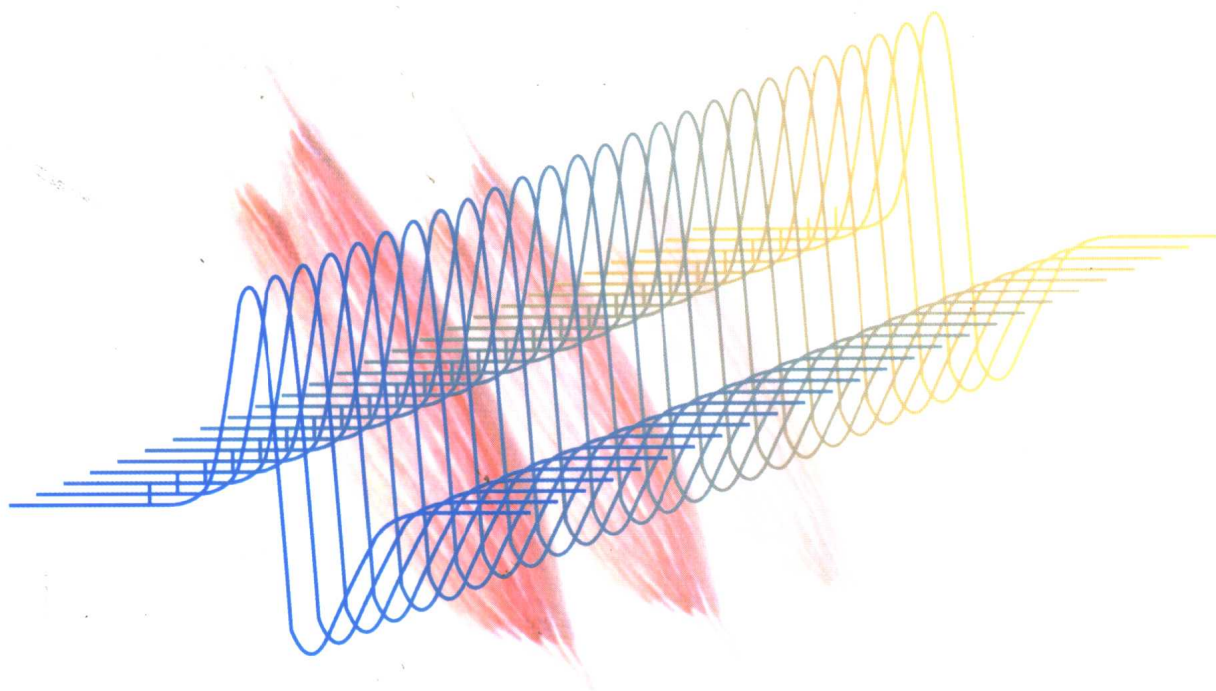




面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

医用机能实验指导

主编 萧家思



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

医用机能实验指导

主编 萧家思

副主编 黎海蒂 高玉琪 李晓辉



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。它将生理学、药理学、病理生理学等机能实验的内容精选、重新组合,归纳为一门新的课程。以实验技术、方法为培训单元,有利于培养学生们的基本操作能力和技能,改变过去实验课内容偏多、重复,仪器分散,使用率不高等缺点。主要内容包括:最常用的仪器及器械;动物实验基本操作技术及给药方法,这些方法在离体器官以及在体动物实验中的运用;部分人体机能实验,使学生掌握最基本的临床方法。本书最后安排综合实验和实验设计,为学生的科研实验能力打下基础。

本书可供临床、预防医学、医学检验专业本科生使用,也可供其他层次相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

医用机能实验指导/萧家思主编. —北京:高等教育出版社,2000
ISBN 7-04-008842-8

I. 医... II. 萧... III. 实验医学—医学院校—教学参考资料 IV. R-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 21621 号

医用机能实验指导

萧家思 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京民族印刷厂

纸张供应 山东高塘纸业集团总公司

开 本 850×1168 1/16

版 次 2000 年 9 月第 1 版

印 张 12.5

印 次 2000 年 9 月第 1 次印刷

字 数 250 000

定 价 14.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

医用机能实验指导

编写人员

主 编 萧家思

副主编 黎海蒂 高玉琪 李晓辉

编 委 (以姓氏笔划为序)

