



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·预防·护理·检验·口腔·药学等专业用)

# 机能实验学

主编 杨芳炬



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·预防·护理·检验·口腔·药学等专业用)

# 机能实验学

Jineng Shiy anxue

**主 编** 杨芳炬  
**副主编** 何亚萍 李 玲 李著华  
徐江平 张 业 张 晓  
郑月慧 郝 刚 冯甲棣  
**主 审** 王树人

**编 委**(以姓氏拼音为序)

冯甲棣	中国医科大学	冯志强	泸州医学院
郝 刚	首都医科大学	何亚萍	四川大学
黄 英	四川大学	江从勋	四川大学
金宏波	哈尔滨医科大学	金 鑫	厦门大学
敬华娥	川北医学院	李亘松	中国医科大学
李 玲	贵阳医学院	李玉荣	哈尔滨医科大学
李著华	泸州医学院	孙 红	西安交通大学
田茂友	攀枝花大学	王树人	四川大学
徐江平	南方医科大学	杨芳炬	四川大学
杨云霞	四川大学	杨 拯	成都医学院
杨志梅	四川大学	张 晓	成都医学院
张 业	厦门大学	郑莉萍	南昌大学
郑月慧	南昌大学	朱 玲	四川大学



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

《机能实验学》将生理学、病理生理学、药理学三门课程的实验内容有机融合在一起,体现出学科之间的交叉融合、新技术的应用,以及学生创新能力的培养,内容涵盖基础医学的三大机能学科实验部分,是目前较为系统、全面、综合型实验内容丰富的机能实验学教材。

该教材通过与全国 13 所医学院校充分合作,集中了各校教学优势与特色,编写出的内容涵盖知识面广,科学性、实用性强。

教材分为 13 章。第一章主要介绍机能实验学基本知识和学习要求;第二章主要介绍机能学科实验设计的基本知识与方法;第三章至第十二章分别按生理机能系统分类方法将实验分为神经和骨骼肌实验、血液系统实验、循环系统实验、呼吸系统实验、消化系统实验、泌尿系统实验、代谢实验、感觉器官实验、内分泌与生殖系统实验,此种分类编排方式极大方便了广大教师和学生参阅和使用。第十三章对专业性较强的药物作用基本实验及处方学相关知识进行了专门介绍。

该教材适用于临床和基础医学、预防、护理、检验、口腔、药学等专业本科和 7 年制、8 年制教学,也可作研究生学习用书,并可供广大从事医学基础实验教学乃至临床研究人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机能实验学 / 杨芳炬主编. —北京: 高等教育出版社, 2010.1

供临床·基础·预防·护理·检验·口腔·药学等专用  
ISBN 978-7-04-028554-3

I. 机… II. 杨… III. 实验医学—医学院校—教材  
IV. R-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 226223 号

策划编辑 席 雁 责任编辑 甘师秀 封面设计 张 楠 责任绘图 尹文军  
版式设计 马敬茹 责任校对 王 超 责任印制 陈伟光

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京未来科学技术研究所 有限责任公司印刷厂	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2010 年 1 月第 1 版
印 张	17	印 次	2010 年 1 月第 1 次印刷
字 数	410 000	定 价	27.20 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28554-00

# 前 言

在加强医学教育工作、提高医学教育质量实施工程中,教育部和卫生部强调:“实践教学是保证和提高医学人才培养质量的重要环节和必要手段。”而实验教学作为高等医学教育的重要组成部分,对培养学生实践能力、创新意识、科学思维方法和严谨的科学态度至关重要。以科学的思维和严密的逻辑为引导对相关课程的知识进行合乎逻辑的重组和实施,才能培养出融知识、能力与素质为一体的医学科技创新人才。

《机能实验学》正是以此为目标,将生理学、病理生理学、药理学内容有机融合在一起,以基础与临床的密切结合为指导,用活的整体或组织器官以及离体组织器官为研究对象,从整体观出发,以人才培养目标为出发点,精心设计而形成的一个新的综合性实验课程体系。

《机能实验学》是机能学科实验教学改革成果。教材所涉及的机能学科实验内容摆脱了理论教学的束缚,结束了为验证理论而实验的历史,为按照实验教学规律组织教学创造了条件,让学生学有所思,思有所获。

《机能实验学》历经10年实践磨砺,在此基础上集中了国内广大机能学科改革开拓者的心血而得到发展。由此,2006年作为全国高等学校医学规划教材出版发行。2008年11月,为该教材的进一步完善与提高,同行们再次聚首,大家集思广益、贡献智慧,为本次“十一五”国家级规划教材的出版倾注心血,编著形成了更具特色和全面的新颖教材。

