

高等学校试用教材



医学仪器

[上册] 齐颂扬 主编



高等教育出版社

R197.39

18

3:1

高等学校试用教材

医学仪器

上册

齐颂扬 主编

6433/28

高等教育出版社

B714871

内 容 简 介

本书经国家教育委员会生物医学工程及仪器专业教材委员会委托专人审阅,并召开审稿会审定,同意作为高等学校生物医学工程及仪器专业教材出版。

全书分上、下两册,共十三章。上册有八章,主要内容有:医学仪器概论,生物医学传感器,心脏传导系统测量仪器,血压及心音的测量,血流测量仪器,呼吸测量和治疗仪器,心血管系统的治疗和修复装置,神经系统测量仪器。各章末附有习题。

本书也可作为电子类及医学有关专业的选修课教材或教学参考书使用,也可供有关工程技术人员及医务人员参考。

责任编辑 姚玉洁

高等学校试用教材

医 学 仪 器

上 册

齐颂扬 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 21.5 插页 1 字数 490 000

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数 0001—1 520

ISBN7-04-003002-0/TN·141

定价 4.70 元

前 言

基础学科和技术学科相互结合,生命科学和工程技术相互渗透,是现代科学技术发展的重要特点。当代生物医学工程学正是具有这种特点的新兴边缘学科。它是工程技术与生物医学相互发展和渗透的结果,也是今后大有发展前途的领域。

现代医学仪器是生物医学工程发展的产物,同时又作为生物医学工程研究的有力工具,促进了当代医学的提高和发展。

从信息检测的角度来看,现代医学仪器可以分成两大类:一类是检测人体自身的各种信息,如心音、心电、肌电、脑电、呼吸、脉搏、血流、血压及生化反应等信息;另一类则是利用人工制造的外加能量,如激光、超声、可见光、红外线、X射线、 γ 射线、磁场及电学量等等,它们与生物组织的各种层次,如器官、细胞、生物大分子、电子、质子等发生相互作用,然后提取和分析互作用后的能量信息。这两类医学仪器只有一个目的,就是利用不同的参量来探测生物体内部的状态、结构和工作过程,从而达到诊断、治疗、监护、康复及控制等目的。

先进的现代医学仪器,是当代高技术,如新材料、电子技术、计算技术、信号与图象处理技术、物理学、化学、光学等的最新研究成果与生物医学相结合的产物,医学仪器的生产与研制能力,在一定程度上反映国家的医学和科学技术水平。医学仪器的发展,也带来巨额的经济利润。许多科技发达的国家,正不断投入开发力量,以占取数以千亿计的世界医学仪器市场的更大份额。与科技发达国家相比,我国仍有较大的差距,借鉴国外的先进技术,利用自己的力量迅速发展我国医疗器械事业迫在眉睫。通过大家的努力,相信落后的面貌一定会得到迅速的改变。

现代医学仪器包罗万象,新产品不断出现,设备更新速度很快,不可能对每种仪器做详细的介绍,所以只着重讲述常见的医学仪器和部分先进医学仪器的原理、结构和设计原则。对有特殊要求的测量方法,本书也提供少量实例。掌握了仪器工作的基本原理,结合电子技术、计算机、医学参量测量及信息和图象处理的知识,就能设计具有先进水平的医学仪器,开发新一代的产品。

提高医学水平,发展医疗器械事业,是医务人员和从事生物医学工程人员的共同职责。医生应有工程知识,工程人员应努力和医生结合,深入了解医学上的问题。只有相互渗透,双方都有共同的语言,医学才能求得发展。所以本书先对生理基础知识做极简要的概括,然后介绍医学参量的测量和治疗的仪器。

本书分上、下两册,一~八章为上册,九~十三章为下册。第一章医学仪器概论,介绍医学仪器的组成及其特点和要求;第二章叙述医用传感器的原理和应用;第三章介绍心脏电传导系统的测量仪器,分析心电测量的原理和要求及其所用的仪器,对生物医学测量中遇到的共同问题——抗干扰,则做了较为系统的分析;第四章论述血压及心音的测量;第五章介绍血流量的测量方法及仪器;第六章讨论呼吸系统的通气和弥散功能的测量以及常用的呼吸治疗仪器;第七章介绍心血管系统的治疗和修复装置;第八章介绍神经系统测量仪器;第九章介绍监护仪,讲述监护仪的结构和原理,并列举了一些监护仪的实例;第十章介绍医学超声仪器的原理、应用以及当前发展的

