



普通高等教育“十二五”规划教材  
全国普通高等教育基础医学类系列教材



张 晓 主 编



# 医学机能实验学

MEDICAL FUNCTION  
EXPERIMENTATION

供基础、临床、预防、口腔、护理等  
医学类专业使用



科学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

## 全国普通高等教育基础医学类系列教材

供基础、临床、预防、口腔、护理等医学类专业使用

# 医学机能实验学

张 晓 主编

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

医学机能实验学是一门独立的实验课程,它把生理学、药理学和病理生理学三门实验课的内容进行有机的融合、优化和重组,实现了学科间的互相交叉渗透,克服了传统学科的实验分散、重复开设、综合效果较差、实验资源浪费等缺点,实现了教学设备和资源的共享。

本书共分为四篇:第一篇是基础篇,系统介绍了机能实验学的基本原理、常用实验仪器和操作技术;第二篇是基本实验篇,按照人体系统详细介绍了生理学、药理学和病理生理学的实验原理和方法;第三篇是综合实验篇,详细介绍了生理学、药理学和病理生理学学科交叉产生的实验;第四篇是实验设计篇,不仅介绍了实验设计的基本思路,而且介绍了专业设计、统计设计和实验动物设计等方面的内容。全书深入浅出,循序渐进,内容丰富,图文并茂,章节编排合理,不仅可作为机能实验学的教学和参考资料,同时也对从事生理学、药理学、病理学和毒理学的技术人员具有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

医学机能实验学/ 张晓主编. —北京: 科学出版社, 2013. 10

全国普通高等教育基础医学类系列教材

ISBN 978-7-03-038140-8

I. ①医... II. ①张... III. ①实验医学—医学院校—教材 IV. ①R-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 150799 号

责任编辑: 潘志坚 谭宏宇  
责任印制: 刘 学

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 10 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2013 年 10 月第一次印刷 印张: 15 1/4

字数: 473 000

定价: 40.00 元

## 专家指导委员会

主任委员

侯一平

副主任委员

孙俊 王应雄 胡华强

委员

(以姓氏笔画为序)

王应雄(重庆医科大学)

王建伟(重庆医科大学)

左丽(贵阳医学院)

龙汉安(泸州医学院)

阮永华(昆明医科大学)

孙俊(昆明医科大学)

李华(四川大学华西基础医学与法医学院)

吴玉章(第三军医大学)

张波(川北医学院)

张晓(成都医学院)

欧刚卫(遵义医学院)

胡华强(中国科技出版传媒股份有限公司)

侯一平(四川大学华西基础医学与法医学院)

高永翔(成都中医药大学)

# 《医学机能实验学》 编辑委员会

主 编  
张 晓

副主编  
郑 倩 韩 毅

---

编 委  
(以姓氏笔画为序)

王顺蓉(泸州医学院)  
刘 华(川北医学院)  
许 薇(川北医学院)  
杨 拯(成都医学院)  
杨榆青(云南中医学院)  
辛志伟(成都医学院)  
张 英(泸州医学院)  
张 晓(成都医学院)  
张 颖(昆明医科大学)

陆 杰(重庆医科大学)  
陈 蓉(泸州医学院)  
郑 倩(川北医学院)  
俞志成(昆明医科大学)  
海青山(云南中医学院)  
曹弟勇(川北医学院)  
章 乐(石河子大学医学院)  
韩 毅(昆明医科大学)  
廖 红(重庆医科大学)

# 前 言

现代医学已经由经验科学转变为实验科学,高等医学教育的显著变化是强调学生综合素质的提高和创新意识的培养。因此,在基础医学教育阶段,更加重视实验教学,培养和训练学生的实践能力、动手能力和自主学习能力是全面提高教学质量的重要环节。机能实验学是一门研究人体正常机能、疾病发生机制和药物作用规律的新兴的基础医学实验课程,它继承和发展了生理学、生物化学、药理学和病理生理学等专业实验课程的核心内容,更加强调学科之间的交叉融合,更加重视新技术的应用,更加注重学生创新能力的培养。同时,机能实验技术也广泛应用于生命科学的各个领域和医学实验的研究工作中。因此,机能实验学对于临床医学实践和医学科学研究具有重要的指导意义。

