体外用 FM 接收机记录。从而测出肠胃的消化能机。

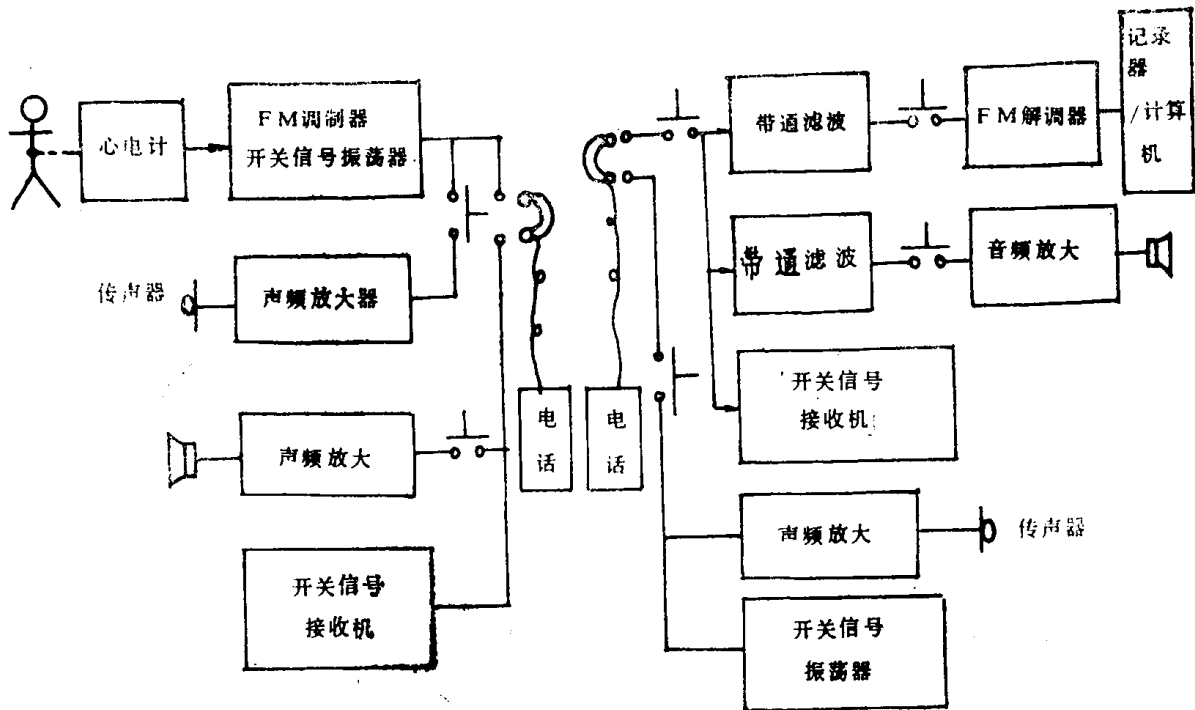


图 1—3 用电话线路传递心电图

③ 自控技术 近年来医用自控技术取得了显著进展，已出现各种自动检测、诊断装置，如自动体温计（见图 1—4）；自动呼吸率计（见图 1—5）；心电图自动解析装置。

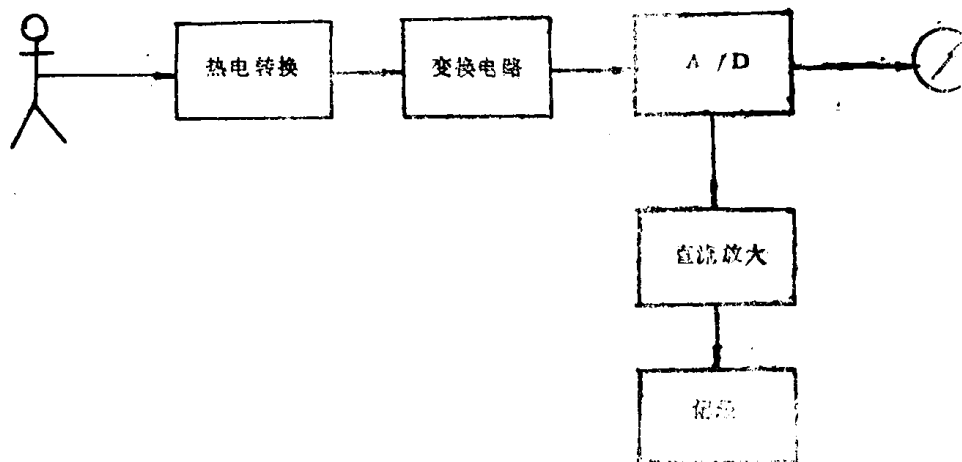


图 1—4 自动体温计

置(见图1—6);全自动心电监护装置(见图1—7);全自动患者监护系统(见图1—8)。

使用ME自动化系统大大地提高了医疗效能。美国自1962年开始建立ICU和CCU以来,已有几千座医院采用ICU、CCU方案,随后其它国家也相继建立。这种系统的核心是电子监护装置,可做到对急症病人及时诊疗。