情况;第十一章介绍X线、同位素及核磁共振仪器的基本原理和临床应用;第十二章重点介绍医院实验室采用的生化仪器;第十三章讨论医院中的电气安全问题,研究如何减少事故及其测试方法。

本教材是在浙江大学生物医学工程专业使用的讲义基础上修改编写而成。由于目前生物医学工程专业无统一的教学大纲,使用本教材时,各校可根据本专业的具体情况决定取舍。我们希望使用本教材的师生提出宝贵意见,帮助编者不断修改和完善本教材。

参加本书编写工作的有张依群(第二章)、金树武(第十章)、吴桑谨(第十一章)、许菊芯(第十二章)、楼正国(第十三章)、凌保明、齐颂扬(第六章),其余各章由齐颂扬编写,全书最后由齐颂扬统稿。

本书由国家教育委员会生物医学工程及医学仪器专业教材委员会委托清华大学沈以鸿副教授、上海科技大学王保华教授、天津大学戴品忠副教授审稿,沈以鸿副教授主审。他们对本书提出许多宝贵的意见。复旦大学方祖祥教授热忱地为本书提供宝贵材料,还有浙江大学高春圃副教授为本书生理学部分内容提供素材,广州医疗器械厂、绍兴医疗仪器厂也提供了宝贵的产品资料。对他们所给予的热情帮助和支持,我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,收阅资料有限,加之时间比较仓促,书中错误和不足之处在所难免。殷切希望使用本教材的师生及其他读者,给予批评指正。

编 者

1989年6月

目 录

第一章 医学仪器概论

1-1 概述	1
1-2 人-仪器系统概论	2
1-3 人-仪器系统结构	3
一、被测对象	3
二、传感器	4
三、信号处理装置	4
四、输出显示器	4
五、记录器和数据传输装置	4
六、控制和反馈环节	4
七、刺激器	5
1-4 医学参数测量的特点	5
1-5 测量误差	8
1-6 医学仪器的静态特性	8
一、精度	9
二、精密度和分辨力	10
三、重复性	10
四、统计控制	11
五、静态灵敏度	11
六、零点漂移	11
七、线性度	11
八、不灵敏区和指示变差	12
九、输入信号的量程	12
十、输入阻抗	12
1-7 仪器系统的动态特性	13
一、零阶仪器	13
二、一阶仪器	13
三、二阶仪器	14
习题	16

第二章 生物医学传感器

2-1 概述	17
2-2 电阻式传感器	18
一、电位器	18
二、电阻应变计	21
三、弹性应变计	26

2-3 电感式传感器	27
2-4 电容式传感器	30
2-5 压电式传感器	35
2-6 电磁流量传感器	39
一、基本原理	39
二、磁场的激励方法	40
三、电极的基本形状	41
四、电磁血流量探头	41
2-7 温度传感器	43
一、热敏电阻	43
二、热电偶测温	48
三、化学测温	51
四、PN结测温	51
五、辐射测温	52
2-8 生物电位电极	53
一、电极理论和特性	53
二、生物电位电极的种类	57
习题	60

第三章 心脏电传导系统测量仪器

3-1 心脏电传导系统和心电图	61
3-2 心电图描记术概述	63
3-3 心电图机的结构和功能	64
3-4 标准导联系统	66
3-5 滤波和输入保护电路	70
3-6 前置放大器和定标电路	72
3-7 主放大器和记录器	73
3-8 提高心电图机频响的方法	77
3-9 心电图机的干扰及其对策	81
一、电极噪声	82
二、无线电波及高频设备的干扰	82
三、被测生理变量以外的人体电现象所引起的噪声	82
四、在人体上工作的医疗仪器的噪声	82
五、电子器件噪声	82
六、电路实际布线的因素所造成的干扰	83

七、带电衣服的静电噪声	83
八、50 Hz 交流干扰	83
3-10 带微处理机的心电图机	90
一、ECG-6151 心电图机	91
二、单通道心电图分析仪	93
3-11 心向量图机	95
3-12 希氏束电图	98
3-13 心室后电位测量	101
一、空间平均法	103
二、两次平均法	104
3-14 体表电位的测量	105
3-15 磁带记录仪	107
一、调频式磁带记录仪	108
二、Holter 心电记录仪	110
3-16 心律失常诊疗仪	113
习题	114