万子兵 宋 玲 李晓辉

罗全生 高玉琪 萧家思

阎淑枝 黎海蒂 熊家祥

前 言

随着现代科学技术的进步,生命科学将成为 21 世纪的主要研究领域之一,医学当是研究的重点。医学理论来源于临床实践和医学科学实验,而机能实验学则是医学实验科学的重要组成部分,是临床医学、预防医学、医学检验等专业的必修基础课程和技能训练课程。传统的基础医学机能课(包括生理学、药理学、病理生理学三门)的实验教学,通常是验证本门学科的理论内容。其优点是实验教学与理论知识密切联系,但共同的问题是:实验课内容偏多,各学科的实验分散进行,不成系统,部分内容重复,因此,不利于较高层次学生的科学思维方法和独立进行基本实验技能的培养;同时,由于各科分散使用实验仪器,不仅造成部分仪器重复购置,而且也不能充分发挥实验仪器的效能和及时更新。

为了使医学生在系统掌握医学基本理论知识的同时,能够系统学习和掌握有关动物机能实验(及部分人体实验)的基本知识、基本技能,以及医学科研实验的基本程序和方法,为今后的学习和工作打下良好基础。为此,我们将原有的生理学、药理学、病理生理学等机能实验课的内容重组、精选、提高,编写了这本《医用机能实验指导》。本书以实验技术、方法为培训单元,实验内容打破了学科界限,由浅入深,循序渐进,最后安排综合实验和实验设计。主要以培养本科学生的基本操作和技能为出发点,以提高学生独立操作和初步培养学生的科研实验能力为目的,同时也考虑到当前教研室体制未变情况下的可操作性。

近年来,由于微机的开发和应用,机能实验使用的仪器、设备已发展为智能化微机为主体的信号采集、分析处理系统。但由于各种处理系统的软件开发各有特色,难以统一,故本《医用机能实验指导》只介绍信号处理系统的一般原理和操作原则,具体实验中微机的连接、有关参数的选择和操作规程从略。

在本书编写过程中,得到了第三军医大学领导、教务部、基础部的大力支持和具体指导,病理生理、药理及生理教研室的有关同志进行了认真核对,保证了本《医用机能实验指导》的按期编成。

由于编者水平所限,本《医用机能实验指导》在内容等其他方面,缺点和不足在所难免,希望在使用过程中不断得到各方面的反馈信息,以利于其修改和完善。

编 者

1999 年 1 月

目 录

前言	1	实验 15 脊髓反射与反射弧的分析	86
第一章 医用机能实验绪论	1	实验 16 大脑皮质运动区机能定位及去 大脑僵直(示教)	89
第一节 医用机能实验的目的、特点和要求	1	实验 17 哌替啶与罗通定的镇痛作用比较	91
第二节 实验结果的处理和实验报告的书写	3	实验 18 苯妥英钠、苯巴比妥钠对抗电惊厥 的作用	92
第三节 实验室规则	5	实验 19 动物一侧迷路破坏的效应	93
第二章 医用机能实验常用器械及仪器	6	第六章 人体机能实验	95
第一节 常用实验器械及仪器	6	实验 20 心音的听诊	95
第二节 微机的组成、功能及信号采集、 分析系统	16	实验 21 人体动脉血压的测定	96
第三章 动物实验基本操作技术及给药	22	实验 22 人体心电图描记(示教实验)	99
第一节 常用实验动物的处理	22	实验 23 视力测定	102
第二节 急性动物实验常用手术方法	30	实验 24 视野测定	103
第三节 药物剂量的换算及给药方法	42	实验 25 盲点的测定	105
第四章 离体组织器官实验	51	实验 26 色觉检查	107
实验 1 蛙或蟾蜍神经肌肉标本的制备	51	实验 27 近反射与瞳孔对光反射	107
实验 2 刺激强度和频率与骨骼肌收缩 的关系	53	实验 28 声音的传导途径	109
实验 3 电刺激及化学因素对心脏活动 的影响	55	第七章 电生理实验	111
实验 4 离体小肠平滑肌的特性	59	实验 29 神经干动作电位的引导、兴奋传导 速度及兴奋性的测定	111
实验 5 利用肠肌标本鉴别未知药物	60	实验 30 减压神经放电	115
实验 6 利血平耗竭儿茶酚胺的作用	61	实验 31 膈神经放电	117
实验 7 用乙酰胆碱的量效曲线求 pD_2 及其 拮抗剂(阿托品)的 pA_2	63	实验 32 豚鼠耳蜗微音器电位	119
第五章 在体动物机能实验	67	实验 33 大鼠大脑皮质诱发电位	120
实验 8 心跳起源的分析	67	实验 34 蟾蜍在体心电图及心肌细胞动 作电位的测定	123
实验 9 蛙肠系膜微循环的观察	69	实验 35 神经元单位放电的记录及分析	126
实验 10 哺乳动物动脉血压的调节	70	第八章 理化分析实验	129
实验 11 利多卡因对抗氯仿所致的小白鼠 室颤	76	实验 36 红细胞渗透脆性试验	129
实验 12 胸内负压及气胸	78	实验 37 血液总量的测定	131
实验 13 哺乳动物呼吸运动的调节	79	实验 38 血型鉴定与交叉配血	132
实验 14 影响尿生成的因素	81	实验 39 全血磺胺噻唑二室模型动力学参数 测定	134
		实验 40 血清甲状腺素(T_4)的放射免疫	