本书邀请生理学、药理学和病理生理学等领域的专家和教授参加编写和审阅。全书分为四篇:第一篇是基础篇,系统介绍了机能实验学的基本原理、常用实验仪器和操作技术;第二篇是基本实验篇,按照人体系统详细介绍了生理学、药理学、病理生理学的实验原理和方法;第三篇是综合实验篇,详细介绍了生理学、药理学和病理生理学学科交叉产生的实验;第四篇实验设计篇是本书的特点,系编者结合设计性实验教学的实践经验而撰写,不仅介绍了实验设计的基本思路,还介绍了实验设计的基本组成包括专业设计、统计设计和动物设计等方面,具有很好的参考价值。

本书是在高等医学院校全面提高教学质量,树立以学生为本,知识传授、能力培养、素质提高协调发展的背景下完成的。目前,转变实验教学观念,以能力培养为核心,从传统的验证性实验向培养高素质和创新型人才的综合实验和创新实验转变已经成为医学实验教学改革的主旋律。以皮亚杰为代表的建构主义学习理论认为,知识是个体与环境在相互作用的过程中逐渐建构的结果,个体在实践中不断与环境接触,建构知识和行为策略。在这个过程中,实践在知识的建构中有决定性的作用,一方面学生受个人兴趣和需要的推动表现为主动性和选择性;另一方面受外部环境对认知的塑造和影响,在对知识信息的加工上表现为独立性和创造性。本书的编著者将“知识建构”和“实践创新”观念贯穿于实验教学的各个环节,引导学生通过能动的建构过程学习知识,建构起有利于培养学生创新能力和实践能力的教学新模式。该书适应于当前医学教学模式的转变,希望此书对当前医学院校机能实验的教学改革和发展起到促进和推动作用。

主 编

2013年6月

# 目 录

前言

**绪 论** 001

---

## 第一篇 基础篇

**第一章 BL-420 生物信号采集处理系统的原理与使用** 006

---

第一节 BL-420 生物信号采集处理系统 006      第二节 常用仪器设备使用方法 019

**第二章 常用实验动物的选择** 022

---

第一节 常用实验动物的生物学特性及其选择应用 022      第二节 实验动物的选择原则 025

**第三章 常用实验动物技术** 027

---

第一节 动物的抓取固定法、分组编号和标记方法 027      第四节 常用实验手术方法 039  
第二节 动物的给药、取血、处死法 030      第五节 常用实验动物麻醉方法 047  
第三节 常用手术器械操作技术 038      第六节 常用生理盐溶液、麻醉剂和药物剂量的换算 050

## 第二篇 基本实验篇

**第四章 神经系统实验** 054

---

实验一 电刺激强度、频率与骨骼肌收缩反应的关系 054      实验二 神经干动作电位的引导 056

实验三 神经兴奋传导速度的测定	058	实验六 大脑皮层运动机能定位	061
实验四 神经干不应期的测定	059	实验七 去大脑僵直	062
实验五 反射弧的分析	060		
<b>第五章 血液和循环系统实验</b>			<b>064</b>
实验八 血液凝固及其影响因素	064	实验十四 心血管活动的调节及影响因素	083
实验九 ABO 血型鉴定与交叉配血	066	实验十五 家兔减压神经放电	085
实验十 蛙心起搏点分析、期前收缩和代偿 间歇和蛙心灌流	068	实验十六 强心苷对离体蛙心的作用	087
实验十一 人的心音听诊	075	实验十七 亚硝酸异戊酯的扩血管作用	088
实验十二 人体动脉血压测定	077	实验十八 失血性休克动物模型的复制与 解救	089
实验十三 人体心电图的描记	080	实验十九 急性右心衰竭	091
<b>第六章 呼吸系统实验</b>			<b>093</b>
实验二十 膈神经放电	093	实验二十四 呼吸功能不全及其抢救	100
实验二十一 呼吸运动的调节及胸膜腔负压的 测定	095	实验二十五 尼可刹米对吗啡呼吸抑制的 解救作用	102
实验二十二 不同类型缺氧动物模型制备和 观察	097	实验二十六 可待因的镇咳作用	103
实验二十三 实验性肺水肿	098	实验二十七 药物对豚鼠离体气管的作用	104
<b>第七章 消化系统实验</b>			<b>106</b>
实验二十八 消化道平滑肌的生理特性和 药物的影响	106	实验三十一 抗高血压药物对离体血管平滑 肌的作用	110
实验二十九 实验性肝性脑病	108	实验三十二 肝功能对药物作用的影响	112
实验三十 传出神经药对离体肠肌的作用	109	实验三十三 硫酸镁的导泻作用	113
<b>第八章 泌尿系统实验</b>			<b>114</b>
实验三十四 影响尿生成的因素	114	实验三十六 利尿药与脱水药的利尿作用及 对尿电解质的影响	118
实验三十五 急性中毒性肾功能不全	116		
<b>第九章 感觉器官实验</b>			<b>120</b>
实验三十七 视力、视野测定和色觉检查	120	实验四十 盲点测定	124
实验三十八 视觉调节反射和瞳孔对光反射	122	实验四十一 破坏动物一侧迷路的效应	125
实验三十九 声音的传导途径	123	实验四十二 传出神经药物对兔眼瞳孔的作用	126
<b>第十章 药物作用实验</b>			<b>128</b>
实验四十三 药物剂量和给药途径对药物作用的 影响	128	实验四十四 全血水杨酸钠二室模型药动学 参数测定	129



