

电生力学实验

电生力学实验

B338.9/27x

电生理学实验

周佳音 黄仲荪 编
胡三觉 张际国

人民卫生出版社

内 容 简 介

本书由两部分内容组成。第一部分编入48个电生理实验，其中主要是肌肉神经和中枢神经电生理中有代表性的实验，还有少数心血管等方面的实验；实验方法包括整体、器官系统和细胞水平的实验，急性和慢性动物的实验，粗电极和微电极的实验，以及与实验有关的照相、磁带收录和电子计算机处理的一些技术方法。第二部分扼要地介绍了20项与电生理实验有关的基本仪器设备的一般原理和使用方法。

本书可供大专院校为研究生和进修人员开设电生理学实验课使用；可供生理学、药理学、生物物理学等基础医学有关专业和综合性大学生物系的师生和研究人员参考。

2094/22

电生理学实验

周佳音 等编

人民卫生出版社出版
(北京市崇文区天坛西里10号)
北京顺义北方印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 15 $\frac{1}{2}$ 印张 356千字
1987年7月第1版 1987年7月第1版第1次印刷
印数：08,001—2,850
统一书号：14048·5363 定价：2.45元
〔科技新书目142—85〕

序

近二十多年来,国内在神经系统和肌肉电生理学的研究方面有了迅速发展。一些高等医学院校和科研单位相继为研究生和进修人员开设了电生理学专业课程和培训班,并且逐步建立了设备比较齐全的电生理实验室。但有关这方面的教材,特别是实验教材,却非常少。编者所在的几所院校曾先后为研究生、进修人员编印了一些简要的电生理学实验指导以应急需。大家深感有必要合作编写一本适合我国高等院校设备条件的电生理学实验指导。为此,我们参考了过去编写的一些资料,并充实了一些新的内容,写成这本书。

编写本书的目的是使学员通过实验初步掌握电生理学实验的基本操作方法,了解获得电生理学知识的科学实验手段,验证和加深理解电生理学中的某些基本理论,为今后的电生理学研究工作打下基础。

全书共分两部分。第一部分编入48个实验,包括整体的、器官系统的和细胞水平的电生理实验;急性和慢性的动物实验;粗电极的和微电极的实验;以及与实验有关的照相、磁带收录和电子计算机的记录、储存资料和分析方法等。其中绝大部分都是编者亲自参加做过的实验。实验标准曲线和记录也多是编者自己做出的。有少数实验的方法类似,学员可根据实验课时数和需要进行筛选。第二部分扼要介绍20项与第一部分实验中有关的仪器设备和一些技术方法。这些仪器设备都是国产的,国内可以买到;实验技术也比较容易掌握。鉴于国内已有一些电生理仪器设备的专门书籍,同时由于各家生产的仪器型号不同,本书不再占用篇幅来叙述仪器的使用方法及有关问题,读者可以参阅有关资料和仪器说明书。

电生理学实验技术和仪器设备近年有了很大的改进,但限于国产仪器设备有的尚属批量试生产,质量还不稳定,有的实验内容较复杂,故有些内容有待以后条件成熟时再行补充。例如微电泳技术、电压固定技术、动物慢性胃肠电活动和腺细胞电活动等。

本书系由北京医科大学周佳音、重庆医学院黄仲荪、天津医学院张际国和第四军医大学胡三觉等四位同志共同编写的,由周佳音同志负责修改整理成册。在编写过程中,第二军医大学陈宜张同志和浙江医科大学张荣宝同志对本书的编排和内容提出了许多宝贵意见,上海生理研究所荣辛未同志和山西医学院赵荣瑞、李亮同志还为本书编写了实验26和实验45。北京医科大学朱葆英同志为本书绘制了许多插图和负责抄写工作。他们为本书付出了许多劳动,给予了诚挚的帮助和热心的关怀,编者在此表示衷心的感谢。

要想编写一本完美无缺的书是不可能的。何况编者的经验不足、学识肤浅,而编写的时间又十分仓促,故此书在内容取舍和编排等方面一定有许多欠妥或错误之处,深望读者提出宝贵意见,以便为今后编写一本质量更高、更适合需要的电生理学实验创造条件。