测定	141	观察及中心静脉压的测量	167
实验 41 放射受体分析	147	实验 49 几种类型的缺氧及影响缺氧耐	
实验 42 环磷酸胺(CTX)对氘标记的胸腺		受性的因素	169
嘧啶核苷(^3H -TdR)掺入细胞合成		实验 50 影响胸膜腔内负压变动的因素	
DNA 的抑制作用	154	及呼吸功能不全	170
第九章 动物疾病模型的复制及综合		实验 51 正常及急性肾功能衰竭时肾功能	
实验	158	变化的比较及对影响因素的分析	172
实验 43 地塞米松的抗炎作用		实验 52 药物的急性毒性试验——半数	
(大鼠足容积测量法)	158	致死量的测定	176
实验 44 抗菌药物的体内抗菌实验	160	实验 53 有机磷药物中毒及其解救和	
实验 45 肾上腺摘除对应激能力及水盐		全血胆碱酯酶活性的测定	180
代谢的影响与药物替代疗法	161	实验 54 大鼠主动回避反应的建立和	
实验 46 在体心电图的测定及豚鼠高血		消退以及某些因素的影响	183
钾症	163	第十章 实验设计	186
实验 47 急性右心衰竭及其心电、心肌力		第一节 学生自行设计实验的目的和实施	186
学分析和药物干预	165	第二节 学生自行设计实验的步骤、内容和	
实验 48 狗失血性休克肠系膜微循环的		要求	187

第一章

医用机能实验绪论

第一节 医用机能实验的目的、特点和要求

一、医用机能实验的目的

医学是一门复杂的综合性科学,它的一切结论都来源于临床实践及医学科研实验,医学实验的种类繁多,而医用机能实验是医学实验的重要组成部分,也是其他医学实验的基础,它包括原有的生理学、病理生理学及药理学有关实验。实践证明,人体与动物,特别是哺乳动物的机能活动规律是十分相似的。许多在人体不能进行的实验,可以通过有关的动物实验,研究有机体、器官、组织、细胞在生理、病理情况下各种机能活动的规律;研究某些药物(新药、新剂型、提取的成分)对这些活动规律的影响(疗效)、机理及毒性,为研究人体的各种机能活动规律提供借鉴和实验依据。

医用机能实验的目的在于通过循序渐进的实验,熟悉机能实验的基本方法,正确操作微机信号采集、分析系统及常用实验器材,掌握基本的实验技能、数据采集、实验进程的观察和结果分析,以此验证和巩固所学的机能学基本理论,培养学生的科学思维方法,独立思考、解决问题的能力,以及实事求是、严谨的科学态度。

二、医用机能实验的特点

与医学形态学、物理、化学、微生物和免疫学等实验不同,医用机能实验有以下一些特点:

(一) 实验对象为活体。不论是整体动物还是离体的器官、组织,都是在活体的状态下进行实验的。动物及其标本的机能状况如何,将直接影响实验效果,因此,对实验动物应十分爱惜,实验手术和操作必须小心、细致,力戒粗暴。

(二) 机能实验学使用的仪器和器材较多,它们的性能各不相同,尤其是微机等精密的电子仪器,结构复杂,价格昂贵,使用时必须按照操作规程,避免损坏

仪器。

(三) 在实验过程中,经常要接触到一些药物和试剂,不同动物对同一种药物或试剂的反应及剂量有时差别很大,使用时要特别注意。

(四) 机能实验常常不能直观地得出结论,而是要通过对大量实验结果的观察和分析才能得出。因此,在实验中应仔细观察所出现的各种实验现象和结果,不论是阴性的还是阳性的,对所得的实验结果必须进行认真地观察、记录和分析。