第四章 血压及心音测量

4-1 概述	117
4-2 血压直接测量法: 导管术	119
4-3 导管传感器系统的动态特性	122
4-4 血压标定方法	126
4-5 压力放大器	127
一、直流压力放大器	127
二、脉冲激励压力放大器	128
三、隔离式直流压力放大器	129
四、交流载波压力放大器	129
4-6 收缩压、舒张压和平均压检测电路	131
4-7 血压微分 dP/dt 和 $(dP/dt)/P$ 处理电路	133
4-8 自动调零电路	134
4-9 微机压力计	135
4-10 血压间接测量	136
一、柯氏音法	136
二、示波法	139
三、超声法	140
四、双袖带法	141
五、恒定袖带压力法	142
六、逐拍跟踪法	142

七、脉搏延时法	143
八、张力测定法	144
九、恒定容积法	145
4-11 血压的自动测量	146
4-12 势能和动能对血压测量的影响	148
4-13 心音生理基础和特性	149
4-14 直接型心音图机	152
一、心音传感器	152
二、心音滤波器	152
三、心音放大器	155
4-15 调制型心音图机	156
4-16 心音描记术	159
习题	161

第五章 血流测量仪器

5-1 概述	163
5-2 连续输注指示剂-稀释法	165
5-3 Fick 技术和热稀释法	166
一、Fick 技术	166
二、热稀释法	166
5-4 快速输注指示剂-稀释法	167
一、染料指示剂-稀释法	168
二、耳承法	171
三、热稀释法	173
5-5 电磁流量计	175
5-6 热对流法测量血流速度	179
5-7 体积描记法	182
一、阻抗体积描记法	182
二、阻抗法在血流测量中的应用	186
三、导纳体积描记法	193
四、腔式体积描记法——“真”体积描记法	194
五、其他体积描记法	196
六、带微机阻抗仪	198
习题	198

第六章 呼吸测量和治疗仪器

6-1 呼吸测量概述	200
6-2 呼吸系统模型	201

一、平和呼吸机构模型	202
二、气体传输的模型	205
6-3 呼吸系统通气功能的测量	206
6-4 肺活量计	209
一、水封式肺活量计	209
二、膜盒式肺活量计	210
6-5 肺容量的测量——氮冲洗法	211
6-6 氮稀释法测定功能残气量	213
6-7 全身体积描记法	214
一、全身体积描记法一般方程	214
二、肺绝对容量和功能残气量的测定	215
三、肺泡压的测量	216
四、用全身体积描记器测量肺容量	216
6-8 呼吸机构的检查	218
一、静力学测试	218
二、动力学测试	219
6-9 强迫振荡法呼吸阻抗测试	220
6-10 呼吸系统的大容积和大流量特性	221
6-11 呼吸压力和流量的测量	223
一、呼吸压力的测量	223
二、呼吸气体流量计	224
6-12 电子呼吸分析仪	225
6-13 阻抗呼吸描记法	230
6-14 气体浓度的测量	232
一、质谱仪	232
二、热传导式分析仪	234
三、吸收光谱仪	235
四、发射光谱仪	237
五、氧浓度测量	238
6-15 气体传输和气体交换	239
一、气相传送	240
二、肺泡毛细血管气体交换时的有效(生理) 死腔	242
三、弥散能力的测定	243
6-16 呼吸治疗设备	244
一、氧治疗	245
二、间断正压呼吸治疗	246
6-17 人工机械换气机	249
习题	250

第七章 心血管系统治疗和修复装置

7-1 心脏起搏器	253
一、起搏器概述	253
二、心室程序起搏器	255
三、备用型起搏器	258
四、心房程序(P波同步)起搏器	258
五、起搏电极与电源	260
7-2 除颤器	261
一、交流除颤器	262
二、电容放电直流除颤器	263
三、延时线电容放电直流除颤器	264
四、除颤电极	265
7-3 心电复律器	265
7-4 反搏器	266
一、主动脉内反搏器	267
二、体外反搏器	269
7-5 人工心肺机	272
7-6 血液透析机——人工肾	274
7-7 电刺激器	276
习题	277

第八章 神经系统测量仪器

8-1 神经系统概述	280
8-2 神经系统的电活动	280
8-3 脑电图术	283
一、脑电幅值和频带	283
二、睡眠脑电图	285
三、临床脑电图	285
8-4 脑电图机系统	289
8-5 脑电图机	291
一、前置放大器	292
二、头皮-电极接触电阻的检测	293
三、主放大器和记录器	294
四、限制放大器电路	295
8-6 脑电遥测系统	296
8-7 脑电频率分析器	301
8-8 带微机的脑电图机	303
8-9 肌电图	306