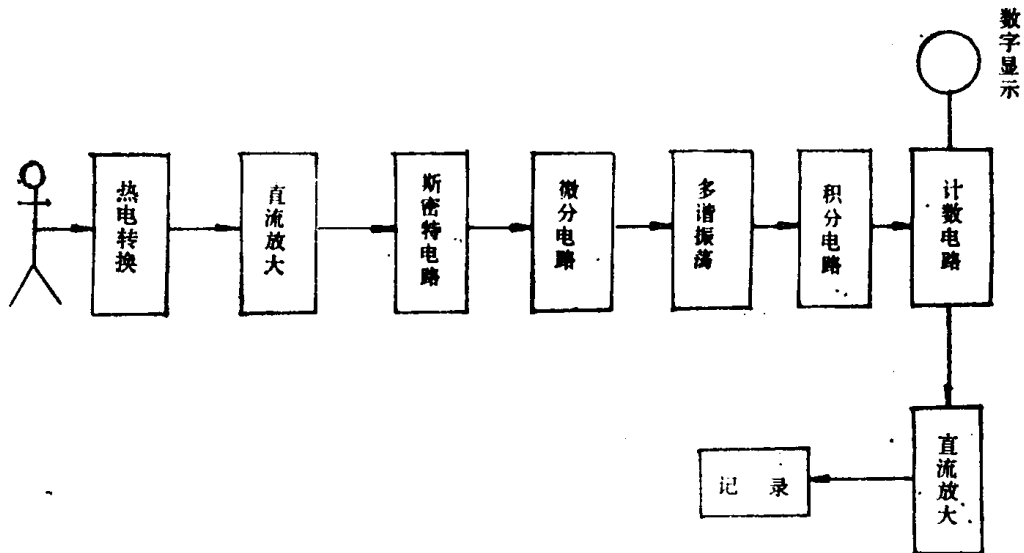


图1—5 自动呼吸率测量仪

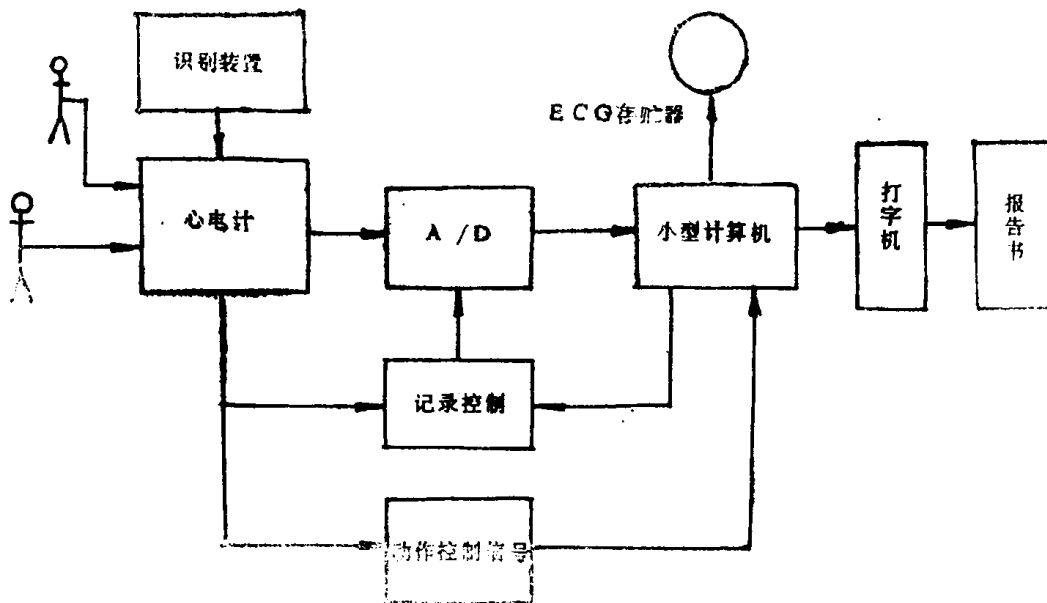


图1—6 心电自动解析装置图

④记录技术 现代磁带记录器可录制不同形式的信息。自1961年出现磁带录相机(VTR)以来,接着又出现磁带彩色录像机。医用VTR多采用螺旋式,磁带绕过圆柱形柱体进行半周或一周扫描,录头通过旋转圆柱体表面,把一场图像记录在磁带的—条磁道上。