本版教材注重引入内容成熟、综合性强、实用性广的实验。同时,根据生理学、病理生理学和药理学的最新研究进展,适当更新或增加了内容。因此,本书不仅是目前较为系统、全面、完整、内容丰富且操作性很强的机能学实验教材,而且在一定程度上也可以作为医药研究工作者实验方法学的参考用书。

本书的编排本着由浅入深、循序渐进的培养步骤,以机能实验基本知识和基本技能训练为起点,让学生先熟悉一定的实验技术和方法,培养起对实验课的学习兴趣后再进入经典的或综合性实验的学习,让学生用严谨的科学态度、细致的观察能力和严密的逻辑思维方法对实验现象和实验中出现的科学问题进行分析,最后引导学生自己查阅文献进行实验讨论或设计新的实验。

本书按生理学、病理生理学和药理学的系统知识将实验内容进行章节分类设计,同时还编排了实验设计和常用统计学相关知识,将与药物应用有关的处方学知识收录其中,以利于查找相关内容与使用。

本教材还得到了相关编委学校同行曹永刚、曹宇、陈丽、程玉芳、杜克莘、黄锐、蒋毅萍、李琳、刘健、廖诗平、罗礼容、缪世坤、聂志伟、曲丽辉、孙莉莎、宋晓红、唐玉红、田汉文、万莉红、王兴会、王玉芳、熊文碧、岳利民、曾维诚、张金虎、张团笑、张艺、赵红、郑煜、植茂辉、周华、周宇、朱丽娜等老师的倾力支持,不遗余力的参与和协助编写,在此表示诚挚谢意。

集众家之长而补己之短,不断完善实验教材,让学生有一本内容新颖、实用性很强且适用范

围广泛的、科学的机能学实验教材是本教材编写宗旨。

由于本教材涉及交叉学科内容较多,编者水平有限,定会有不完善的地方甚至可能出现某些遗漏和错误。在此,恳请广大读者给以批评指正。

机能实验学教材编写组

2009年11月于成都

# 目 录

第一章 机能实验学概论	1
第一节 机能实验学基本知识	1
一、机能实验学的性质与任务	1
二、机能实验学的教学目的及学习要求	2
三、实验结果的记录方法与实验报告的书写要求	2
四、实验室规则和操作规程	3
第二节 机能实验学常用仪器及配套器械	4
一、生物信号采集与处理基本知识	4
二、计算机生物信号采集与分析系统	8
三、RM-6000 多导生理记录仪	18
四、BI-2000 医学图像分析系统	20
五、换能器	22
六、心电图机	25
七、激光多普勒 PeriFlax 系统	27
八、分光光度计	30
九、HX-300 动物呼吸机	33
十、神经标本屏蔽盒	35
十一、PowerLab 多通道生理信号采集与处理系统	36
十二、电磁流量计	40
十三、膜片钳实验装置及基本工作原理	41
十四、血气分析仪	47
十五、恒温平滑肌槽	48
十六、脑立体定位仪及脑立体定位技术	49
第三节 常用实验动物和动物实验基本知识	51
一、常用动物种类及选择	51
二、常用动物的捉持法、编号法、给药法、取血法	55
三、动物实验常用麻醉方法及异常情况的急救	60
第四节 常用手术器械与使用方法	63
一、手术刀	63
二、手术剪	64
三、手术镊	64
四、止血钳	64
五、持针器	64
六、缝合针	64
七、缝线	64

