

医用电子技术

〔日〕池田谦一等著

上海科学技术文献出版社

医 用 电 子 技 术

〔日〕池田谦一 等著

梁 华
彭子明 等译
唐秉寰 校

上海科学技术文献出版社

医用电子技术
〔日〕池田谦一 等著
梁 华 等译
彭子明
唐秉襄 校

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)

总发行所上海发行所发行
浙江德清洛舍印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.25 字数 296,000

1983年11月第1版 1983年11月第1次印刷

印数: 1—7,200

书号: 15192·272 定价: 1.50 元

《科技新书目》59-258

译 者 序

近年来,随着电子技术的迅速发展和医疗实践的需要,电子技术愈来愈多地应用到医学领域,它与医学相互交叉,相互渗透,同时汲取了生物物理学、电生理学、生物工程学、机械工程学、化学、材料科学和系统工程学等方面的知识,形成了一门新技术——医用电子技术。

医用电子技术作为一门新兴的边缘学科,它综合运用生物医学和电子学的相应理论、方法和技术来解决生物医学中的有关问题,深入研究生物体的结构、功能和相互关系,并从生物医学中得到启示,促进电子技术的发展。

目前,这门学科发展迅猛,它的内容极其丰富,而且还在不断地扩大。但是,系统地归纳这门学科的书籍还很少。本书根据池田谦一等所著“医用电子工学”(日本コロン社,1980年版)译出,具有内容丰富而广泛,阐述系统而简明的特点,并附有大量实用的数据、照片和图表。因此,本书对于初学医用电子技术,渴望了解这门学科概况的读者是一本较好的入门书,而且对于已经在这个领域从事研究的医务工作者、生物医学研究人员和工程技术人员,也是很有参考价值的。

本书共分五章。第一章作为医用电子技术的基础,叙述生理学和生物工程学的有关知识,阐明神经系统、运动系统、呼吸循环系统和生物体系统的特征。然后用三章篇幅分别叙述目前电子技术在生物医学中应用的三大方面内容:生物医学测量、生物医学信息处理、生物控制与机能替代。亦即:第二章叙述生物

电子测量,具体地揭示了噪声、电极、传感器、遥测器、光电技术和超声波应用等的原理和方法;第三章叙述生物信息的检测与处理,讨论了时间序列信号的特征提取、从噪声中检测信号和自动诊断等方法;第四章叙述生物体的控制与机能替代,说明了电麻醉、激光治疗、电刺激控制、生物反馈、感觉和运动机能的替代以及人工器官等问题。最后的第五章则是以心电图机和脑电图机为主,论述了各种医用电子仪器及其应用,此外还叙述了患者监护装置、自动标本检验装置、超声波诊断装置、医用数据处理系统和医疗信息系统等。

本书第一章由上海第二医学院顾洪熙同志等翻译,第二章由上海医疗器械专科学校彭子明同志翻译,第三、四、五章由上海科技大学梁华同志翻译。全书由辽宁省医疗器械研究所唐秉襄同志校阅,由梁华同志复校了第一章并写了译者序。此外,上海第二医学院秦家楠同志曾对第一章部分译文提出了宝贵意见,在此表示谢意。

在本书的翻译过程中,对原著中的错误尽可能作了更改与注释,但是限于译者水平,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

译 者

1982年10月

目 录

第一章 医用电子技术的生理学和生物工程基础	1
1.1 神经系统及其模型	1
1.1.1 神经元	1
1.1.2 神经细胞的有关数据	3
1.1.3 神经的模型	5
1.1.4 神经网络	12
1.1.5 神经集团的特性	13
1.1.6 神经网络的模型	14
1.2 运动系统	17
1.2.1 神经系统的构成	17
1.2.2 运动系统的构成	18
1.2.3 作为效应器的肌肉的性质	19
1.2.4 运动系统的功能	21
1.3 呼吸及循环系统	23
1.3.1 心脏活动的电现象	24
1.3.2 心脏的力学作用	31
1.3.3 血行动态	34
1.3.4 循环系统的神经性调节	38
1.3.5 循环系统的整体协调	41
1.3.6 呼吸系统	43
1.4 人体系统的特征	47
1.4.1 人体系统的结构	47
1.4.2 人体控制功能的特点	48