实验四十五	药物血浆半衰期的测定	133	实验五十一	镇痛药和解热镇痛药的镇痛作用比较	142
实验四十六	药物半数致死量( $LD_{50}$ )的测定	134	实验五十二	纳洛酮对吗啡急性中毒的解救作用	144
实验四十七	氢化可的松的抗炎作用	136	实验五十三	传出神经系统药物对蟾蜍腹直肌的作用	145
实验四十八	普鲁卡因与丁卡因的表面麻醉作用比较	138	实验五十四	硫酸镁过量中毒的解救	146
实验四十九	局部麻醉药的传导麻醉作用	139			
实验五十	药物的抗惊厥作用	141			

## 第三篇 综合实验篇

### 第十一章 综合实验 152

实验五十五	实验性黄疸模型的复制与观察	152	降血糖作用	167	
实验五十六	有机磷酸酯类农药及其解救药对兔血压和呼吸的影响	157	实验六十二	药物对动物血流动力学的影响	171
实验五十七	氯化钡引起的心律失常及其解救	159	实验六十三	肝药酶的诱导剂、抑制剂对小鼠肝脏的影响	173
实验五十八	微循环障碍模型的复制和血管活性药物效果的比较	160	实验六十四	心血管活动调节及尿生成的影响因素	175
实验五十九	弥散性血管内凝血模型的复制和凝血功能异常	163	实验六十五	药物对动物学习和记忆的影响	178
实验六十	酸碱代谢平衡紊乱模型的复制和解救	165	实验六十六	实验性高钾血症及其药物治疗	180
实验六十一	糖尿病模型的复制以及胰岛素的		实验六十七	循环、呼吸和泌尿功能影响因素的综合观察	181

## 第四篇 实验设计篇

### 第十二章 专业设计 186

第一节	处理因素	186	第三节	实验效应	188
第二节	受试对象	187			

### 第十三章 统计设计 190

第一节	统计设计的基本原则	190	第三节	实验研究中统计学的基本思想	194
第二节	统计设计的基本步骤	192	第四节	常用的实验设计方案	202

### 第十四章 实验动物设计 210

第一节	选择实验动物应注意的问题	210	实验一	动脉粥样硬化模型的复制	211
第二节	疾病动物模型复制	211	实验二	心肌梗死模型的复制	213

实验三	急性心肌缺血模型的复制	214	实验七	肝硬化模型的复制	219
实验四	局部脑缺血模型的复制	215	实验八	急性中毒性肝炎、肝坏死模型的复制	219
实验五	肾性高血压模型的复制	216	实验九	心律失常模型的复制	220
实验六	实验性肥胖及糖尿病大鼠模型的复制	217			
<b>第十五章 实验设计指南</b>					<b>223</b>
<b>第十六章 探索实验概述</b>					<b>225</b>
第一节	医学科研概论	225	第二节	探索实验的基本步骤	227
<b>第十七章 探索实验的教学与管理</b>					<b>231</b>
<b>主要参考文献</b>					<b>234</b>