八、注射器 .....	64
<b>第五节 机能实验学常用手术方法 .....</b>	<b>65</b>
一、基本操作技术 .....	65
二、颈部手术 .....	67
三、胸部手术 .....	69
四、腹部手术 .....	69
五、股部手术 .....	70
六、开颅手术 .....	70
七、各种离体器官、组织制备方法 .....	71
八、蟾蜍或蛙神经-骨骼肌标本的制备 .....	74
<b>第六节 常用试剂、药物剂量的换算和配制 .....</b>	<b>75</b>
一、常用生理溶液的成分与配制 .....	75
二、常用试剂、药物浓度的表示与含义 .....	77
三、常用抗凝剂的浓度 .....	77
四、药物剂量的换算 .....	78
<b>第二章 实验设计 .....</b>	<b>81</b>
一、实验设计的基本理论 .....	81
二、实验设计的步骤 .....	83
三、实验数据的统计学处理 .....	84
四、论文撰写 .....	85
<b>第三章 神经和骨骼肌实验 .....</b>	<b>87</b>
实验 1 刺激强度和刺激频率与骨骼肌收缩的关系 .....	87
实验 2 神经干的动作电位、兴奋传导速度和不应期测定 .....	89
实验 3 兔减压神经放电及药物对放电的影响 .....	91
实验 4 蟾蜍缝匠肌细胞膜电位观察 .....	92
实验 5 终板电位 .....	94
实验 6 蟾蜍背根电位 .....	95
实验 7 大鼠大脑皮层电位记录 .....	96
实验 8 兔大脑皮层诱发电位 .....	97
实验 9 兔大脑皮层运动区功能定位 .....	99
实验 10 大鼠体外海马脑片的制备及 CA <sub>1</sub> 区突触后电位的观察 .....	100
实验 11 神经细胞单位放电 .....	102
实验 12 反射弧分析与反射时测定 .....	103
实验 13 运用膜片钳技术记录海马脑片锥体神经细胞离子通道电流 .....	105
实验 14 大鼠海马神经细胞钠通道电流的记录 .....	106
实验 15 人体脑电图 .....	108
实验 16 药物对学习和记忆的影响 .....	109
实验 17 地西洋对小鼠自主活动的影响 .....	111
实验 18 疼痛反应与药物的镇痛作用 .....	112

实验 19 药物对抗小鼠惊厥的作用 .....	115
<b>第四章 血液系统实验 .....</b>	<b>117</b>
实验 20 影响血液凝固的因素 .....	117
实验 21 红细胞渗透脆性实验 .....	119
实验 22 生理止血功能的测定 .....	120
实验 23 ABO 血型鉴定和交叉配血实验 .....	121
实验 24 Rh 血型鉴定 .....	123
实验 25 血细胞比容测定 .....	126
实验 26 红细胞沉降率测定 .....	127
实验 27 弥散性血管内凝血模型的复制及其凝血功能异常机制的探讨 .....	129
<b>第五章 循环系统实验 .....</b>	<b>132</b>
实验 28 蛙心起搏点的观察 .....	132
实验 29 容积导体的导电现象 .....	133
实验 30 离体蛙心灌流 .....	134
实验 31 期前收缩与代偿间歇 .....	137
实验 32 蛙离体心肌细胞动作电位的观察 .....	138
实验 33 Langendorff 离体心脏灌流实验 .....	140
实验 34 动脉血压的调节和药物对动脉血压的影响 .....	142
实验 35 实验性高钾血症及其抢救 .....	146
实验 36 心脏泵血功能的测定 .....	148
实验 37 急性右心衰竭 .....	150
实验 38 急性心肌梗死及药物的治疗作用 .....	152
实验 39 强心苷对心力衰竭心脏的作用 .....	153
实验 40 失血性休克及药物治疗 .....	156
实验 41 药物对犬血流动力学的影响 .....	157
实验 42 感染性休克模型的复制及其血管活性药物的抗休克效果比较 .....	160
实验 43 急性局灶性脑组织缺血再灌注损伤 .....	162
实验 44 利多卡因对氯化钡诱发的大鼠心律失常的作用 .....	164
<b>第六章 呼吸系统实验 .....</b>	<b>166</b>
实验 45 豚鼠组胺性哮喘及氨茶碱的作用 .....	166
实验 46 缺氧与耐缺氧 .....	167
实验 47 人体肺通气功能测定 .....	170
实验 48 呼吸运动调节及急性实验性呼吸功能不全 .....	172
实验 49 急性肺水肿 .....	174
实验 50 药物对离体气管条肌张力的影响 .....	175
<b>第七章 消化系统实验 .....</b>	<b>178</b>
实验 51 影响离体肠肌收缩的因素及药物对其的作用 .....	178
实验 52 人体唾液分泌 .....	180