第二章 人体的电子测量	51
2.1 概论——人体测量的特殊性	51
2.2 抑制噪声和失真的各种措施	54
2.2.1 对测量对象性质的认识	55
2.2.2 人体上的感应噪声	55
2.2.3 感应噪声的抑制措施之一(屏蔽)	57
2.2.4 感应噪声的抑制措施之二	58
2.2.5 低噪声放大器	63
2.2.6 波形失真及其抑制措施	65
2.3 人体测量用导引电极	67
2.3.1 表皮电极	67
2.3.2 皮下电极	72
2.3.3 微型电极	73
2.3.4 应用半导体技术的电极	76
2.3.5 电极的交流特性	78
2.4 医用传感器	79
2.4.1 概述	79
2.4.2 人体现象与传感器的种类	81
2.4.3 人体与传感器的连接方法	82
2.4.4 传感器的抗噪声特性与失真度	83
2.5 医用遥测仪	84
2.5.1 医用遥测仪的种类与遥测对象	84
2.5.2 遥测仪的基本结构形式与注意事项	84
2.5.3 无线遥测仪的基本电路	86
2.5.4 利用电话线的模拟数据传输	88
2.5.5 无线电探测胶丸	90
2.5.6 调制方式的选择	91
2.5.7 其它	94

2.6	探测管与光导纤维	94
2.6.1	用探测管诊断循环系统	94
2.6.2	用探测管导出血压	96
2.6.3	光导纤维的构造与特性	98
2.6.4	用纤维光束测定压力	99
2.6.5	内窥镜和光导纤维的医学应用	100
2.7	用检测阻抗变化测定人体现象	101
2.7.1	载波信号的选择	102
2.7.2	阻抗的测定	103
2.7.3	人体阻抗变化的机理	106
2.7.4	检测阻抗变化以测定人体现象的实例	107
2.8	用光电子学作人体测量	112
2.8.1	使用热象仪的人体测量	112
2.8.2	全息照相术的医学应用	116
2.9	超声波测量和放射线测量	119
2.9.1	利用超声波作人体测量	119
2.9.2	利用放射线作人体测量	126
2.10	利用电视作人体测量	135
第三章	生物信息的检测与处理	138
3.1	引言	138
3.2	生物信息检测与处理的基础知识	140
3.2.1	生物模拟信息及其数字化	140
3.2.2	拉普拉斯变换	143
3.2.3	系统的框图表示与传递函数	145
3.2.4	傅里叶分析与相关函数	148
3.3	系统信息的检测	156
3.3.1	系统传递函数的测定	156
3.3.2	用模拟仿真确定系统参数	166

3.4	检测时间序列信号的特征提取处理	171
3.4.1	畸变的修正	171
3.4.2	波形分析	175
3.5	生物体噪声中的信号检测	189
3.5.1	生物体噪声中的信号	189
3.5.2	数字滤波器	190
3.5.3	平均响应法	196
3.5.4	胎儿心电图检测的几种方法	201
3.5.5	从噪声中分离出科罗特科夫音	208
3.6	自动诊断	209
第四章	生物效应、生物控制和生物机能的替代	218
4.1	引言	218
4.2	电麻醉	219
4.3	高能治疗技术	224
4.3.1	高频手术刀	224
4.3.2	激光手术刀	226
4.3.3	激光治疗	229
4.3.4	脑组织凝固	231
4.3.5	微波电热疗法	234
4.3.6	其他	236
4.4	利用电刺激控制和替代生物机能	238
4.4.1	刺激参数	238
4.4.2	心脏起搏器	240
4.4.3	除颤装置和人工起颤装置	242
4.4.4	麻痹肢体的控制	243
4.4.5	刺激膈肌神经的人工呼吸器	244
4.4.6	排尿控制	245

4.4.7	刺激颈动脉窦神经治疗高血压症	246
4.4.8	慢性疼痛的消除	247
4.5	电刺激的有关技术	248
4.5.1	刺激电极	348
4.5.2	能源	251
4.5.3	电路的封装方法和植入人体的材料	256
4.6	生物反馈	258
4.6.1	生物反馈的方法与类型	259
4.6.2	临床应用	260
4.6.3	生物反馈用作研究手段	261
4.7	听觉的辅助代用	262
4.7.1	助听器	263
4.7.2	用皮肤感觉代替听觉	264
4.8	视觉替代和皮肤感觉	265
4.8.1	皮肤感觉	265
4.8.2	用皮肤感觉代替视觉	267
4.8.3	用听觉代替视觉	269
4.8.4	大脑皮层的刺激	271
4.8.5	盲人行动用的辅助工具	271
4.9	运动功能的替代	272
4.9.1	假手	273
4.9.2	假足	276
4.9.3	环境控制装置	277
4.10	人工器官	278
4.10.1	人工心肺	279
4.10.2	人工肾	280
4.10.3	人工心脏	282
4.10.4	人工血管和人工心瓣膜	286