总之,通过机能实验不仅可以验证有关理论,锻炼学生的独立操作能力,而且可以启发和活跃思维,为将来科研工作打好基础,因而学生应主动、积极地学习,不能抱着只是完成任务的态度。

三、实验要求

根据机能试验课的特点,为了实现以上目的,必须做到以下几点:

(一) 实验前

1. 主动积极进行实验准备

仔细阅读实验指导,了解实验目的、要求、步骤和操作程序,尤其是要注意本实验的“注意事项”。

2. 复习有关理论

实验前结合所学理论,明确实验目的、原理、方法等,做到充分理解实验的原理和意义。在实验中做到心中有数,避免每进行一步都看实验指导或从采样窗口中返回寻找方法和实验项目。因为每次从测量窗口返回后,参数均需要重新调整(包括自动调整)。

3. 弄清操作要点,拟订实验安排,预测实验结果,对每一步骤应得的结果和可能发生的问题做到心中有数,避免实验中出现忙乱和差错。

4. 正确操作,统一规范

按照操作规程正确使用仪器,如微机及外围设备的电源开、闭顺序,实验程序的进入和退出,避免造成文件丢失。正确使用器械、正规抓取动物和按要求进行手术操作等,做到规范统一。存贮文件时,每记录存贮一次,若已有前一文件,要注意修改本次文件名,以防止覆盖。

(二) 实验中

1. 实验器材安放整齐,保持清洁,有条不紊。公用试剂、仪器不得随意搬走,以免影响他人实验。禁止进行与实验无关的操作。

2. 按照实验步骤,以严肃认真的态度独立操作,克服对老师的依赖性;力戒操作粗暴,不得进行与实验无关的活动和扳弄与本实验无关的仪器;注意爱护实验器材、实验动物及标本,节省消耗性器材和药品。

3. 仔细观测,科学分析

勤动脑,仔细、耐心地观察实验过程中出现的现象,及时在实验记录上作好标记,随时记录实验结果,并联系理论进行思考:(1)发生了什么现象?(2)为什么会

出现这些现象？(3)这些现象有什么意义？实验中遇到每一问题及实验结果都需正确对待和科学分析，切忌伪造实验结果。实验的成败与实验者的操作、仪器的使用、动物的机能状态、药品剂量和方法等都密切相关，都需要正确对待。实验中出现问题，应及时请示教师处理，切忌擅自乱动。

4. 爱护仪器、器械，避免损坏

爱护仪器、器械，如放大器输入端口的连接，需对准槽口插上。刺激输出时，切勿短路，否则将造成刺激器输出极电子元件的损坏。

5. 用过的试剂、浓酸和碱液及动物被毛、小动物器官及尸体等应倒入废物缸中，严禁倒入水槽，以免堵塞、损坏水管和下水道。放射性污染物应严格按照规定要求放置，避免造成大范围污染。

(三) 实验后

1. 整理实验仪器，将所有电子仪器的旋扭扳回到零位；按操作规程的顺序关闭微机和外围设备的电源开关，罩上仪器的防尘罩。将存活的动物及死亡的动物分置指定场所。

2. 清点、整理实验用具，将手术器械洗净并擦干。如有缺损，应及时报告指导教师。临时借用的器材物品，实验完毕后交还负责教师或实验员。

3. 值日生负责将实验室打扫干净，关掉总稳压电源开关，关好门窗。

4. 整理、分析实验结果，认真书写实验报告，然后交指导教师评阅。

第二节 实验结果的处理和实验报告的书写

一、实验结果的分析处理

实验中所得到的结果必须进行分析处理，才能从中发现问题，得出结论。此项工作可以在实验中进行，有的还须在实验后进行。对实验结果的分析应注意以下几方面的变化：

1. 数量的变化

例如实验曲线或电位幅值的高低、节律的快慢、液滴的多少、时间的长短等，这些结果应真实地描记在实验记录纸上，并需标明数值和单位。

2. 时程的变化

有些实验结果主要表现在发生反应的时间缩短或延长。这种情况下，在实验记录上应标记实验起始、开始反应、反应最高(强)、反应恢复等各时相点，同时还要标记单位时间。

3. 结果的性质

有许多实验结果的外观很相似，必须判定结果的性质。例如记录到一个电位，就应区别是真的电位还是刺激伪迹，是场电位还是单位放电，是细胞内的还是细胞

外的。

4. 部位的分析

不同的部位可以产生类同的结果,但其意义却不同,如果不加区别就会导致结论错误。例如在兔的减压神经和膈神经都能记录到周期性的电变化,但前者与血压有关,而后者与呼吸有关。