实验 53	胃肠运动的观察 .....	181
实验 54	梗阻性黄疸 .....	182
实验 55	肝细胞性黄疸 .....	184
实验 56	溶血性黄疸 .....	186
<b>第八章</b>	<b>泌尿系统实验 .....</b>	<b>188</b>
实验 57	尿液生成的影响因素 .....	188
实验 58	水肿的形成与利尿药的作用 .....	192
实验 59	急性肾衰竭 .....	194
<b>第九章</b>	<b>代谢实验 .....</b>	<b>197</b>
实验 60	人体基础代谢率的测定 .....	197
实验 61	人体体温及表层温度的测量 .....	200
实验 62	体液 pH 对药物吸收的影响 .....	201
实验 63	酸碱代谢平衡紊乱 .....	202
实验 64	家兔发热模型的建立与阿司匹林的解热作用 .....	204
实验 65	氯丙嗪对体温的调节作用 .....	206
实验 66	氨在肝性脑病发病机制中的作用 .....	207
实验 67	尿液中酮体定性实验——朗格(Lange)法 .....	209
<b>第十章</b>	<b>感觉器官实验 .....</b>	<b>211</b>
实验 68	视敏度测定 .....	211
实验 69	视野测定 .....	212
实验 70	盲点测定 .....	214
实验 71	视觉调节反射和瞳孔对光反射以及药物对其的影响 .....	215
实验 72	声音的传导途径 .....	217
实验 73	耳蜗微音器电位与前庭蜗神经动作电位 .....	218
<b>第十一章</b>	<b>内分泌与生殖系统实验 .....</b>	<b>220</b>
实验 74	胰岛素的降血糖作用 .....	220
实验 75	胰岛素的过量反应及其解救 .....	221
实验 76	精子穿透去透明带金黄地鼠卵试验 .....	222
<b>第十二章</b>	<b>多系统综合实验 .....</b>	<b>225</b>
实验 77	不同功能状态时人体体温、呼吸、心率和血压的变化 .....	225
实验 78	不同因素对呼吸、心血管以及肾泌尿功能的影响 .....	226
实验 79	同一动物运动中中枢疲劳、神经-肌肉接头疲劳及骨骼肌疲劳的观察 .....	227
实验 80	家兔迷走神经传入和膈神经传出放电及呼吸运动同步记录的分析 .....	228
实验 81	心-肾反射活动的观察和分析 .....	229
实验 82	机体运动及其平衡的调控 .....	230
<b>第十三章</b>	<b>药物作用实验 .....</b>	<b>232</b>
实验 83	药物血浆半衰期( $t_{1/2}$ )的测定 .....	232
实验 84	磺胺类药物的吸收与分布 .....	235

实验 85	全血水杨酸二室模型药物代谢动力学参数测定 .....	236
实验 86	药物半数致死量(LD <sub>50</sub> )的测定 .....	238
实验 87	有机磷酸酯类中毒及解救 .....	239
实验 88	不同剂型对药物作用的影响 .....	241
实验 89	不同给药途径对药物作用的影响 .....	242
实验 90	药物的基本作用 .....	243
实验 91	肝功能对药物作用的影响 .....	244
实验 92	糖皮质激素对实验性大鼠足跖肿胀的抗炎作用 .....	245
实验 93	糖皮质激素对实验性小鼠耳郭肿胀的抗炎作用 .....	247
实验 94	抗菌药物体外抑菌实验 .....	248
实验 95	抗菌药物体内抗菌实验 .....	250
[附]	处方学 .....	253
	一、处方的意义 .....	253
	二、处方的组成 .....	253
	三、处方书写要求 .....	254
	四、处方的规定 .....	254
	五、处方的分类 .....	256
	六、麻醉药品管理 .....	256
	参考文献 .....	258

# 第一章 机能实验学概论

## 第一节 机能实验学基本知识

### 一、机能实验学的性质与任务

机能实验学是一门研究机体正常机能、疾病发生机制和药物作用规律的实验性学科,其课程是随着基础医学教学改革(尤其是实验教学改革)的深入逐步建立起来的。从医学发展史来看,生理学、药理学和病理生理学等机能学科理论的研究与发展均来源于机能实验。因而机能实验是研究和发展三门机能学科理论的基本方法和必不可少的重要途径。新形成的机能实验学继承并发展了生理学、药理学和病理生理学实验课程核心内容,并且进一步加强学科之间的交叉融合,更加重视新技术的应用,以及对学生创新能力的培养。

机能实验学是新课程体系建立的重要标志。本课程通过组建机能学综合实验室,转变教育观念,更新教学内容、创建新型教学模式等方面的积极探索而形成。目前在课程体系、教学内容、教学手段和培养目标等方面已具备一定特色,并成为一门重要的基础医学课程。

机能实验学课程内容包括:正常机体功能指标的测定方法和生理、病理因素及药物对其的影响;病理模型复制和生物、化学、物理因素对其的影响;同时,介绍与实验技术相关的方法学理论,机能学科交叉理论和技术,科学实验设计的基本思路和方法。