第五章 主要医用电子仪器及其使用情况	288
5.1 概述	288
5.2 心电图机	290
5.2.1 心电图机	290
5.2.2 心电向量图机	304
5.2.3 与心电图机有关的仪器	305
5.3 脑电图机	310
5.3.1 脑电图机	310
5.3.2 脑电图分析器	315
5.3.3 诱发反应相加器	315
5.3.4 脑电图自动分析装置	316
5.4 心音图机	316
5.4.1 心音图机	316
5.4.2 其他心音图机装置	322
5.5 肌电图机	324
5.6 电磁式血流量计	328
5.7 血压计	330
5.8 呼吸计	333
5.8.1 肺容量测量装置	334
5.8.2 换气力学测量装置	337
5.9 患者监护装置	338
5.9.1 心电图监护器	338
5.9.2 心律失常监护器	340
5.9.3 重症监护系统与冠心病监护系统	340
5.9.4 分娩监护装置	345
5.10 自动标本检验装置	346
5.10.1 自动生物化学分析装置	347
5.10.2 自动血球计数器	348

5.11	超声波诊断装置	349
5.11.1	超声波脑诊断装置	349
5.11.2	超声波断层诊断装置	349
5.11.3	超声波心动图机	351
5.11.4	多普勒超声波胎儿诊断装置	352
5.11.5	超声波血流计	353
5.12	医用数据处理装置	354
5.13	医疗信息系统	356
5.13.1	建立医疗信息系统的背景	356
5.13.2	综合保健系统	357
5.13.3	健康增进系统	357
5.13.4	急救医疗信息系统	357
5.13.5	地区医疗信息系统	359
5.13.6	自动化医院	361
5.13.7	医学文献服务	362
5.13.8	肾移植数据库	362
5.13.9	中毒信息网	362
5.13.10	医疗信息系统的技术课题	363
参考文献		364~378

第一章 医用电子技术的 生理学和生物工程基础

1.1 神经系统及其模型

1.1.1 神经元

人脑的神经细胞究竟有多少,至今还没有一个确切的数字。根据埃考纳莫 (Economo)²⁾ 的估算,大脑皮质约有 140 亿个神经细胞。然而,在派克勃 (Pakkenberg)³⁾ 的论文中,对这些大脑皮质,估计其神经细胞数为 26 亿,两者数字相差甚大。此外,在人脑中,大脑基底神经节、间脑、脑干以及小脑皮质和小脑核等处也有相当数量的神经细胞,所以脑的神经细胞总数究竟有多少还不明确,但是一般估计神经细胞数至少在 100 亿以上,甚至可达数百亿。

此外,在脑内神经细胞的周围还存在着胶质细胞。一般认为,胶质细胞具有支持神经细胞、供给营养和清除代谢产物的作用。但是,胶质细胞除了以上这些作用之外,还与神经细胞有什么密切的关系,起什么作用,就不太清楚了。就实际情况来说,胶质细胞的个数要比神经细胞多得多,其比值叫做胶质细胞系数。该系数值在各研究者的报告中相差很大。例如根据哈金 (Hawkins)⁴⁾ 的报道,对人脑来说是 1.78。因测定方法的不同,也有人报告是 4.47。还有在脑的某些部位,其系数值可高达 20 以上。而且,与神经细胞不同,胶质细胞有时也增殖,因此,胶质

细胞的总数至今尚不清楚。

如图 1.1 中所示,神经细胞有许多复杂的突起,这种突起与神经细胞相互缠绕在一起。它们的接触的部位具有特殊的结构,叫做突触(synapse)。在缠绕的间隙处,大部分被前述的胶质细胞和血管所占据。

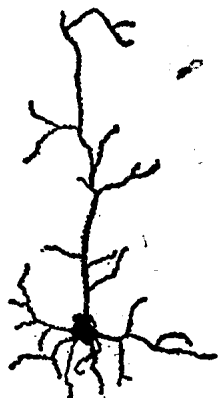


图 1.1 神经细胞
(锥体细胞)

神经细胞复杂的突起称为树突,其中有一根叫轴突,是神经细胞的传出装置。轴突由细胞体发出后就开始分支,逐渐形成蔓状,其分支分别到达不同目的的各个突触。

一般来说,树状突起的表面具有无数的突触,通过这些突触就能接受其它许多神经细胞来的信号,向细胞体方向传导。突触决定信号的传导方向,并且只能单向地传导信号。

突触是在两个神经细胞之间接触部位上的一种特殊结构。神经细胞之间由间隔为 $0.02 \sim 0.08$ 微米的所谓突触间隙所隔开。在突触间隙的输入侧,即传入信号的一侧(突触前膜——译者注),可见许多称为突触小泡的直径为 $0.02 \sim 0.06$ 微米的膜结构。在其后面,即接受信号一侧的面向突触间隙部分的细胞膜(突触后膜——译者注),在电子显微镜中看上去比较肥厚,不含突触小泡。