容,预习相关理论。

## 2. 实验中

- (1) 遵守课堂纪律,不得迟到、早退,有事应提前向老师请假。
- (2) 不得将不必要的物品带进实验室,保持实验室的整齐和整洁,做到实验器材的安放整齐和有条不紊。
- (3) 保持实验室安静,不得高声谈笑,不得进行与实验无关的活动。
- (4) 如仪器出现故障应及时报告老师进行处理。
- (5) 按照实验指导要求认真操作,节约使用药品;注意保护实验动物和标本。
- (6) 注意安全,严防触电、火灾,防止被动物咬伤及中毒事故的发生。
- (7) 仔细、耐心地观察实验过程中出现的现象,真实客观地记录实验结果,实验中的每项结果都应随时记录,并加上必要的文字标注,以免发生遗漏。对实验中取得的结果作如下思考:①取得了什么结果?②为何出现这样的结果?③这种结果有什么理论或实际意义?④出现非预期结果的原因何在?

## 3. 实验后

(1) 将实验用品整理就绪,所用器械擦洗干净,按实验前的布局整理归位,检查仪器的性能状况,填写使用单,如有损坏或缺少,应立即报告实验室管理老师。临时借用的实验器械或物品,实验完毕后清点并归还借用处。将动物尸体以及废物放到指定的位置,并将实验室打扫干净,离开实验室时,关闭门窗水电。

(2) 整理实验记录,得出实验结论,认真填写实验报告。

## 三、实验结果的处理

学生在实验后通过科学方法将所观察、检测及计算出的实验结果进行分析、统计和整理,转变为可定性或定量的数据或图表,以便研究其内在的各种变化规律。

对实验所得的结果,凡属可以记录定量检测的资料,如长度、高度、速度、质量等,均应以正确的单位和数值表示。凡可以记录到曲线的实验项目,应采用曲线来表示实验结果,在曲线上应有标注或说明,有些实验结果可采用表格或绘图。制表时,可将观察的项目列在表内左侧,右侧按顺序填写各项结果变化的数值,加上简要说明。绘图时,以横坐标表示各种刺激条件,纵坐标表示所得到的各种反应,坐标轴要有适当的标注,包括剂量单位。选择大小适宜的坐标以便作图,根据图的大小确定坐标轴的长短。绘制通过各点的曲线或折线要光滑,如果不是连续性变化,也可以用柱形的图来表示,图下注明实验条件、实验名称等。对需要统计学处理的实验数据,应选择适当的统计学方法进行处理,才能对实验结果进行评价。

## 四、实验报告的写作要求

- (1) 每次实验均要撰写实验报告,并按时上交。
- (2) 撰写报告时应注意文字简练、通顺,书写清楚、整洁,图表清晰,具体项目如下:
  - 1) 一般项目:姓名、班级、组别、日期、地点、实验环境、实验序号与题目。
  - 2) 实验目的:简要说明实验教学大纲的目标。
  - 3) 实验方法:记录实验的操作方法和步骤。
  - 4) 实验结果:是实验报告最重要的部分。根据实验原始记录,将实验过程中观察到的现象,真实、详细地整理记录。
  - 5) 讨论和分析:实验结果的讨论是根据实验现象和结果,用已知的理论知识进行解释和推理分析,判断实验结果是否为预期结果,并考虑和分析其可能的原因。
  - 6) 结论:实验结论是从实验结果中归纳出的一般的、概括性的判断,也就是这一实验所验证的概念、原理或理论的简要总结。结论中一般不必罗列具体的结果,在实验中未得到充分证据的理论分析不应写入结论。

实验的结论和讨论的书写是富有创造性的工作,应严肃认真,不要满足或拘泥于书本的解释,更不能盲

目抄袭书本;教师应鼓励和提倡学生对实验中出现的现象提出的假设。讨论和分析结论中所参考的文献资料,应注明出处。

### 五、机能实验学考核

包括机能实验基本知识、基本实验和综合性实验,考核由以下四方面构成。

1. 平时成绩(10%) 为了体现既重视考试,又重视平时表现的特点,防止考试前突击复习现象的发生,我们加重了对学生平时表现的考核,占总成绩的10%。根据学生在实验课上的综合表现评定成绩。

2. 实验报告(10%) 此项重在考核学生对实验结果的分析能力,占总成绩的10%。每次实验报告,以1分记,最后相加。实验报告书写认真、格式规范、内容完整、结果正确者,1分起记;在上述基础上,能查阅有关理论书籍,对实验结果进行客观而正确的分析,从中获取有效信息者,则以4分记。