周佳音

1983年11月1日

目 录

序

第一部分 电生理实验	1
实验 1. 电生理实验的基本仪器使用方法	1
实验 2. 极性刺激法则	8
实验 3. 由强度-时间曲线求膜的时间常数	9
实验 4. 神经干的动作电位	10
实验 5. 容积导体中的神经动作电位	11
实验 6. 神经干不应期的测定	12
实验 7. 影响神经兴奋性及传导性的一些因素	14
实验 8. 坐骨神经传导速度的测定及用动作电位鉴别几种神经纤维的方法	16
实验 9. 人运动神经传导速度测定	18
实验 10. 人隐神经复合动作电位	22
实验 11. 肌肉的动作电位和损伤电位	24
实验 12. 骨骼肌纤维的膜电位和细胞外液钾离子浓度变化的关系	27
实验 13. 骨骼肌纤维的动作电位	30
实验 14. 人肌电图的描记	32
实验 15. 终板电位	37
实验 16. 离体平滑肌的动作电位	38
实验 17. 输尿管电活动	40
实验 18. 蟾蜍交感神经的传出放电	42
实验 19. 兔迷走神经的传出放电	44
实验 20. 兔膈神经的传出放电	46
实验 21. 兔内脏神经的传出放电	48
实验 22. 减压神经的传入放电	50
实验 23. 兔内脏大神经的传入放电	52
实验 24. 脊髓电位和背根电位	53
实验 25. 脊髓单突触反射和多突触反射的电活动	55
实验 26. 脊髓运动神经元的兴奋性突触后电位和抑制性突触后电位	56
实验 27. 延髓诱发电位的观察	59
实验 28. 延髓呼吸神经元的单位放电	60
实验 29. 人(猫)皮肤电反射	63
实验 30. 刺激外周C类纤维在中脑腹侧被盖区的诱发放电	65
实验 31. 刺激下丘脑对兔摄食活动的影响	68
实验 32. 侧脑室微量灌注TRH等对下丘脑单位放电的影响	70
实验 33. 丘脑中央外侧核内痛敏细胞对于伤害性刺激的电反应	73
实验 34. 慢性微电极观察猫的丘脑单位放电	76
实验 35. 兔大脑皮层的诱发电位	78
实验 36. 人脑电图的描记	80

实验 37. 皮肤感受器的传入冲动	83
实验 38. 肌肉本体感受器的传入冲动	87
实验 39. 豚鼠耳蜗微音器电位与听神经总合电位	90
✓实验 40. <u>呼吸黑-白反射中膈神经放电的变化</u>	92
实验 41. 心肌细胞的动作电位	93
实验 42. 容积导体的导电规律与描记心电活动的原理	97
实验 43. 人体和哺乳动物心电图的描记	100
实验 44. 希氏束电图	109
实验 45. 无创性左心功能检查法	112
实验 46. 指血管容积描记	117
实验 47. 人体脑血流图(脑电阻图)的观察	119
实验 48. 兔耳血管运动光电记录法	123
第二部分 电生理学实验的主要仪器设备和一般技术	126
1. 屏蔽室	126
2. 阴极射线示波器	128
3. 电子刺激器	138
4. 生物电放大器	145
5. 示波器照相机	154
6. 阴极跟随器	158
7. 磁带录音机	161
8. 长图记录仪	165
9. 万用电表	168
10. 电生理实验中的干扰和常见故障的检查	171
11. 医用电子计算机	176
12. 专用电子计算机在神经生理学中的若干用途实例	180
13. 动物脑立体定向仪的装置及使用方法	183
14. 拉制和灌注单管玻璃微电极技术	187
15. 多管微电极拉制和充灌技术	189
16. 钨丝微电极的制备方法	191
17. 慢性动物埋藏微电极技术	194
18. 脑神经核团定位标记法	197
19. 脑神经核团损毁法	202
20. 神经组织切片染色的一般技术	205
附录	216
1. 常用生理盐溶液的成分与配制方法	216
2. 实验动物常用麻醉剂与肌肉松弛剂	217
3. 实验动物常用生理数据	219
4. 常用电学单位	219
5. 公英制线规对照表	220
6. 国际度量衡表	221
7. 常用英汉电学名词对照表	222
参考资料	227