突触小泡呈袋状结构,小泡内充满神经介质,当神经兴奋到达突触时,小泡内的神经介质就释放到突触间隙。释放出来的神经介质越过突触间隙,以某种形式作用于肥厚的膜(突触后膜)上,引起新的兴奋。这一传导机构使神经兴奋的传导总是单向的,决不能越过突触作反向传导。

1.1.2 神经细胞的有关数据

(a) 有关神经细胞大小的测量值^{4~7}

i) 细胞体的直径

15~120 微米

ii) 树突的总长度

1300~4300 微米(前庭神经核)

2100~6600 微米(脑干网状结构)

2500~10000 微米(阿蒙角)

3800~8100 微米(内侧膝状体)

iii) 树突的总面积

6800~32000 微米²(前庭神经核)

10000~42000 微米²(脑干网状结构)

4100~37000 微米²(阿蒙角)

14000~28000 微米²(内侧膝状体)

iv) 树突的体积

3500~31000 微米³(前庭神经核)

5800~37000 微米³(脑干网状结构)

1000~16000 微米³(阿蒙角)

4500~9000 微米³(内侧膝状体)

v) 细胞体的表面积

2000~15000 微米²(前庭神经核)

3000~15000 微米²(脑干网状结构)

800~2600 微米²(阿蒙角)

900~1400 微米²(内侧膝状体)

vi) 细胞体的体积

8500~162000 微米³(前庭神经核)

13000~164000 微米³(脑干网状结构)

1900~10000 微米³(阿蒙角)

2700~4500 微米³(内侧膝状体)

vii) 树突的表面积与细胞体表面积的比

2.1~3.1:1(前庭神经核)

2.8~3.8:1(脑干网状结构)

4.9~14.4:1(阿蒙角)

13.6~20.4:1(内侧膝状体)

viii) 神经细胞表面突触的分布密度(猫的脊髓前角细胞)

11.6±1.6 个/100微米²(细胞体表面)

7.16±0.28 个/100微米²(树突表面)

ix) 占有神经表面的比率(猫的脊髓前角细胞)

突 触 50~70%

胶质细胞 50~30%

x) 单个神经细胞上的突触总数(指大型神经细胞)约

2000~10000 以上

(b) 有关神经细胞电生理学的参数^{8~16)}

i) 细胞膜的静止电位

-60~-80 毫伏(以哺乳动物的运动神经为主)

-30~-60 毫伏(低等动物)

ii) 膜电阻

0.4~1.8 兆欧(一般的神经细胞)

0.8 兆欧(墨鱼的巨型神经)

3.0~5.8 兆欧(蛙的运动神经)

iii) 膜的电阻率

400 欧·厘米²(墨鱼的巨型神经)

270 欧·厘米²(蛙的运动神经)

iv) 膜的时间常数

1.5~8 毫秒(一般的神经细胞)

150 毫秒(海蜇)

v) 细胞体的膜电容

1~8 微法/厘米²(一般细胞膜)

≈20 微法/厘米²(心肌细胞)*

vi) 神经纤维的直径(连同髓鞘)

有髓纤维	I	} A 纤维	10~18 微米
	II		5~10 微米
	III		1~5 微米

无髓纤维 IV O 纤维 1 微米以下

vii) 神经纤维的平均传导速度(猫的传入神经)

I 75 米/秒

II 55 米/秒

III 11 米/秒

IV 1 米/秒以下

viii) 突触的传导时间(兴奋通过突触的时间)

0.3~0.5 毫秒

1.1.3 神经的模型

各种神经模型从小到大都有,一般可分为三大类:① 有关兴奋膜的模型;② 将神经看作触发元件来研究其输入情况和阈值的模型;③ 研究神经兴奋传导的模型。

对于兴奋膜的模型虽有不同的说法,却都以霍杰金(Hodgkin)和赫克斯莱(Huxley)¹⁷⁾的钠离子学说为中心。将神经作为触发元件的模型主要有麦克卡罗-匹兹(McCulloch-Pitts)和凯阿尼洛(Caianiello)等人的神经方程式,以及多少已考虑到树突的拉耳(Rall)的区域化(Compartment)模型。在兴

* 原文误为 $\approx 20 \mu\text{F}/\text{m}^2$ ——译者注。