二、实验结果的表示方法

1. 实验结果可以直接用实验记录加上标注来表示,实验记录通常是以实验项目的变化为纵坐标,以时间为横坐标,描绘出记录曲线,这种表示较直观。例如肌肉收缩曲线、动脉血压变化曲线等。

2. 为便于比较,有些非连续性的实验结果,可以用表格形式来表示。制作表格时,一般将实验项目放在表格左侧,由上而下排列;将每项结果按时间顺序或数量变化顺序,从左到右排列。

3. 一些较复杂的实验结果必须进行统计学的分析处理,然后以统计图、表的方式来表达。

三、实验报告的书写

1. 实验报告的一般格式

医用机能实验课实验报告	
姓名	_____
班次	_____
组别	_____
日期	_____
实验号和题目:	
实验目的:	
实验方法:	
实验结果:	
讨论和结论:	

2. 实验报告书写的要求

(1) 按照要求认真填写实验报告有关项目,字迹规整,文词简练。

(2) 实验方法:一般不必详述,如果实验仪器或方法有所变动时,或因操作技术影响实验结果的可靠性时,可作简要说明。

(3) 实验结果:应真实、正确地记述实验中所观察到的现象。为此,在实验中应有专人负责,记录每项实验结果。实验结束后,根据实验结果和上述的要求来写实验报告,不能只凭记忆。如有未完成的项目,应加以说明,切忌抄袭他组的实验

结果。

(4) 讨论和结论:实验的讨论应结合课堂所学到的理论对实验结果进行解释及分析,判断实验结果是否达到预期目的;如结果未达预期目的,甚至出现反常现象,应分析考虑可能是什么原因。实验的结论应在讨论的基础上,概括地作出带有共同规律的几点小结或推论。结论应言之有据(即自己的实验结果),不能照抄书本理论,或写些与本实验无关的结论。

第三节 实验室规则

一、遵守学习纪律,准时到达实验室,因故缺席或早退应向教师请假。

二、严肃认真进行实验,培养严谨的科学态度。实验期间不得进行与实验无关的活动。

三、保持实验室安静,严禁喧哗,以免影响他人实验。养成良好的工作作风。

四、爱护实验仪器及器材。实验开始前应认真检查器材,如有缺损,应及时报告指导教师。实验中应严格按操作规程使用仪器,各组专用器材不得串用,以免混乱。实验中如仪器出现故障,应及时报告教师或实验技术人员,以便检修或更换,严禁自行拆卸、乱修。

五、珍惜实验动物。实验动物在实验前按组发给,因故需要补领时,必须经过指导教师批准。

六、保持实验室内清洁整齐,不必要的物品不得带入实验室。实验结束后应清点、擦净实验器材和用品,并摆放整齐。桌面收拾干净,动物、纸片及废品应放到指定地点,不要随意乱扔。

第二章

医用机能实验常用器械及仪器

第一节 常用实验器械及仪器

一、肌动器

肌动器是专门用来描记蛙类神经肌标本收缩、舒张活动的装置,有平板式(图2-1)及槽式几种,它们都用绝缘材料制成。槽式肌动器的优点是可以加盖,使槽内能保持一定的湿度,以避免标本干燥。肌动器一般都装有两对刺激电极,一个安装标本的插孔及固定螺丝,此外老式的肌动器还有一个安装乏极化电极的支架。肌动器的侧方是一根用来作固定的金属棍。其前方是描记杠杆,通过杠杆架螺丝在槽孔板中位置的调节,可以改变杠杆与肌动器平板相对位置。顶在描记杠杆下方的小螺丝钉叫“后加负荷螺丝钉”,在进行肌肉负荷实验时使用。