第一部分 电生理实验

实验1 电生理实验的基本仪器使用方法

目的：了解电生理实验室的规章制度，学习电生理实验基本仪器的使用方法和注意事项。

实验要求：

1. 阅读电生理实验室中的：①电生理学实验课的目的和要求；②电生理实验室的规则。

2. 学习示波器、电子刺激器、生物电放大器、监听器和示波器照相机的使用方法。

实验操作：

一、示波器

准备好示波器一台、音频信号发生器一台，以及连接仪器用的各种导线、单芯屏蔽线（1~2m长）、香蕉插头、鳄鱼夹子、5号小电池等常用工具。然后按以下步骤进行操作。

1. 开启电源

(1) 在开启电源之前，应首先阅读仪器使用说明书。在未看懂说明书以前，不得毫无目的地旋转、拨弄、揸按仪器的各个旋钮、开关和按钮按键等部件。

(2) 将电源插头插入与本机规定使用的电压相符合的电源插座上。

(3) 将辉度调节钮旋到最大反时针位置。开启电源开关，此时指示灯或照明度盘应发亮或仪器的冷却排风扇旋转而发出轻微声响。由于辉度调整钮已经关掉，此时不会有扫描出现。

(4) 调出扫描：先从仪器面板上找到时基单元，将触发选择开关置于“自动”位置；将扫描速度调至1ms/cm。逐渐顺时针方向旋转辉度调整钮，直至有中等亮度的扫描出现。如果看不到扫描，可来回旋动垂直放大器的位移控制钮，即可调出扫描。若仍不见扫描，应再把辉度提高，重复调整位移钮，直至扫描出现。把扫描调整至屏幕中央。

注意：不要把辉度调得太亮，这样容易损坏荧光屏。若屏幕上的光点静止不动更易损坏。

一般示波器在接通电源后均能连续工作6~8小时，故在整个实验过程中，仪器可一直处于工作状态。不断地通断电源更易损坏仪器。

2. 聚焦

把扫描速度调至最慢（1~5s/cm），调整辉度，使光点较暗。注视屏幕上缓慢移动的光点，同时顺时针或反时针旋动聚焦控制钮，待得到最小的光点时，电子射束即已精确地聚焦于屏幕上。

上述调整完成后，将扫描速度重新置于1ms/cm位置上。并可根据需要适当增大辉度。

3. 示波器的工作单元

每台示波器都具有三个工作单元。

(1) 显示单元：包括阴极射线管的荧光屏及其控制钮。示波器的屏幕上刻有直角座标或方格，便于测量工作。

显示单元的控制钮包括辉度、聚焦和刻度照明等。

双线示波器则有两套同样的显示控制钮。但有的仪器其两条扫迹的辉度用一个控制钮来调整。

(2) 垂直放大器（或Y轴放大器）：

a. 输入端：接受需要放大的待测信号。输入端一般均标有“垂直输入”或“Y轴输入”等字样。有的仪器还在输入端标有放大器的等效输入阻抗和容抗（如“ $1M\Omega$ ， $47PF$ ”等字样）。

垂直放大器一般有单端和双端的两种类型。单端放大器只有一个输入端，其输入信号以地电位为参考电平。任何相对于地电位的电位差均可经输入端输入而被放大。

双端放大器往往是辨差放大器。它有两个输入端，分别标有“A”和“B”字样。同时输至两个输入端的信号互相作为参考电平。这类放大器只放大两个输入端信号的差值。

b. 输入选择开关：某些Y轴辨差放大器备有输入选择开关，可借以选择不同的输入方式。一般具有三个选择位置：“A”、“B”和“A-B”。

“A”位：输入选择开关置此位置时，放大器的B端接地，信号由“A”端输入。此时辨差放大器成为单端放大器。正信号输入“A”端时，光点向上偏转。反之，负信号由此输入时光点则向下偏转。

“B”位：信号由“B”端输入，此时“A”端则接地。有正信号输入时光点向下，负信号则向上。在电生理学工作中，有时由于视觉上的习惯，常常使负信号向上偏转。

“A-B”位：信号由“A”和“B”两端输入。为辨差输入方式。

以上三种输入方式又可分为隔直输入和直接输入两种偶联方式。在选择开关上标有“AC”和“DC”字样。

“AC”：放大器和输入端之间接入一只电容器。此时直流信号即不能进入放大器。当信号中的直流成分不需要时，可采用“AC”偶联。为了消除由于外来的直流电压所引起的基线飘移，也常采取“AC”输入。但应注意，由于输入电路中加入了电容器而使整个放大系数的频率响应特性发生变化。由于下限频率提高，可能使信号中的低频成分衰减或信号发生畸变，造成测量误差。

“DC”：放大器为直接输入。此时信号中的直流成分也被放大。

c. 增益控制钮（或衰减控制钮）：常常标有 V/cm 、 mV/cm 和 $\mu V/cm$ 字样。用它来改变垂直放大器的放大倍数。向顺时针方向旋转此钮，可使放大器的增益提高。