8-10 肌电图机.....	307	8-12 平均瞬态计算机.....	317
一、肌电图电极.....	307	8-13 刺激器.....	322
二、肌电图机.....	308	一、光刺激器.....	322
三、肌电积分器.....	312	二、脑干诱发电位的声刺激器.....	324
8-11 诱发电位的测量.....	313	三、电子刺激器.....	325
一、视觉诱发电位.....	313	8-14 生物反馈仪.....	329
二、听觉诱发电位.....	314	习题.....	332
三、躯体感觉诱发电位.....	316	参考文献.....	333

第一章 医学仪器概论

1-1 概述

医学的发展及工程技术在医学领域的应用,促使在本世纪 50 年代初兴起并形成了一门生物医学工程(Bio-Medical Engineering, BME)学科。它广泛涉及医学、电子学、计算技术、生物材料、生物力学、生物控制、人工脏器、仿生学及医疗器械等方面的内容,同时综合运用了现代自然科学和工程技术方面的成就,并从工程角度深入研究人体结构、机能及相互之间的关系,以解决医学上存在的问题,所以它是一门医学与工程技术互相交错、互相渗透的学科。医学仪器是 BME 的重要组成部分。

医学的发展需要工程技术;而工程技术的发展,使医学仪器有可能采用各种新技术,以形成新一代医学仪器。新仪器的应用使医学水平得到提高,进而又向工程技术界提出更为深入的问题,如此不断地推动医学向前发展。为了解决医学上问题,就使各学科之间互相交错;所以现代医学仪器也是一门边缘学科,它以最新的工程技术成就不断地被充实。作为一名生物医学工程的技术人员,不仅要有坚实的理论和工程技术基础,也应主动地去和医学工作者结合;不仅要了解医学,更应学会从医学中提出问题和解决问题。只有这样才能与医生有共同的语言,携手合作攻关,推动医学不断进步。

医学仪器是医学中用于诊断、治疗和研究的必要工具。它不仅改变了过去医生只能用感官去收集诊断信息的状况,而且能提供更为客观、更为精确、更为有效的诊断和治疗手段。医生不可能仅凭感觉就能准确判断骨折及高血压的类型,也不可能仅凭病人的表象来准确判断呼吸困难病人的发病原因。只有通过医学仪器客观地收集反映病情的信息,扩大医生的感官,才能做出准确的诊断。医疗仪器在治疗方面的应用,使病人的病情得以缓解,直至恢复正常的机能,使过去无法进行的显微外科、体外外科和移植外科手术成为可能;单是起搏器和除颤器的应用,就拯救了成千上万心脏病人的生命。此外,为人体机能的研究、运动医学的研究以及对药物疗效的分析开辟了无限广阔的前景。

医学仪器的种类、规格很多,既可以分别根据医学参数的测量、仪器的转换原理、生理系统测量的特点及临床治疗的要求进行分类;也可从工程和医学间的关联性来分类。前者含义清楚,不赘述;对后者,大体上可以分为:

1. 人体现象的观察、测量用仪器

如心电图机、脑电图机、心音图机、X 光机及同位素仪等。

2. 人体信息处理机

它是把从人体上所获得的信息,根据医学理论进行适当处理的各种读出、显示及诊断装置。例如,目前已开发的各种图象处理系统有:热象、血管象、染色体象、细胞象、微循环象、核子闪烁象、X线象及超声象处理系统等,还有血液自动分析系统、心电自动分析系统及各种监护仪等。这些都是基础医学研究及临床诊断的重要工具。

3. 人体仿真仪器

所谓人体仿真是指建立具有人体组织机能的各各种模型,例如,心血管系统模型、呼吸系统模型及神经传导模型等。

4. 人体治疗和修复装置

人体治疗装置有用电击治疗室颤的除颤器、各种理疗器械等,其中包括采用生物反馈法的理疗器械。修复装置为能替代人体器官或脏器的材料和器械,如人工起搏器、人造血管、人造骨、人工脏器。

在科学技术高度发达的今天,可以这样说,医学的发展首先取决于工程技术的进步,离开工程技术去求医学向高精尖方向的发展是不可能的。

在本课程内,将根据人体系统的要求安排课程的内容,并根据生理系统的特点介绍各种常规的医学仪器。由于医疗仪器面大量广,限于篇幅,本教材只着重原理性的叙述;对一些特殊性方法,也做些简要介绍;并给出少量实例,供读者参考。通过本课程的学习,使学生对各种类型的医学仪器有个全面的概念性的了解。对目前发展迅速而应用又很广泛的医学仪器将单列章节介绍,使读者对医学仪器的发展趋势也能有所了解。