3. 实验操作考试(10%) 为锻炼学生动手能力,加强理论与实践相结合,强化基本技能训练,除书面考试外,操作考试的考核也占较大比例,为总成绩的10%。操作考试事先给出范围,考试时采取抽签形式。技术操作基本规范,可在规定的时间内成功完成者,记5分;自信、动作流畅、操作规范、无失误者,记3分;每位独立完成单项操作的同学,记2分。

4. 理论考试(50%) 考试内容以与实验有关的理论知识为主,兼顾实验基本知识。卷面成绩以百分记,最后成绩乘以50%。

5. 机能实验设计(20%) 机能实验设计占总成绩的20%。

(张 晓)



# 第一篇

## 基础篇

# BL - 420 生物信号采集处理系统的原理与使用

## 第一节 BL - 420 生物信号采集处理系统

### 一、生物信号采集与处理的原理

生物信号是生物体在生命活动中产生的信号。生物信号一般可分为两类：一类是生物电信号，如心电、脑电、肌电和细胞电活动(动作电位和静息电位)；另一类是非生物电信号，如体温、血压、呼吸、心音、肌肉的收缩、二氧化碳分压、氧分压、pH 等。在生物信号的采集与处理系统中，电信号的采集需要合适的电极引导，非电信号的采集需要合适的换能器将其转换成电信号。生物信号的采集与处理是生物机能科学研究中要解决的重要问题。

传统的生物信号采集与处理系统是由功能不同的电子仪器及手工测量工具组合而成，它包括前置放大器、示波器、记录仪、分割规尺和计算器等。近年来由于计算机的飞速发展，特别是计算机生物信号采集与处理软件的开发，使得经过放大的生物电信号输入计算机后进行观察、测量、处理和储存成为可能。与传统的生物信号采集与处理系统相比，计算机生物信号采集与处理系统所记录和分析的生物信号在准确性、实时性和可靠性等方面有了很大的提高。而且，计算机生物信号采集与处理软件可以灵活设置各种实验参数，所采集的数据能够共享和进行复杂的多维处理，从而大大提高了系统的性能和实验质量，简化了实验过程。因此，生物信号采集与处理系统逐渐变为以计算机和相应软件为采集处理核心的数字化系统。

生物信号采集与处理系统的基本原理包括以下几个部分(图 1-1)。

1. 引导 首先将原始的生物机能信号，从有机体中引导出来。

2. 放大 将引入的生物信号进行放大。从有机体中引导出来的原始的生物机能信号，包括通过引导电极引入的生物电信号和通过传感器引入的非生物电信号。有些生物信号非常微弱，比如减压神经放电，其信号为微伏级信号，如果不进行信号的前置放大，难以记录和观察，因此首先需要对原始的信号进行放大处理。

3. 滤波 由于在生物信号中夹杂有众多的声、光和电等干扰信号，比如电网中交流电的 50 Hz 信号等，这些干扰信号的强度可能大于实验中需要观察的有用生物信号，如果不将各种干扰信号衰减或滤除，将造成生物信号观察和处理的困难。滤波就是要将夹杂在生物信号中的声、光、电等干扰信号滤除。

4. 模数转换 滤波后，通过模数转换将记录到的生物信号转换为数字信号，通过特定的计算机接口，比如 USB 接口将数字化的生物信号传输到计算机内部。

5. 计算机处理 计算机通过专用的生物机能实验系统软件接收传入的数字信号，然后对这些信号进行实时处理。一方面实时显示生物机能信号波形，一方面存贮采集到的生物机能信号，另外，生物机能实验系统软件还可以根据使用者的命令对数据进行指定的处理和分析，比如平滑滤波、微积分和频谱分析等。实验