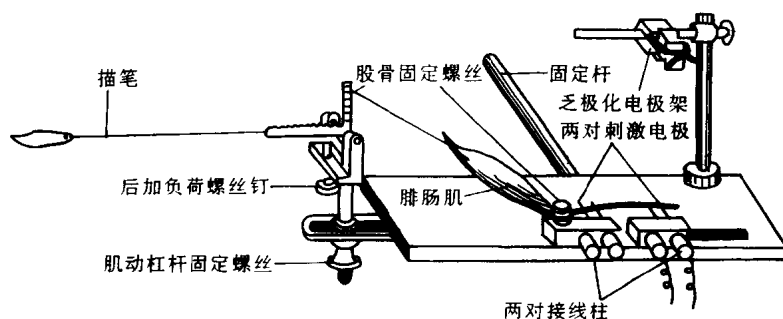


图 2-1 肌动器

安装标本时操作要轻,不要使标本受牵拉和被污染,以保持神经肌标本良好的兴奋性。先将神经搭在电极上,将肌肉附着的股骨插在电极旁的小孔内,拧紧固定螺丝,再将肌肉游离端的扎线缚在杠杆上。缚线之前,先将杠杆架的位置固定在槽孔板的中部;缚线后,再适当调节杠杆支柱的位置,使杠杆和描笔在肌肉不收缩状态下保持水平。最后,向上旋转“后加负荷螺丝钉”到刚刚接触描笔杠杆。这种情

况下,肌肉收缩前杠杆上所施加的任何负荷都不会牵拉肌肉,只有当肌肉开始收缩后,杠杆离开了这根螺丝钉,负荷才会通过杠杆牵拉肌肉,故此螺丝钉叫“后加负荷螺丝钉”。如果不用描记杠杆,可将肌肉标本的扎线直接结扎在张力换能器上。

二、换能器

换能器也叫传感器,是将能量从一种形式转变为另一种形式的器件。医学生物学常用的换能器是将一些非电信号(如机械、压力、光、温度、化学等的变化)转变为电信号,然后输入不同的仪器进行处理,以便对其所代表的生理变化作深入的分析。换能器的种类很多,生理学实验中常用的换能器有张力换能器和压力换能器两类。

(一) 张力换能器

1. 原理及规格

张力换能器如图2-2上所示是利用某些导体或半导体材料在外力作用下发生变形时,其电阻会发生改变的“应变效应”原理。将这些材料做成薄的应变片,用这种应变片(常用弹性较好的铍青铜片)制成的两组应变元件(R_1, R_2 及 R_3, R_4)分贴于悬梁臂的两侧,作为桥式电路的两对电阻,两组应变片中间连一可调电位器,并与一个3V直流电源相接。当外力作用于悬梁臂的游离端并使其发生轻度弯曲时,一组应变片的一片受拉,一片受压,电阻向正向变化;而另一端的变化相反。由于电桥失去平衡,产生微弱的电流信号,输出并放大后可输入示波器、微机显示或记录仪描记。

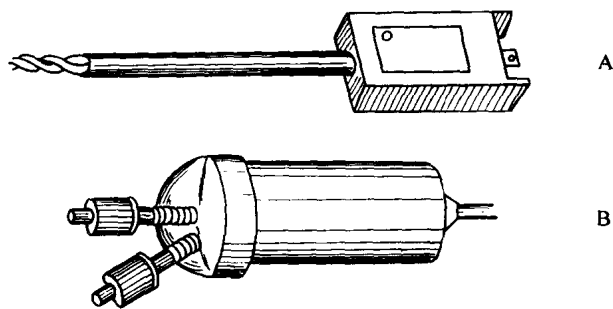


图2-2 张力换能器和压力换能器

A. 张力换能器 B. 压力换能器

机械-电换能器的灵敏度和量程决定于应变元件的厚度。悬梁臂越薄就越灵敏,但量程的范围越小。因此,这种换能器的规格应根据所作实验来决定。蛙腓肠肌实验的量程应在100 g以上,肠平滑肌实验应在25 g,小动物心肌乳头肌实验应在1 g以下。