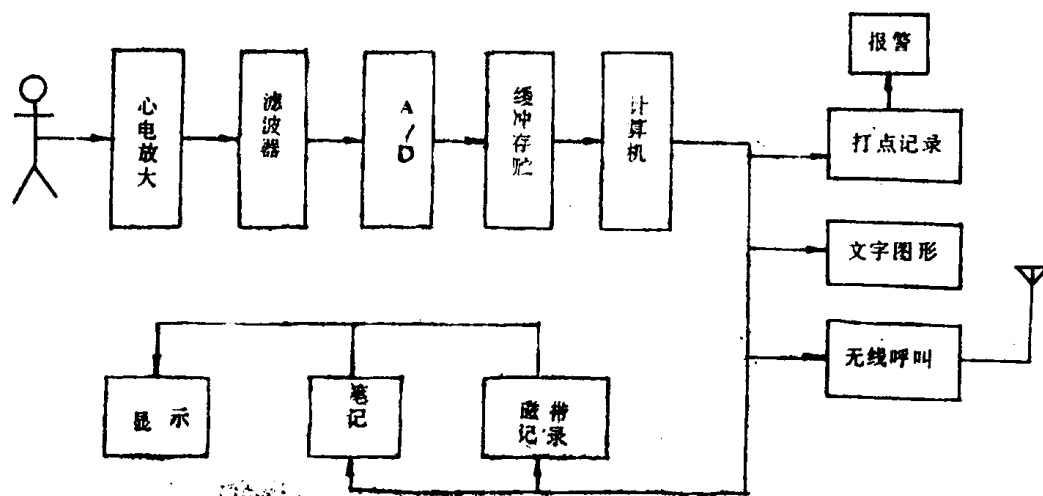


图 1—7 全自动心电监护装置

自动XY记录器和热笔记录器的性能指标都达到了较高水平,因而目前医用数据已

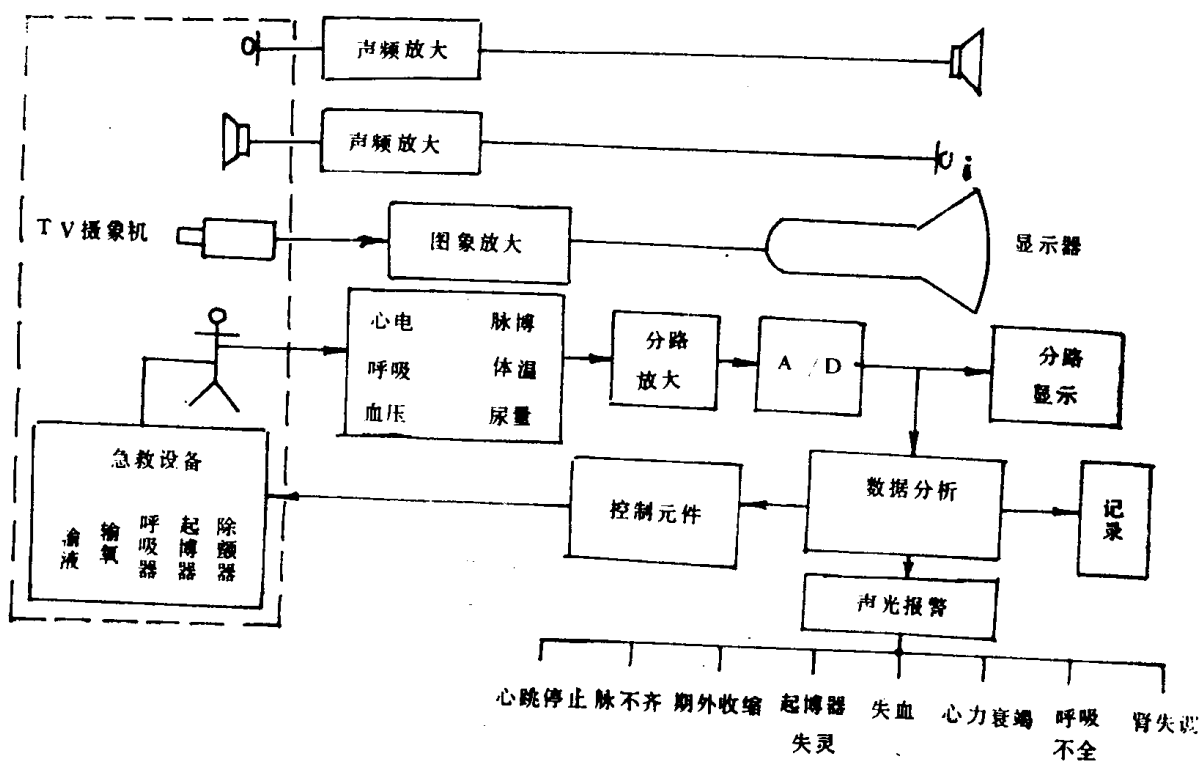


图 1—8 全自动监护系统方框图

全部可以用不同形式的记录器保存下来。

总之，电子学在医学方面的直接应用。除上述成果外，还有：利用红外线和超声波帮助盲人导向，如盲人眼镜、盲人手杖等；利用电子共振能谱技术（ESR），可以从自由基化学角度去发现组织间的病变，给早期诊断癌症提供一个可能性。利用阴离子发生器可改善呼吸系统疾病，对于消除疲劳，净化空气都有显著效果。

CT (Computerized Tomography) 技术自1972研制成功以来，被誉为一次重大的诊断技术革命。由于它在诊断上充分发挥了X线检查的能力，克服了一般X线透视和摄影把人体组织投影在平面上所造成的前后影像重迭的缺点，它用的X线剂量很小，减少了对病人的危害，能把X线透视无法分辨的肌肉、脂肪、积液和血液分辨出来，由于CT技术是一种快速、安全、直观和准确的检查方法，所以目前发展特别迅速，人们对这一技术抱有很大的希望。

目前，许多国家都很重视医用电子学的发展，国际间的医用电子学及生物工程会议 (International Conference of Medical Electronics & Biological Engineering简称ICME & BE) 经常召开，不少国家已相继成立了ME学会，例如美、英、日、德等国ME专业组织经常有数以千计的会员进行活动。有些国家在大学里还设置了ME专业课程。