机能实验学教学在对学生进行系统、规范的实验技能训练的同时,更加注重创新能力的培养。为医学及医学相关专业学生提供了理论联系实际、大胆实践操作和积极思考的机会,为发挥创造性思维提供思考和实践的空间。

机能实验学课程内容按照循序渐进、科学合理、系统先进的原则,将教学重点放在对学生基本技能的训练、基本素质的培养及一些新技术的应用上。该课程和其他实践性学科一样,在培养学生科学精神、科学态度、实践能力和创新意识等方面上,具有不可替代的地位。

机能实验学作为一门独立的实验方法学科和课程,是医学及医学相关专业学生的必修课程。

机能实验学的首要任务是使学生通过学习机能实验学,掌握医学实验的基本规律和实验基本技能,培养学生科学思维方法。机能实验学的另一重要任务,是通过该课程设置教师指导下的学生自主实验设计和科研实践,使学生初步了解科学研究的过程。学生根据自己所掌握的知识范围,查阅有关资料、设计题目及拟出合理实验路径及方法,包括信息收集、课题立项、实验设计、技术路线、实验技能和方法、资料收集和整理、数据处理、结果分析、实验总结、论文撰写等科学研究过程。通过此种学习方法,学生头脑中不再只是单纯的某一个实验的知识,而是全面学习实验中所涉及的动物、仪器、方法、分析、总结等一整套科学的实验学知识,由此达到培养学生独立思考、实践创新、综合分析和解决问题的能力目标,以及刻苦认真、实事求是、理

论联系实际的科学态度和精神。学生通过该课程的学习,较好掌握了相关实验技能和基本素质,这将为学习后续课程、临床医学实践和医学科学研究乃至形成终生的学习、工作、科研等能力打下坚实基础。

机能实验学还运用科学研究的实践活动来促进机能学的实验教学,教师在科学研究实践中完成科学研究方法的学习并运用于教学,由此进一步发展与提高机能实验学教学水平与研究水平,进一步推动实验教学的改革与创新,更大幅度地提高该课程的教学质量。

## 二、机能实验学的教学目的及学习要求

### (一) 机能实验学的教学目的

本课程旨在通过实验教学训练学生基本操作技能,培养其动手能力,并将三门学科的理论知识融会贯通;培养学生实事求是、严谨的科学作风,严密的科学逻辑思维方法,以及观察、分析、解决问题的综合能力。同时,通过学习实验课程中的新技术、新方法,使学生了解和掌握机能学科实验方法的更新和发展方向,启发学生在机能学科实验研究中的创新思维,为培养学生的科学研究思维和科学研究能力奠定良好基础。

### (二) 学习机能学实验的要求

1. 做好实验前理论与操作准备 机能学实验课程是集机能学科理论与实验操作为一体的新型课程,因而在进行该课程学习前需做好以下准备。

(1) 熟悉相关生理学、病理生理学、药理学理论知识,以明确相关实验的设计目的、实验原理以及正确的实验结果。

(2) 预习实验教材中拟进行的实验内容,掌握实验目的与原理,了解实验步骤及操作要点、注意事项等。

### 2. 以严谨的科学态度进行实验

(1) 实验中严格按操作程序进行。实验小组中各成员合理分工并密切合作,既培养自己的动手能力与独立解决实验过程中的问题的能力,也培养相互之间的团结协作能力。

(2) 仔细、耐心地观察实验现象,认真做好记录。主动联系理论进行思考、分析实验结果和各种实验现象,认真总结实验成败原因,培养实事求是的科学作风。

(3) 对所进行的实验结果均应完整记录,经整理分析其结果后书写出实验报告。

## 三、实验结果的记录方法与实验报告的书写要求

### (一) 实验结果记录方法

1. 图形记录法 实验结果如以图形记录在实验仪器上的,经过科学的剪辑,可通过输出设备打印出来,再附在实验报告上。如神经和骨骼肌的电活动记录、心肌和肠肌收缩曲线、血压曲线等。

某些数据亦可经统计学处理后做成图形表示。如不同血药浓度与相应时间的对应关系,此时血药浓度为纵坐标、时间为横坐标,描记出药-时曲线图形。

2. 数据记录法 实验结果以测定数据记录的,可以统计数据表格形式表示,如各组动物不同情况下的血液和体液电解质浓度、 $PCO_2$  及  $PO_2$  等数据。注意应该采用标准的统计学三线表表格。