1-2 人-仪器系统概论

人是相当复杂的生命有机体。在这生命的有机体内可以找到电的、机械的、光的、热的、声的、化学的及液体和气体等类型的系统,而这些系统间又互相联系,互相制约,并不存在简单的函数关系;人体内还存在几个交换系统和各种形式的控制系统;还有具有高级计算机功能的大脑,它的活动对各种系统都会发生一定的影响。所以人体是一极为复杂的系统。

工程上研究一个系统时,传统的分析方法是在已知输入量的作用下,求取系统的输出量;建立一套输入-输出的方程来描述系统内的函数关系。当然,这些函数关系可以是相当简单的,也可以是十分复杂的,通常它是确定的、可预知或可预测的。但对人体而言,输入和输出关系并不象工程系统那样确定,即把一组已知的输入量重复加入时,总得不到相同的输出量,得到的是一组有较宽响应范围的输出量。有时由于各系统间的相互作用,甚至连输入和输出都难以区分。而且还有许多系统,至今还没有被人们所认识。所以,要打开人体的黑箱,弄清生命体内的规律,其工作是十分艰巨的。

在进行人体生理变量测量时,由于人体和仪器接触,使仪器系统和被测人体间产生相互作用,严重的情况将会影响正常的生理功能。所以,在设计仪器时,应把人和仪器系统作为一个整体来考虑。应用任何医学仪器时,为了从人体上取得可靠的数据,就应同时考虑人体的内部特

性。这种把人和仪器结合起来一起考虑的系统,称为人-仪器系统。

仪器系统定义为一组用以测量一个以上的特性或现象的仪器或装置。医学仪器可以分成临床用和研究用两大类。临床仪器主要用于疾病的诊断、监护和治疗;而研究用的仪器主要用于研究人体各系统的新问题;有些仪器在两个范围内都通用。临床仪器的设计应便于医务人员操作,要结实可靠,并能为医生提供足够的信息,以便于确诊。研究仪器一般更为复杂和特殊,它应具有更高的精度和分辨率。临床仪器供医生和护士使用;而研究仪器一般则由熟练的技术专家操作。

生物医学仪器的测量也可分为两类:活体内和活体外测量。活体内测量是在生命体内或生命体上进行,如把电极直接插入血流内测量血液的 pH 值;活体外测量是在体外测量有关身体机能的信息,例如,从病人抽出的血液取样测量血液的 pH 值,活体外测量大都在试管内完成。所以人-仪器系统主要指活体内测量,但在活体外测量涉及要取得相应的采样时,同样也会有人-仪器系统的问题。

1-3 人-仪器系统结构

图 1-1 为人-仪器系统的结构方框图。传感器把人体生理量转换成电学量,然后经信号处理单元,最后把所测的参数以人们可察觉的形式由显示器显示。医学仪器和一般仪器在系统结构上基本相同,主要区别在于信号源。医学仪器的信号源是活体组织或加在活体组织上的能量。下面就系统部件的功能做些简单介绍。

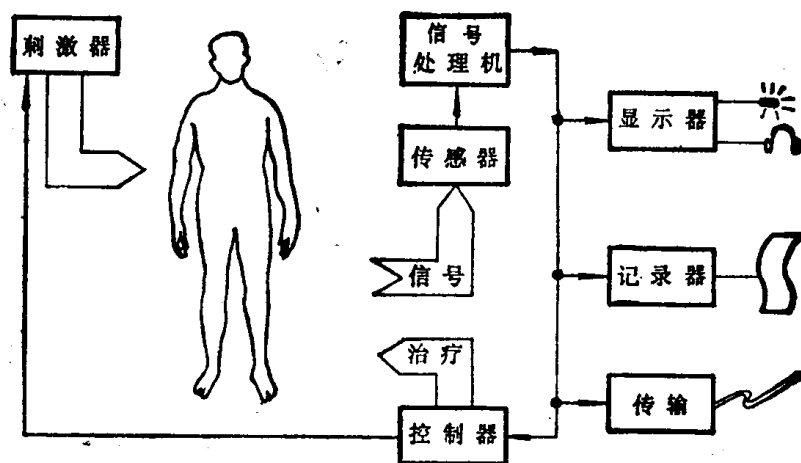


图 1-1 人-仪器系统框图

一、被测对象

系统中所测量物理量的特性和状态称为被测对象。这主要是人体的生理参数,如生物电位、血压、血流量、通气量、流阻、心音、血液和气体的成分和浓度、 P_{O_2} 、 P_{CO_2} 及 pH 值等。对被测对象,有些参数可以进行直接的测量;但有些参数则不可能。这时可以通过间接方法进行测量,即