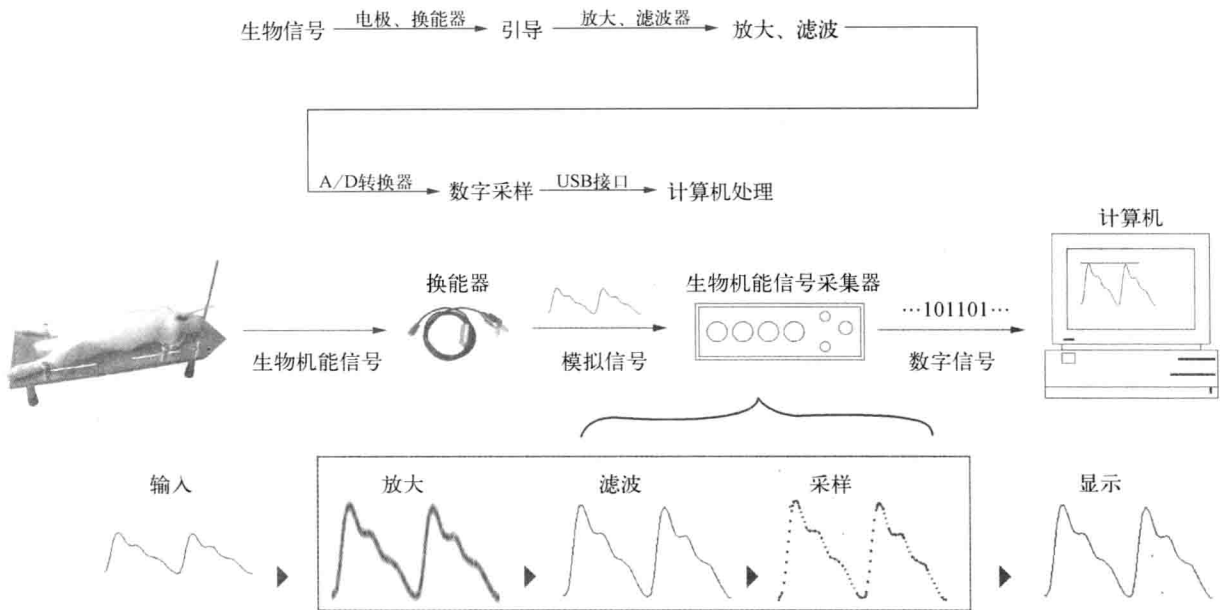


图 1-1 生物信号采集与处理系统原理

人员还可利用生物机能实验系统软件对存贮在计算机内部的实验数据进行后期观察和分析。

因此,一套完整的生物信号采集与处理系统一般包括:生物信号的引导、放大和滤波、A/D 转换和传输以及计算机处理四部分。即:

### (一) 生物信号的引导

生物信号的表现形式多种多样,既有声、光、电、气体分压等物理信号,又有浓度和 pH 等化学信号。这些生物信号的特点是微弱、非线性、高内阻和干扰因素多。因此,电极和各种换能器是生物医学测量中必不可少的关键部分,它们的特性决定了测量系统的质量。

1. 电极 电极是连接测量系统和生物体的元件,采集生物电信号时需要合适的电极,电极的性能优良与否,电极的类型选择是否合适将直接影响电信号采集的质量。

(1) 电极的种类: 电极的种类很多。根据安放的位置,可分为体表电极、皮下电极以及植入电极;根据电极的粗细,可分为粗(宏)电极与微电极;根据制作材料,可分为金属电极、玻璃电极和乏极化电极等。在生物电信号的引导中,根据各种实验的不同要求选用不同类型的电极。

#### (2) 常用的电极

1) 普通金属电极: 这类电极一般用铂(白金)、金、银、合金(镍、铜、锌)和不锈钢等金属制作而成。金属电极的外形可以根据实验要求制成各种形状。心电、脑电、肌电及神经干复合电位等的检测一般均用此类电极。

2) 极化电极: 当极化电极进入生物体组织或与生物的组织表面相接触时,会在电极和组织之间出现半电池电动势。如果电极中有电流流过,则还会出现极化电位。极化电位可随电极中流过电流的大小而变化,电流越大,极化电位越大。半电池电位与极化电位的总和电位差称之为电极电位。这种电位影响生物信号的检测,使波形畸变、失真,也影响刺激的精度等。

3) 微电极: 微电极是用于测量细胞生物电活动的微型电极。微电极的尖端直径仅为  $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 。微电极有两种类型: 一类是金属微电极,金属微电极多采用  $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$  不锈钢丝或钨丝,经过特殊方法处理而制成。这种电极除尖端外,其他部分是绝缘的;另一类是充灌了解质溶液的玻璃微电极,玻璃微电极由微电极控制仪控制而成,其内一般充以  $3 \text{ mol/L KCl}$  溶液作为电解质,微电极通常有很高的电阻,一般在  $5 \sim 40 \text{ M}\Omega$  范围。玻璃微电极一般选用高熔点、高电阻率和膨胀系数低的硬质毛细玻璃管,通常采用 Pyrex 和 GG-17 毛细玻璃管。玻璃微电极通常用来测量低频生物电信号,而金属微电极一般用来作为刺激电极和测量高频生物电信号。