2. 使用方法

先将肌肉的一端固定,在保持肌肉自然长度的情况下,将肌肉另一端的扎线穿

过悬梁臂前端的小孔,并结扎固定。

3. 使用注意事项

(1) 机械-电换能器的应变元件非常精细,使用时要特别小心,实验时不能用猛力牵拉或用力扳弄换能器的悬梁臂,以免损坏换能器。

(2) 换能器应水平地安置在支架上。正式记录前,换能器应预热 30 min,以确保精度。

(3) 使用时,防止生理盐水等溶液渗入换能器。

(二) 压力换能器

1. 原理和结构

压力换能器是将各种压力变化(如动、静脉血压,心室内压等)转换为电信号。将这些电信号输入前级放大器放大后,再输入微机或示波器显示,原理同前。压力换能器的结构(如图 2-2B),头端是一个半球形的结构,内充生理盐水,其内面后部为薄片状的应变元件,组成桥式电路。其前端有两个侧管,一个用于排出里面的气体,另一个通过导管与测压力的探头相连。

2. 使用方法及注意事项

(1) 压力换能器在使用时应固定在支架上,不得随意改变其位置,使用前预热 30 min,待零位稳定后方可进行测量。

(2) 换能器在进行测量前,要将两个压力接嘴分别与三通接好,不得有泄漏现象,可用压力计先预压 2~3 次,然后再调整零位基准,即在没有压力之前,压力换能器的输出电位应为零。

(3) 换能器结构中有调零电位器,可以单独调节零点位置,也可与记录仪配合调整。

(4) 注意将“O”型垫圈垫好,以免漏水。

三、电极

为了引起可兴奋组织的反应,可以给予各种刺激,如温度、机械、化学等刺激,但最常用的是电刺激。电刺激可以从许多仪器获得,现多采用电子刺激器。本实验室所用的刺激器是全部安装在微机内的。刺激器输出的电脉冲必须通过电极才能作用于组织或细胞。下面仅介绍常用的几种:

电极依其使用目的不同,可分为普通电极、保护电极、乏极化电极、微电极等多种。

(一) 普通电极

通常是在一绝缘管的前端安装两根电阻很小的金属丝(常用银丝),其露出绝缘管部分仅 5 mm 左右,金属丝各连有一条导线(图 2-3A),分别与刺激器的输出端(作刺激电极用时)或放大器的输入端(作记录电极用时)相接。使用此种电极时,应注意电极不要碰到周围的组织。

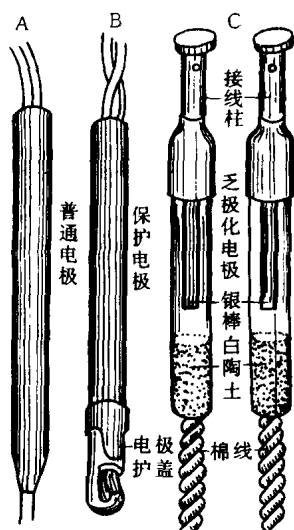


图 2-3 各种电极

A. 普通电极 B. 保护电极
C. 乏极化电极

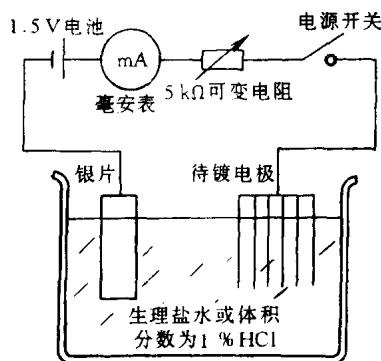


图 2-4 电镀 AgCl 装置

(二) 保护电极

其结构与普通电极相似。特点是前端的银丝嵌在电木保护套中(图 2-3B)，使用此种电极刺激在体神经干时，可保护周围组织不受刺激。

(三) 锌铜弓(叉)

锌铜弓实际是一个带有简单锌铜电池的双极刺激电极，常用来检查坐骨神经腓肠肌标本的机能状况。其结构是平行排列的一根粗锌丝和一根粗铜丝，二者的顶端焊接在一起，固定于电木管内，当锌铜弓与湿润的活体组织接触时，由于 Zn 较 Cu 活泼，易失去电子形成正极，使细胞膜超极化，Cu 得到电子成为负极，使细胞膜去极化而兴奋。电流按 $Zn \rightarrow \text{活体组织} \rightarrow Cu$ 的方向流动。注意：用锌铜弓检查活体标本时，组织表面必须湿润。

(四) 乏极化电极

当用直流电刺激组织或记录直流电位(例如细胞膜的静息电位)时，由于细胞内、外液均为电解质溶液，当两电极间的回路中有直流电通过时，阳极周围将有负离子的堆积，阴极周围将有正离子的堆积。时间越长，两极下堆积的相反离子越多，此即极化现象。这些堆积的极性相反离子会产生反向电流，使通电电流逐渐减小，断电时又可形成反向刺激电流，此时必须使用乏极化电极(图 2-3C)。目前多用 Ag-AgCl 的乏极化电极。