### (二) 实验报告的书写要求

1. 实验报告的一般格式 实验报告的一般格式如表 1-1 所示。

表 1-1 实验报告的一般格式

××大学实验报告

课程\_\_\_\_\_系\_\_\_\_\_级\_\_\_\_\_班 姓名\_\_\_\_\_学号\_\_\_\_\_

实验题目

实验目的及原理

实验动物及材料

实验方法

实验结果

讨论

结论

完成报告\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 批改报告\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 教师签名\_\_\_\_\_

2. 实验报告的书写要求 书写实验报告要求字迹清楚、工整,按格式要求逐一书写。

(1) 实验题目 一般将实验题目放在实验报告纸的第一行靠左或居中。

(2) 实验目的及原理 字数不宜繁多,一般用一两句话阐明实验所要证实的论点或要研究的内容即可。

(3) 实验动物及材料 应标明实验动物名称及麻醉方法,其余内容(如实验仪器、实验药物或试剂等)按实验的具体要求重点列出。

(4) 实验方法 应简明扼要地写出具体的实验步骤与过程等,可用“按××章××实验项下的实验方法进行”等字样表示。

(5) 实验结果 是整个实验报告的重点,根据实验结果真实、完整地以图形、表格或文字方式表示出来。如因操作失误或实验动物发生意外未能完成所需观察的实验结果,应在实验报告中如实说明。

(6) 讨论和结论 讨论应结合实验结果进行,宜简明扼要。讨论主要是分析、解释所观察到的实验结果和现象。如为预期结果,应结合理论知识对其作用、作用机制进行阐述;如未达预期结果,应找出原因,总结其经验教训。

结论放在实验讨论后,作为结尾完成。结论应以实验结果为依据,在讨论的基础上概括并总结出具有代表性的实验结果的论点或推论。

#### 四、实验室规则和操作规程

1. 按时进入实验室,不得迟到、早退或随意缺席。

2. 养成良好的学习和工作作风,保持实验室安静。严禁在实验室里高声喧哗、打闹。

3. 爱护实验室设施。实验中严格按实验步骤和方法进行,未经教师同意不得随意动用实验

室仪器或器械,切忌违规操作或粗暴使用精密仪器。如计算机操作时应掌握如何正确开机、如何进入实验程序、如何启动记录、如何存储与输出、如何打印实验结果及关机等。严禁在计算机上玩游戏、新建个人文件、随意启动其他程序,甚至损坏实验程序等与实验无关(甚至非法)的活动。

4. 实验前认真按教材清点实验桌上的实验器材,如有实验器械缺少或损坏应及时向教师报告。实验完毕后应将器械清洗干净,摆放整齐。如在实验过程中意外损坏实验器械,应向教师报告说明,以及时检修或更换。故意损坏实验仪器或器械者,除照价赔偿外,学校将给予行政处罚。

5. 养成节约的良好习惯。不得随意浪费动物标本、器材、药品和试剂。能重复利用的器材(如纱布、缝合针、试管、插管、针头等)应洗净再用。实验中不得图个人方便而随意移走公用物品。实验废物不得乱倒、乱扔,尤其是强酸、强碱试剂。有放射性的液体或污物、动物被毛、组织器官、纸屑等不得倒入水槽内,应统一放置在指定地点。

6. 实验完成后,应及时关闭计算机。离开实验室以前应安排值日小组做好实验室清洁,整理桌面物品,关闭总电源及稳压器开关、水开关、门窗等。最后,请实验室管理人员检查验收后方可离开。

(四川大学 杨云霞 杨芳炬)

## 第二节 机能实验学常用仪器及配套器械

### 一、生物信号采集与处理基本知识

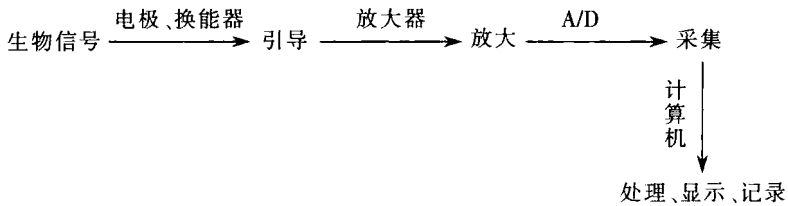
生物信号可反映生物体的生命活动状态,因此,生物信号的采集与处理是生物科学研究的重要手段之一。