增益控制钮在有些仪器上分为粗调和细调两部分。或者将二者装在一个同轴旋钮上，中心的小旋钮为一电位器，具有滑动接点，可对放大倍数作连续的精细调整；外周的大旋钮为多档的粗调分级旋钮，对放大倍数作步进式控制。使用这种具有粗细调节的仪器时，应该注意当细调钮置于最大顺时针位置时，粗调钮所对应的数字才与放大器的实际放大能力相符合。

d. 垂直位移控制钮：调整光点的垂直位置，旋动此钮可见扫描上下移动。

e. 直流平衡控制钮：调节此钮可防止在改变垂直放大器的增益时，出现基线垂直位移。常需要配合垂直位移控制钮来调整直流平衡。具体方法可参照仪器使用说明书。

直流平衡调整应在开机至少 30 分钟后再进行。一旦直流平衡调定后，即不应再旋动此钮。扫描的垂直位移只能用“垂直位移”调节钮来控制。

f. 地线插孔：是放大器的接地端。此插孔往往通过电源线的三脚插头的接地脚经插座接地。地线插孔往往有“≡”标志。此外，仪器面板或机壳的所有金属端点均为接地点。

(3) 时间基线：时间基线单元（简称时基）的作用是使电子射束从左至右进行水平扫描。时基的工作方式分为往复扫描和触发扫描两种。时基工作在往复扫描状态时，光点以一定速度匀速地沿水平方向往复扫描；在触发扫描状态时，必须有一个触发脉冲输入时，光点才扫描一次。

时基单元包括以下各调节钮：

a. 扫描速度控制钮：用来调整光点的水平扫描速度。它是一个多档旋钮，在各档位置上标有表示扫描速度的数字，一般用 s/cm 、 ms/cm 和 $\mu s/cm$ 来表示。

b. 水平位置控制钮：用来调整光点在屏幕上的水平位置。调整此钮，使基线从屏幕左侧第一条纵线刻度处起始。

c. 时基工作方式选择开关：

连续扫描：旋钮置此位置时，光点按扫描速度控制钮所指示的速度往复扫描。

触发扫描：在没有触发信号输入时，光点停留在屏幕左侧的起点处。注意在没有触发信号输入时，不应把选择开关置此位置上，以免光点长久停留在一处而损坏荧光屏。有些仪器当光点停留在待触发位置时会自动熄灭，只当触发信号到来时光点才起辉。

自动：当无触发信号输入时，光点可自动扫描，当有信号输入时，光点能在很宽的频率范围内（例如 SBR-1 型示波器为 $50Hz \sim 1MHz$ ）与触发信号取得稳定的同步。

d. 触发电源选择开关：通过此钮可选择触发信号的来源。一般仪器均设有如下各档：

外触发：当有一定幅度的脉冲信号由触发信号输入端输入时，光点即被触发扫描。

内触发：触发信号由输入至垂直放大器的信号通过仪器内部的线路提供。

无论是内触发还是外触发，又各自分为“AC”和“DC”两档。分别表示触发信号以电容偶合或直接偶合方式输给触发线路。除非触发信号低于 $15Hz$ ，一般均选用电容偶合输入方式。

电源触发：触发信号来自 $50Hz$ 的交流电源，这种触发方式对从测量信号中分辨交流电源干扰非常方便。当选择电源触发时，输入信号中 50 周交流干扰的波形即能稳定地出现在屏幕上，便于判断信号中的交流干扰成分。

在电生理学工作中，经常选用外触发方式。触发信号来自刺激器输出的同步脉冲。

e. 触发电平控制钮：用来调节触发电位的幅度。一般将此钮调节到刚好能得到稳定的触发扫描的最低触发电平位置。

此控制钮在一些仪器上与时基工作方式选择开关合并在一起。旋钮处在最大反时针或最大顺时针位置时，光点呈自动扫描或连续扫描状态。旋钮置中间位置时则呈触发扫描状态。在中间位置两侧适当转动旋钮则可调整触发电平。

f. 触发电压极性选择开关：用来选择触发电压的极性。分为“+”和“-”两档，分别在有正相或负相触发信号输入时才能使基线触发。

g. 扫描扩展：调节此钮可将屏幕上的图象在水平方向展开。

除上述三个基本工作单元外，示波器还常常有校准电压发生器。可提供一定幅度的标准电压。用以标定仪器的放大能力。

4. 练习显示一个已知的输入信号

注意在显示一个未知信号时，首先要把示波器的灵敏度置于最低位置，未知信号的输出控制也要调到最低位置。然后再适当调整信号输出量及示波器的灵敏度控制钮。

用适当的导线将示波器的校准电压输至垂直放大器。若示波器能输出不同幅度的校准电压，应选用一较低的电压。例如 0.5V 左右。调节垂直放大器和时间基线，选用内触发方式，使在屏幕上出现幅度和宽度约 1cm 的方形校准电压波形。将垂直放大器的输入选择开关分别置于“A”、“B”、“A-B”和“AC”、“DC”位置上，观察波形的变化，并分析产生这些变化的原因。