Ag-AgCl 电极：Ag-AgCl 电极的制作简单。制作时，先用细砂纸将银丝或银片的表面擦光，然后用酒精(或乙醚)将电极表面脱脂(电极表面清洁与否是 AgCl 电镀成败的关键)，再用蒸馏水将电极冲净后，安置在电镀架上。

电镀 AgCl 的装置(如图 2-4)。将待镀 AgCl 的银丝夹在接有导线的金属夹上(或将银丝焊一导线),该导线与直流电源的阳极相联,直流电源的阴极接约 1 cm^2 的小银片或干电池的碳棒(也可用铅笔芯)。直流电源可用一节 1 号干电池或 2V 的蓄电池,在电路中串联一只 $5\text{ k}\Omega$ 的电位器,也可串联一只 $1\sim 5\text{ mA}$ 的毫安表及小开关。小烧杯内盛生理盐水或体积分数为 1% 的 HCl 溶液,将阴极及待镀 AgCl 的银丝均浸没于电解液中,通电后即可见阳极的银丝逐渐变得灰黑。电镀的时间取决于电流的大小和待镀银丝的多少。一般说来,电流大,电镀的时间短,但不易均匀,易于剥落;反之,电流小,电镀的时间长,涂层均匀且牢固,故以通小电流为宜。电流大小按电极面积每 1 mm^2 为 0.01 mA 计算。通常通 0.4 mA 电流时,一对电极的电镀时间约为 15 min , 40 mA 电流电镀 $2\sim 3\text{ min}$, 100 mA 的电流通电约为 1 min 。如镀多根银丝时,阴极的位置应与各电极的距离差不多,否则将使各银丝的电流密度不均,电镀的时间快慢不一。

取出镀好的银丝电极,置于 9 g/L 的生理盐水中避光保存,以免阳光促使氯化银分解。

(五) 微电极

在进行细胞水平电活动的实验时,必须使用微电极。微电极可分为金属微电极和玻璃微电极两大类。

1. 金属微电极

金属微电极多用硬度较高直径约 $500\text{ }\mu\text{m}$ 的钨丝作原料,利用电蚀原理,通过一个转动装置,使钨丝尖部在亚硝酸钾溶液中,以一定频率反复插入-抽出循环。电蚀电流开始时较大,一般在 30 mA 以下,约经 10 min ,电极已初步形成。此时将电流减小到 10 mA ,经过 $1\sim 2\text{ min}$ 电极即形成。经显微镜检查,证明尖端达到 $1\sim 2\text{ }\mu\text{m}$,再经过洗涤,涂绝缘漆。每涂完一次漆,在 $120^\circ\text{C}\sim 130^\circ\text{C}$ 烤箱中烘烤 5 min ,反复进行 $7\sim 8$ 次。最后置于 150°C 中烘烤 30 min 。电极制成后必须经过绝缘性能检查,证明除尖端导电外,其他部位的绝缘性能都很好的电极方可使用。

2. 玻璃微电极

这里仅介绍学生实验中常用的单管玻璃微电极。

(1) 原理和材料:单管玻璃微电极实际上是一支尖端非常细(尖端直径仅 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右),内充电解质溶液的微吸管,如图 2-5 右。管内的电解质溶液作为电极的导体,玻管壁成为电极导体周围的绝缘层。为了使微电极尖端具有足以穿刺细胞膜的强度,微电极通常选用含硼的硬质玻璃(如国产的九五料、GG17 等)毛坯(直径 $1.5\sim 2.5\text{ mm}$)来拉制,毛坯的内壁上通常烧结有 $2\sim 3$ 根很细的毛细玻璃管,其断面如图 2-5 左。这些毛细玻璃管在拉制成微电极时,也按比例地变细,一直延伸到微电极的尖端。

(2) 拉制及充灌:拉制用的玻璃毛坯事前必须经过彻底的清洗。拉制的方法可用简单的重锤法,或使用专门的微电极拉制仪。由于微电极尖端管径非常细,为了减少电极尖端的电阻,微电极管内都充灌高浓度的电解质溶液。作细胞内记录时内充 3 mol/L KCl ;作细胞外记录用时内充 4 mol/L NaCl 。使用前一天将