生物信号的表现形式具有多样性,既有物理声、光、电、力等的变化,又有化学浓度、气体分压、pH 等的变化。生物信号具有信号微弱、非线性、高内阻、干扰因素多等特点。这些特征对于生物信号的采集与处理具有十分重要的影响。

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,如由前置放大器、示波器、记录仪、分割规、尺、计算器等构成。由于近年来计算机工业的飞速发展,特别是微型计算机的广泛应用,以及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进行观察、测量、处理和储存成为可能,而且更为方便、精确。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。

数字化生物信号采集和处理系统与传统的生物信号采集系统相比,生物信号的记录和分析的准确性、实时性、可靠性有了很大的提高,而且可以灵活设置更多的参数,并可以随时改变,使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。

一个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、生物信号的放大、生物信号的采集、生物信号的记录与处理四部分。即:



### (一) 生物信号的引导

生物信号一般可分为两类,一类是电信号,如心电、脑电、肌电和细胞电活动(动作电位,静息电位);另一类是非电信号,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。在一个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。因此,电极和换能器是各种生物医学测量中必不可少的一部分,它们的特性往往决定了测量系统的质量。

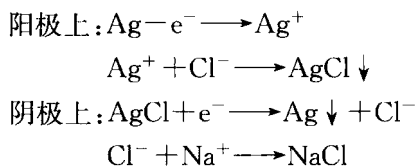
1. 电极 电极是连接测量系统和生物体不可缺少的元件。采集生物电信号时需要合适的电极,电极的性能优良与否,电极的类型选择是否合适将直接影响电信号的采集结果。

(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、皮下电极及植入电极;根据电极的形状,可分为板状电极、针状电极、螺旋电极、环状电极;根据电极的粗细,可分为粗(宏)电极与微电极;根据制作材料的不同,可分为金属电极、玻璃电极、乏极化电极等。在生物电信号的引导中,常常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)、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。ECG、EMG、EEG及神经干复合电位等的检测一般均用此类电极。

2) 乏极化电极:当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。如果电极中有电流通过,则还会出现极化电位。极化电位可随电极中通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。为了解决这一问题,一般用Ag-AgCl乏极化电极。这类电极在电生理学实验中常作为刺激电极,也用于精确的生物电信号的检测。其工作原理是:当直流电通过Ag-AgCl电极刺激活组织时,正负离子分别向阴极及阳极移动,但不是吸附在电极表面使之极化,而是与电极发生化学反应,使极化现象不再发生,刺激脉冲或引导的生物电信号也就不会失真。Ag-AgCl电极所发生的电化学反应表达式如下:



Ag-AgCl电极的缺点是Ag<sup>+</sup>离子对活组织有毒性作用,因而不能直接将它与活组织接触,而应通过琼脂盐桥或脱脂棉线中介,这样既能导电又避免直接与组织接触。

3) 微电极:微电极是用于测量细胞生物电活动的微型电极。这种电极的尖端直径仅为

0.5~5  $\mu\text{m}$ 。微电极有两种类型：一类是金属微电极，另一类是充灌了电解质溶液的玻璃微电极。金属微电极多采用 0.3~0.5 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。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，国外一般采用 Pyrex 毛细玻璃管，国内一般采用 GG-17 毛细玻璃管。经过净化处理后，毛细玻璃管用已经商业化的微电极拉制仪拉制成玻璃微电极，其内一般充以 3 mol/L KCl 溶液作为电解质。微电极通常有很高的电阻，一般在 5~40 M $\Omega$  范围。由于电学上的差异，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测量高频生物电信号和作为刺激电极。

### (3) 选择电极时应注意的事项

1) 电极材料与生物组织的相容性：一方面要求电极材料对组织无害，另一方面要求生物组织内环境对电极工作(尤其慢性实验时)没有影响。

2) 使电极的接触阻抗尽可能的小。降低接触电阻相当于降低了信号源阻抗，使得对放大器输入阻抗的要求降低，放大器选择范围增宽。一般增大电极面积可以降低接触电阻，但同时会降低空间分辨率。

3) 注意电极的机械性质和几何形状对生物体状态的影响。

4) 尽量使用半电池电位和极化电压小的电极。使用双电极时应用同一种材料，使半电池电位近似相等。

2. 换能器 换能器又称传感器，是将能量从一种形式转换成另一种形式的传感元件。换能器对于生物医学的基础研究和教学起着重要的作用，是非电信号精确测量不可缺少的部分。由于生物体的特殊性，所以生物换能器在性能和结构上必须满足下列要求。