用某些能量或物质与被测量相结合,形成一个可测量的、并与被测量有已知关系的新的物理量,因此,测出了新的物理量就间接地求出被测量。例如,心输出量是一个难以直接测量的物理量,它可根据呼吸和血气或染料稀释法、阻抗法等来测定。间接测量大多是无创伤性的方法,它不会引起病人的太大痛苦和不舒适,所以无创伤的间接测量也是医学仪器发展的方向。

二、传感器

把能量从某一种形式转换成电能量形式的器件称为传感器。传感器由敏感元件和变换元件两部分组成。前者把非电的生理量首先转换成另外形式的物理量,该物理量再通过二次变换,转换为所需的电学量形式。如压力传感器,所测的压力使膜片产生位移,贴在膜片上的应变片则把位移再转换成电压。有些传感器不需要做二次变换,如压电晶体可直接把力变成电学量。在人-仪器系统中,传感器用以产生与被测生理参量成比例的电模拟信号。临床上可以同时使用两个以上的传感器进行测量,以便在各个现象间进行比较,了解各现象间的相互关系。

三、信号处理装置

仪器中的放大器、滤波器、抑制干扰及计算分析的装置称为信号处理机。信号处理机的功能是处理来自传感器的信号,以满足仪器系统功能的需要,使其输出适应于显示器或记录设备的工作。有些情况下,它把传感器的输出变换成数字形式,然后通过微机或通用电子计算机进行数据处理。信号处理机可以补偿传感器的非线性;也可对微弱的周期性信号求平均值,从大量的噪声中取得有用信号;或者把信息从时域变到频域,以得到所需形式的信息。

四、输出显示器

被测数据处理结果的输出必须转换成操作人员能看到或察觉得到的形式。显示的方式可以是数字的或图形的;离散的或连续的;永久的或暂时的;这应取决于特定的被测对象和使用者所采用的操作方法。显示器的输入信号来自信号处理机的输出。显示可以是光、声音或触觉形式;在仪器系统中显示器往往还包括一台图笔记录仪,以得到数据的永久性记录。

五、记录器和数据传输装置

有些场合要求将所得到的生理量数据做短暂的保存,以备检查或处理。有时需把数据送往别处,近则跨过一间房子,远则半个地球。完成这种功能的部件往往也是人-仪器系统中的一个重要组成部分。

图笔记录仪实际上是用以记录模拟数据的装置。这里所指的记录装置包括记录数据可以回放(如磁带机那样)的装置。此外,还有适于文字图形记录的打印机等。

六、控制和反馈环节

在人-仪器系统中常加有控制和反馈环节。它是将信号处理机的部分输出返回到输入,控制

系统按某一方式工作,以达到检查诊断或治疗的目的。例如,控制刺激量;控制传感器或仪器系统中的某一部分。控制和反馈可以是自动的,也可以是人控的。

七、刺激器

在很多生理量测量中,需要对某种外部刺激做出反应来检查生理功能。所以,刺激器是仪器系统中的一个组成部分。它可以是视觉(如周期性的闪光或棋盘方格的刺激)、听觉(如纯单音及咔嗒声)、触觉(如敲打跟腱),或用电直接刺激某一周围神经等。

此外,在人-仪器系统中还设有静态和动态的校准信号。它能对整个仪器系统的性能进行自动或手动、随机或周期性的校准。

1-4 医学参数测量的特点

医学仪器所要测量的生理参数与工业上非医学参数相比,其特点是被测生理量的幅值和频率范围都是比较低的。表 1-1 列举了一些常规医学参数的信号范围和特性,使我们对生理参数的测量有一初步的概念,并为医学仪器的设计提供一定依据。

人体系统的测量不同于工业系统中的物理、化学参数的测量。由于人体生理系统的复杂性,所以测量时将会受到各种因素的限制,这些特点应引起足够的重视。现将这些特殊性归纳如下:

1. 被测生理量的难接近性

在活体系统测量中,有时因为没有适当的传感器-被测对象的界面,所以对许多重要生理变量难以进行测量。例如,目前还没有找到合适的传感器去测量脑内神经的动态化学活动。所以当传感器的尺寸与被测量的有效空间相当时,或者不能在欲测部位放置传感器时,就不能进行有效的测量。在这种情况下,唯一的办法是采用间接测量。使用间接测量法应注意的是尽量保持两个变量间的关系不变,并对所测得的数据加以必要的修正。如心输出量明显是一难接近的生理量,可用染料稀释法、热稀释法或阻抗法间接测出染料及热的浓度或阻抗的变化,以此推出心输出量的大小。