我国解放以后，一些厂校相继进行ME的研究，并研制出不少的医用电子装置。近年来，一些高等院校也相继成立了生物医学工程专业或开设了医用电子学课程。全国生物医学工程学会已于80年11月在北京成立。这些都标志着生物医学工程这门学科在我国正朝气蓬勃地向前发展。

§ 1—2 医用电子学的一般原理

利用电子技术，可以把除了生物电以外的各种生理参数，都可以借助医用传感器变成易控制的电信号，进行放大、信号加工、A/D转换、显示和记录。这样就能比较方便地研究和观察生命过程的各种微妙变化，使得生命现象能够既客观又定量地显示和计算。

医用电子学按其原理包括五个方面的内容：

- (1) 计量机体组织参数——取得诊断数据；
- (2) 电刺激对组织的效应——治疗方法；
- (3) 各种射束的应用——诊断、治疗方法；
- (4) 医用数据处理——自动诊断、治疗系统；
- (5) 电子技术的直接应用——显示技术，遥测技术，自控技术，记录技术，光电子技术，低频技术及其它。

现将上述工作原理分述如下：

一、计量机体组织参数

由于人的机体是一极复杂的机构，通常临床诊断的数据较多，一般可分为物理量、生化量等几种形式。诸量都与生理状态有关，通过计量和比较彼此之间的变化，即

可作为诊断的主要依据,也就是说,变成了医用诊断数据。这些数据除了生物电以外都是非电量,这可借助各种医用传感器变成易控制的电信号,然后再予以放大、信号加工、A/D转换、显示或记录。利用医用电子学的方法,机体的主要诊断数据基本上都可以很方便地取得。