(1) 换能器本身具有良好的技术性能，如灵敏度、信噪比要高，线性好，零点漂移低等。

(2) 换能器对被测对象的影响要小，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) 换能器要有足够的绝缘和耐腐蚀性，不会给生物体带来有害影响。

换能器的种类很多，原理各异，其选择参见相关章节内容。

## (二) 生物电信号的放大

由于大多数生物电信号的电位幅值很小，通常需要经过放大才能被观察仪器和记录仪器测量到。因此，在生物信号的采集过程中必须对所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。这三个参数是保证所放大的信号清晰、真实的前提。在实际测量时，首先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，首先应选择低噪声、高输入阻抗(大于 1000 M $\Omega$ )的放大器；其次，根据需要放大信号的大小和性质，选择恰当的灵敏度、时间常数、高频滤波，这样才能不失真地把生物电信号放大，并记录下来。

### 2. 放大器灵敏度、时间常数和高频滤波的选择

(1) 灵敏度 应以观测仪器、记录仪器能清晰分辨所测信号为准。

(2) 时间常数 时间常数是决定放大器低端频率的主要指标。正确地选择时间常数，可使所需放大的信号逼真、清晰、稳定。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。

(3) 高频滤波 可将所检测的生物电信号中不需要的高频成分或噪声滤掉。这样可使所测



信号的主要频率成分能够得到很好的放大。正确地选择放大器高频滤波,可提高仪器的分辨率,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。

在测量下述生物电信号时,放大器的灵敏度、时间常数及高频滤波的选择可参考表 1-2。

表 1-2 部分生物电信号测量时放大器的灵敏度、时间常数和高频滤波的选择

生物电信号	灵敏度( $\mu\text{V}/\text{cm}$ )	时间常数(s)	高频滤波(kHz)
EMG	100	0.01~0.1	5
ECCG	0.5~1 mV/cm	0.1~3.2	1
脑自发电位	25~200	0.01~1	1
脑诱发电位	50~100	0.01~0.1	1
自主神经冲动	25~200	0.01~0.1	3~5
减压神经传入冲动	100~200	0.01~0.1	5
膈神经传出冲动	50~100	0.01~0.1	5
蛙坐骨神经动作电位	0.5~5	0.01~0.1	3~5
骨骼肌细胞动作电位	0.5~2	0.01~0.1	3~5
心室肌细胞动作电位	5~10	$\infty$ (直流)	5~10
耳蜗电信号	0.5~1	0.1	1

### (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进行观察、记录和测量。为了能正确重现被测生物信号,示波器、记录仪应具有足够高的频率响应、合适的振幅动态范围、良好的线性、适当的阻尼特性及足够高的灵敏度与良好的稳定性。记录器可选用墨水式记录仪、喷墨笔式记录仪、光线示波器或 X-Y 记录仪,也可选用多通道磁带记录仪、示波器专用照相机等。

基于计算机的生物信号采集与处理系统的数据采集是将电极及换能器引导、转换并放大的模拟信号转变为数字信号,并将其输入计算机的过程,在进行数据采集时,需注意以下问题。

1. 采样频率( $f_s$ )的选择 采样时间间隔的倒数为采样频率,即  $f_s = 1/T$ 。为使信号采样后能不失真的还原, $f_s$  的选择必须满足:采样频率不低于信号最高频率的两倍,即:  $f_s \geq 2f_H$ 。例如:生物信号的频率范围是 0.02~20 kHz,对其采样时,选取的采样频率应满足:  $f_s \geq 40$  kHz。

2. 多路采样时通道数与采样频率的关系 由于计算机对多通道信号采集和处理是分时进行的,因此,通道数越多,同样的情况下每个通道可选择的最高采样频率就越低。

3. 分辨率与输入信号的范围关系 分辨率即所能测出信号的最小变化量,该变化量越小,则分辨率越高。因此,分辨率越高,可测量信号的最大值就越小,即信号的输入范围越小。

### (四) 生物信号的处理与记录

传统的生物信号处理主要是根据记录仪和示波器照相机等记录装置记录到的图形,通过分割规、尺、记录仪、计算器等进行手工计算。基于计算机的生物信号采集与处理系统的数据处理,由于生物信号被转换成数字信号输入计算机,所以,对信号的处理都是以数字方式由计算机进行的。计算机内部的存储器能够使数据暂时或长久存储,并可随时输出、显示或用于计算,使得被测信号能容易地进行多次处理、显示和比较。因此,与传统的信号处理方式相比,基于计算机的