2. 生理数据的变异性

人体上测出的生理变量即使在许多可控因素不变的条件下,仍会呈现随时间而变化,这主要是因为该变量还与不确定的其他变量有关。所以生理变量不能认为是严格的定值,而应该用统计或概率分布的形式来说明。换句话说,在相同的条件下,不同时刻测量的结果不会完全相同。

3. 生理系统间存在相互的作用

在人体的主要生理系统中存在大量的反馈环节,所以在已知系统和主要生理系统间有着密切的联系。例如,刺激已知系统某一部分的结果,一般会以某种方式(有时不能预计)影响该系统的其余部分,同时还将影响另外的系统。为此,有时会使起因和效应关系变得模糊不清,难以确定。甚至当断开反馈环路时,却出现了旁系环路,致使反馈的形式依然存在。当某一器官或组织无效时,会有另一器官或组织接替这一功能。这种情况在大脑和其他部分的神经系统尤其是如此。

表 1-1 生物物理信号和范围

一次信号范围和特性

心血管系统	
血压(直接法)	频率范围: DC至 200Hz; 通常 DC 至 60Hz 已够 压力范围: 动脉: 40~300mmHg(5.33~40kPa); 静脉: 0~15mmHg(0~2kPa)
血压(间接法)	听诊法(柯氏音): 通常30~150Hz已够
收缩和舒张的间歇	触诊法: 0.1~60Hz 两者都需要附加表示闭塞压力的信号
脉搏波(间接法)	频率范围: 通常0.1~60Hz已够; 脉搏迹线类似于血压直接法, 但是 是没有零位基线
外周动脉	频率范围: DC至30Hz
体积描记法(容积测量法)	平均心率: 成人: 45~200次/min; 实验动物: 50~600次/min
心率	频率范围: 0~60Hz; 通常0~5Hz已够
血氧定量法	频率范围: 0~60Hz; 通常0~5Hz已够
每搏输出量	频率范围: 0.05~100Hz
心电图	信号范围: 10 μ V(胎儿)至5mV(成人)
呼吸系统	
流速(呼吸流速描记图)	频率分量到 40Hz 正常流量范围: 250~500mL/s, 最大量 8L/s
由记录算出的呼吸率(近似的相对呼吸量)	平均速度: 成人: 12~40次/min; 实验动物: 8~60次/min
潮气量(测量每次呼吸或累计以得每分容量)	典型容量: 成人: 600mL/次; 6~8L/min
在呼出的空气中 CO ₂ , N ₂ O 或氟氯溴乙烷浓度	正常范围: CO ₂ : 0~10%(呼气末的CO ₂), 对成人, 4~6%; N ₂ O: 0~10%; 氟氯溴乙烷: 0~3%
溶解的气体 and pH	
溶解O ₂ 的分压, 在体或离体	频率范围: 通常DC至1Hz已够 正常 P _{O₂} 测量范围: 0~800mmHg(0~106.7kPa) 高压的 P _{O₂} 测量范围: 800~3000mmHg(106.7~400kPa) 信号范围: 0~ $\pm$ 700mV, 包括了pH的范围 正常信号范围: 0~ $\pm$ 150mV, 包括了范围 1~1000mmHg (133.3Pa~133.3kPa) P _{CO₂}
pH离体	
溶解的 CO ₂ 分压, 离体	
生物电位	
脑电图(EEG)	频率范围: DC至100Hz; 诊断的主要成分在0.5~60Hz 范围 正常信号范围: 15~100 μ V
肌电图(原始信号)	频率范围: 10~2000Hz, 脉冲持续时间: 0.6~20 ms
肌电图(平均值)	全波整流以后原始信号平均值
视网膜电图	频率范围: DC到20Hz已够 正常信号强度: 0.5~1 μ V
心电图	参见心血管系统一项
眼球震颤电图	直接: 频率范围 0~20Hz 典型信号强度: 100 μ V/10°眼运动 导数或速率: 频率范围 0~20Hz, 信号由直接读数导出
物理量	
体温	20~45°C

4. 人们缺乏对系统间相互关联关系的了解

如果我们已完全了解体内各生理系统间的相互关系,那么被测量的可变性就能很好解释。事实上,目前人们还缺乏这些知识,所以就显得无力去控制这些变量,因此医生对很大公差的生理参数测量都能接受。为了能更好了解各生理量间的相互关系,允许用间接测量来替代不可接近的直接测量。这也有利于工程技术人员做好仪器和生理学系统的结合工作。