一般诊断装置的简单原理图如图(1-9)所示。转换前的信号一般强度较弱,变化较慢,这是医用信号的特点。如表1-1所示。

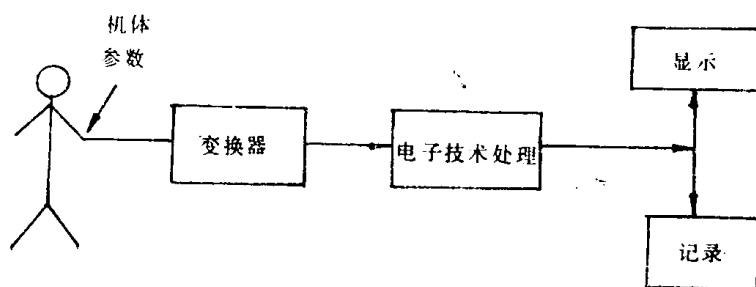


图1-9 一般诊断装置的原理方框图

表1-1

常用医用信号特点

机体参数	频带 (赫)	电压	阻抗
脑电(EEG)	0.5~70	10 μ v~300 μ v	10~50k Ω
肌电(EMG)	10~2000	10 μ v~15mv	1~10k Ω
心电(ECG)	0.1~200	100 μ v~2mv	1~30k Ω
视网膜电(ERG)	0~200	50 μ v~1mv	几+k Ω
眼震电(ENG)	0~60	50 μ v~1mv	1~30k Ω
眼电(EOG)	0~60	50 μ v~1mv	1~30k Ω
皮电阻(GSR)	0.03~10	100 μ v~5mv	1~30k Ω
细胞活动电	0~3000	数毫伏	20M Ω

医用数据变换关系 如表1-2所示。

表1-2

象用数据变换关系

数量 和 形式 转换	物 理 量						化 学 量
	压 力	热	位 移	声	时 间	电	气 体 / 液 体
医 用 数 据	血 压	皮肤温度	血流量	心 音	脉 搏 率	心 电	PCO ₂
	心内压	口腔温度	呼吸量	呼吸音	脉波传播速 度	脑 电	CO ₂
	脑内压	肛门温度	尿 量	血管音			
	膀胱压	血液温度	发汗量		血 流 速	肌 电	PO ₂
	子宫压	胃液温度	房水量		神经传播	视网膜电	N ₂
	眼球压	体温差	心震颤		速 度	眼震电	pH
	胸腔压					皮电阻	血 氧 饱 和 度
	体液渗透压					细胞活动电	
转 换 方 式	电磁器件	热敏电阻	热敏电阻	压电器件	电器件	板电极	光电器件
	压电器件	热电偶	电磁器件	电磁器件	压电器件	针形电极	比电比色
	差动变压器	红外器件	光电器件	变容器件	热敏器件	微电极	
	压敏电阻		压电器件		热 电 偶		
	变容器件						

一般医用电子学的诊断装置的用途和性能如表 1-3 所示。

通常一部分临床检验数据需要从组织取出标本进行化学、生化分析和形态观察。用现代医用电子学的方法进行分析和观察可以做到又快又准。在分析方法上主要可归结为：电化法、光电法和光谱法。所用装置有：光电比色计、分光光度计、自动比色分光光度计、质谱仪、色谱仪，电子粘度计、电子恒温器等。

形态观察主要是用光学和电子光学方法，如光学显微镜、位相差显微镜、TV 电子显微镜等观察工具。

医用电子技术亦可用于血球自动计数和分类。

表1—3

“一般医用电子学诊断装置的用途和性能”

名 称	用 途	特 点
心 电 图 机	检查心脏功能	可连续观察心电波形，对心脏病有特殊的诊断意义
向量心电图机	检查心脏动态功能	可同时观察、测量心脏立体向量心电图
脑 电 图 机	用于脑外科、神经外科、麻醉科及生理研究	对诊断脑内病变有一定意义
肌 电 图 机	用于检查运动神经	对诊断中枢神经系统、检查自发性肌肉活动有一定意义
眼 电 图 机	检查视觉功能	辅助眼科疾病的诊断及公安审讯
皮 肤 电 阻 计	用于研究条件反射	
子 宫 电 计	用于观察子宫收缩变化	能与分娩系统自控仪联用
细 胞 电 位 计	研究细胞兴奋传递	
胃 电 计	检查胃收缩机能	
血 压 计	观察血压连续变化	
血 流 量 计	测量血流量、失血量	
体 温 计	测量机体各部位温度	精度达到0.01℃
基 础 代 谢 计	测定甲状腺机能	
气 体 分 析 仪	测定呼吸、代谢机能	自动测定，可用于监控

二、电刺激对组织的效应

电刺激对活组织的作用是多方面的，电刺激活组织后，将引起一系列物理化学变化，最后导致组织的生理变化。通常机械的、化学的刺激也可产生治疗作用，但是电刺激容易控制，治疗比较方便。

从物理化学角度分析，通电子组织，其体液内将产生离子迁移（电解质导电），使离子浓度变化，伴有电泳、电渗等效应，从而改变生理状态过程。

使用不同频率，持续期的电压、电流，或不同极性 & 波形的电刺激，其治疗作用也