2. 换能器 换能器又称传感器,是将生物体的能量从一种形式转换成另一种形式的传感元件,生物换能器在性能和结构上必须满足下列要求:

(1) 换能器应具有良好的技术性能,灵敏度和信噪比高,线性好,零点漂移低。

(2) 换能器对被测对象的影响应该较小,不会给被测对象的生理活动带来负担,其形状和结构应该符合被测对象的解剖结构。

(3) 换能器应具有足够的绝缘和耐腐蚀性,不会给生物体带来有害影响。

### (二) 生物电信号的放大和滤波

大多数生物电信号的电位幅值很小,所以通常需要经过放大才能被观察和记录仪器检测和记录。因此,在生物信号的采集过程中必须对引导的生物信号进行放大。

1. 放大器的选择 用于生物电信号放大的任何一个放大器,必须考虑其频率响应、噪声水平及输入阻抗三个基本技术参数。这三个参数是保证原始信号清晰和真实的前提。在实际测量时,应根据被测信号的性质选择合适的放大器。例如,使用微电极记录生物电信号时,应选择低噪声、高输入阻抗(大于 1 000 M $\Omega$ )的放大器。其次,根据需要放大信号的大小、性质,选择恰当的灵敏度、时间常数和高频滤波,才能不失真地把生物电信号放大,并记录下来。

2. 放大器的灵敏度、时间常数和高频滤波

(1) 灵敏度:放大器的灵敏度由观测仪器对信号的分辨率确定。

(2) 放大倍数:放大倍数(G)是指生物信号采集系统的放大倍数,BL-420 生物信号采集处理系统的放大倍数为 2~5 万倍。放大倍数的大小应依据实验的灵敏度来选择。

(3) 时间常数:时间常数(T)是决定放大器低端频率衰减的主要指标,它的作用是衰减生物信号中的低频成分,而允许高频信号通过。例如,当我们选择 0.01 s 的时间常数时,16 Hz 以下的信号成分至少被衰减了原来的 30% 及以上,越低频率的信号衰减的幅度越大。正确选择时间常数,可以减少信号的低频波动,比如减少心电信号中夹杂的呼吸干扰。一般测量快速交变信号时选择较小的时间常数,测量慢速交变信号时选择较大的时间常数。

(4) 高频滤波:高频滤波(F)的作用是将所检测的生物电信号中不必要的高频成分或噪声衰减,高频滤波又称为低通滤波。正确选择放大器的高频滤波,可减少信号中高频噪声水平,使图像更为清晰。一般情况下,高频滤波的选择应是输入信号高频端的两倍左右。

在测量生物电信号时,放大器的灵敏度、时间常数及高频滤波的选择可参考表 1-1。

表 1-1 部分生物电信号测量时放大器的灵敏度、时间常数、高频滤波的选择

生物电信号	灵敏度	时间常数(s)	高频滤波(kHz)
EMG	100 $\mu$ V/cm	0.01~0.1	5
ECG	0.5~1 mV/cm	0.1~5	0.1
脑自发电位	25~200 $\mu$ V/cm	0.1~5	0.1
脑诱发电位	50~100 $\mu$ V/cm	0.01~0.1	1
植物性神经冲动	25~200 $\mu$ V/cm	0.001~0.01	1~5
减压神经传入冲动	100~200 $\mu$ V/cm	0.001~0.01	1~5
膈神经传出冲动	50~100 $\mu$ V/cm	0.001~0.01	1~5
蛙坐骨神经动作电位	2~5 mV/cm	0.01~0.1	5~10
骨骼肌细胞动作电位	0.5~2 mV/cm	0.01~0.1	5~10
心室肌细胞动作电位	5~10 mV/cm	$\infty$ (直流)	5~10
耳蜗电信号	0.5~1 $\mu$ V/cm	0.1	10

### (三) 生物电信号的采集

在传统的生物信号处理系统中,经过放大的生物电信号可输送到示波器或记录仪中观察、记录和测量。为了能正确重现被测生物信号,示波器和记录仪应具有足够高的频率响应、合适的振幅动态范围、良