测量所输入的校准电压的幅度和频率。比较实际测量数值与仪器所标明的数值是否相等，有无误差；是否符合仪器说明书中所规定的误差允许数值。

将时基改为外触发方式。注意应如何改动导线的连接方法。

5. 显示一个稳定的直流电压

将时基工作方式置“自动”位置。扫描速度调节至 1s/cm，垂直放大器增益调至 1V/cm。用两条导线接至垂直放大器输入端 A 和 B，两条导线的另端互相接触，同时将基线调至屏幕中央，并与某一条水平刻度线重合。这一条水平线的位置即代表 0 电位。

取 5 号电池一节，将电池两极与输入导线连接。注意基线的跳动方向和幅度。核对电池的极性和基线跳动方向。测量基线跳动的幅度是否恰好为 1.5V。把输入选择开关分别放在“A”、“B”和“A-B”以及“AC”和“DC”位置。注意基线跳动的方向和幅度有何变化。

6. 干扰信号的观察

电生理学工作中最常遇到的问题就是干扰信号进入仪器系统而妨碍对欲观察的生物信号的记录和测量。干扰信号最常见的来源就是 50Hz 的交流电，它通过电源线、电动机、变压器以及一切由交流供电的器件借不同的偶联方式进入实验系统，被放大器放大。这种外来干扰常完全遮盖了生物电信号，使实验无法进行。特别是使用阻抗很高的微电极和高输入阻抗放大器时，干扰问题就更加严重。

将示波器面板上的全部接线去掉。时基采用自动触发方式，扫描速度置于 5ms/cm。将垂直放大器的增益调整至 20mV/cm。输入选择开关置于“A”或“B”（即将差分放大器改成单端放大器）。

取 1~2m 长的普通导线一条，一端接垂直放大器的相应输入端，另一端悬空挂起或置于实验台上。这条导线实际上成为一条拾取周围电磁干扰的天线。观察示波器屏幕，可见到 50 周交流干扰信号。将导线移到不同位置，同时观察屏幕上干扰幅度是否变化。

为确定干扰信号确实来自 50Hz 交流电，可把时基置于电源触发扫描状态。此时屏幕上会出现一串稳定的正弦波形。调整增益和扫描速度，以得到易于测量的图象。从旋钮度盘上读出两个波峰之间的时间间隔。

试采用如下办法，观察是否能使干扰减小：

(1) 改变附近电源线的走向或将其从实验环境移开；

(2) 将实验台周围交流电供电而又有干扰源嫌疑的仪器搬开。或将其电源插头拔下；

(3) 将实验台上及附近的一切金属物品接地；

(4) 将这条接到垂直放大器输入端的导线换成同样长的一条隔离线，其金属编织外皮接至示波器的地线端。

7. 触发电平、触发信号极性和放大器共模抑制作用

取音频信号发生器一台，它可产生振幅和频率不同的正弦波形信号。用适当导线把音频信号发生器的输出端与垂直放大器的输入端连接起来。把信号发生器的输出幅度先调到最低程度，将时基调到自动触发状态，扫描速度调至 0.1ms/cm ，垂直放大器的增益调至 0.1V/cm 。接通信号发生器的电源，调整其输出信号的幅度，直到其信号波形几乎占据整个屏幕。将信号发生器的频率调至 1000Hz 左右。此时把时基改为内触发扫描，“AC”偶联方式。当慢慢旋动触发电平控制钮时，注意观察正弦波上触发起始点的变化。这个现象能帮助你理解什么是触发电平。

改变触发电平的极性拨动开关，观察波形有什么变化。

把信号发生器的输出端再加接一条导线，把来自这同一输出端的两条导线分别接到同一垂直放大器的“A”、“B”两端，信号发生器的地线端与示波器的地线端用导线连接。转动示波器的输入选择开关，分别置于“A”和“B”位置，观察其波形；最后置于“A-B”位置，则正弦波形消失或幅度大大降低。这就是辨差放大器对同相信号（共模信号）抑制作用，称为共模抑制特性。