5. 传感器对被测生理量的影响

测量人体参数时,传感器几乎对任何形式的测量都会产生不同程度的影响,在活体系统内测量影响则更大。在很多情况下,传感器的存在显著改变了被测生理量的读数。例如,放在血流中的传感器将会局部地堵塞血管,并改变系统的压力流量特性。同样,如要测量细胞内的电化学电位,就需要用针形电极刺入细胞,穿刺不好很易损伤和致死,这样的细胞就不再具有正常功能。此外,在某一系统中测量用的传感器可以影响另外系统的反应。例如,在评估血液循环时,冷却局部皮肤所引起的反馈会改变血液的循环模式。测量的生理学效应也会影响所得到的结果。长期测量血压的记录表明,具有正常血压的人,每当在医生办公室时,血压读数就会提高,这是属于一部分人的恐惧反应。所以,在设计测量系统时,应力求使测量装置给病人的影响减到最小。因为很多生理变量在体内可用的能量有限,所以应注意避免测量系统给被测变量信号源造成负载。

6. 伪迹

在医学和生物学中,被测信号以外的任何成分称为伪迹。测量仪器内所产生的噪声、电气干扰(包括 50 Hz)、串音和其他在信号中所有不需要的变量都是伪迹。活体测量中伪迹部分是来自人体的移动。很多传感器对移动很敏感,往往导致输出信号发生变化。这些变化有时甚至很难同被测量区分开来,这样就使有用信息和干扰互相混淆。如果采用麻醉来减小移动,它可能导致在系统中出现无用的变化。

7. 能量限制

很多生理变量的测量需要将一些能量加到活体系统。例如,阻抗法测量时,就需要使高频电流流过组织和正在被测的血液,电流通过组织时会产生热量,在多数情况下,这部分能量很小,它不会产生显著的影响;但是在处理活体细胞时,必须注意能量集中的可能性,否则它会破坏细胞或影响测量。所以,电流流经人体组织产生的热量是一个必须加以限制的因素。同样,X 线的剂量、超声功率的剂量等也是必须加以限制的因素。

8. 安全问题

在人体进行生理变量测量时,首先必须不破坏人体的正常功能和危及生命;必须强调医生的安全,这就要求设计或研制任何医学仪器系统时,应特别注意病人及操作者的安全。同时,进行测量时,不应当引起病人的疼痛、损伤或不舒服感,除非是为了拯救病人生命时必须忍受这些条件。

此外,在医院使用的医疗仪器还要附加一些条件限制,它必须工作可靠、便于操作以及经得起滥用和耐化学物质腐蚀等。

1-5 测量误差

为了能正确地取得人体上的生理变量,除了在设计时应考虑人-仪器系统外,如何利用现有仪器系统进行检测以取得准确结果则是个很重要的问题。所测得的结果准确程度除了与医学仪器性能有关外,还与测量者的主观性、观察条件的稳定性及其他因素有关。用仪器进行测量时,所造成的各种误差称为测量误差。在工作中,如何减小这类误差的问题应引起足够的重视。为此,在这里做简要的介绍,以对测量误差有个概念。测量误差有以下几种。

1. 系统误差

系统误差又称规律误差。它大部分是由于仪器本身指示或测量方法不正确所引起;也可能是由一种外来因素所引起。如周围环境温度、湿度的影响等。一般系统误差比较固定且有一定规律,因此可在测量值中加入修正值予以消除。

2. 疏失误差和粗大误差

测量和计算错误所造成的误差称疏失误差;粗大误差则由测量条件偶然改变所引起,如冲击和振动引起的误差。有这种误差的测量数据应当去除。

3. 偶然误差

偶然误差是指其大小、符号的变化无规律性,主要是由于仪器的缺点(如间隙、摩擦、机架的弹性)、测量条件的变动等因素所引起的误差。偶然误差出现的次数一般呈正态分布,并用下面方程来描述:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-1)$$

$$\text{式中: } \sigma = \pm \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n}} \quad (1-2)$$

δ 为偶然误差($\delta = \text{测量值} - \text{真实值}$);

σ 为均方误差。

由上式可以看出偶然误差的基本性质:

- (1) 绝对值相等的正、负误差出现的机会均等;
 - (2) 绝对值小的误差出现的机会比绝对值大的多;
 - (3) 在一定的条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限度;
 - (4) 对同一参数进行等精度测量时,其偶然误差的算术平均值随测量次数的增加而趋于零。
- 所以要消除偶然误差的影响,应当增加重复测量的次数。

1-6 医学仪器的静态特性

为了评定和比较仪器性能的好坏,就需要有评定仪器性能的定量标准。根据仪器对输入信号