二、电子刺激器

准备好电子刺激器和隔离器、示波器及导线，按以下步骤进行操作。

1. 用刺激器触发示波器扫描并显示刺激波形将刺激器输出电压调至最小。接通刺激器电源。把刺激器和示波器的地线端接地，将刺激器的同步输出与示波器时基的触发输入端相连，将刺激器的输出端与示波器的垂直放大器输入端连接。

示波器调至外触发扫描，扫描速度调至 5ms/cm ，垂直放大器增益调至 0.5V/cm 。调节刺激器：频率 5c/s ，时迟 10ms ，波宽 10ms ，电压 1.5V 。

调节刺激器使输出连续单相脉冲。调节示波器触发电平，直至屏幕出现稳定的波形，把刺激的频率逐渐增加，并改变其它参数，借以了解并熟悉各调节钮的作用。

2. 参阅刺激器使用说明书 在示波器上显示单个脉冲、双脉冲、序列脉冲和连续脉冲，并改变各种脉冲组合型式的各种参数。反复练习达到能熟练显示单个脉冲、双脉冲和连续脉冲。并能随意改变它们的参数。

3. 标定刺激器 刺激器各参数调节钮所指示的数字可能与它实际给出的脉冲有差别，这就需要在用刺激器之前进行标定。这项工作可以使用示波器进行标定。

首先要对示波器进行校准。校准示波器垂直放大器的增益，可利用示波器的校准电压，例如将 1V 的标准电压输至垂直放大器，其增益调节钮置于 0.2V/cm 时，基线应偏转 5cm ，若有误差可用螺丝刀调整其“增益控制”电位器。

用示波器的垂直放大器标定刺激器各档的实际输出电压，用时基标定刺激器各档的实际脉冲宽度，把标定数字列表记录，以备随时参考。

4. 刺激隔离器

将刺激器的输出端专用导线与刺激隔离器相连。隔离器的输出端接至示波器输入端，这样刺激脉冲由隔离器输出。重复“操作练习”中的 1、2、3、各项。注意由隔离

器输出的脉冲可能有一些畸变。隔离器一般都具有一个换相开关，可以改变输出脉冲的极性。

注意：隔离器任何一个输出端都不能接地，否则就失去了使用隔离器的意义。

三、生物电放大器（前置放大器）

在大多数情况下，生物电信号在输入示波器之前需要经前置放大器作初步放大，以得到足够的电压去推动示波器或其它记录装置。

一般都把前置放大器紧靠生物制备，以尽量缩短输入导线。过长的输入导线一方面增加 50 周交流干扰的拾取机会，还会增加输入电容而使生物信号中的高频成分受到损失。前置放大器一般均有很高的输入阻抗。保证了从输出阻抗很高的生物组织经阻抗很高的记录电极有效地拾取生物信号。

准备好前置放大器、示波器、音频信号发生器、隔离线、普通导线、插头、鳄鱼夹，然后按以下步骤操作：

1. 放大并显示一个未知信号：做此练习时注意应首先了解本放大器最高输入电压是多少，绝对不可输入超过限度的电压，否则将损坏放大器。

将示波器和放大器接通电源，放大器输出端与示波器输入端用隔离线连接，接好各仪器的地线。示波器置于自动触发扫描位置，扫描速度 5ms/cm，垂直放大器增益 1V/cm，输入开关用 DC 耦合。前置放大器增益置于 $\times 10$ ，频带宽度置于最宽位置。将示波器的校准电压输出调至 0.1V 并将校准电压输出端与放大器输入端连接，使输出 1000Hz 的连续脉冲。调出稳定的方波图象，检查屏幕上方波的幅度是否正好为 1cm。

2. 校准前置放大器的增益 将放大器置于校正位置，选择适当的校准电压，按下校准电压按钮，示波器基线即偏离原来的零电位位置，放开按钮，基线返回原位，检查基线偏转幅度，核对放大器的增益是否准确。如此逐一检查放大器各个增益档。一般放大器的校准电压为直流，故只有在使用直流放大器时，按下校准电压按钮，示波器基线才能稳定在一定的偏离位置，直至放开按钮时基线才返回原位。而一个交流放大器只当按下或放开按钮时，基线才偏离至某一最大位置，随后，即使不放开按钮，基线也将按指数曲线返回原位如图 1-1。

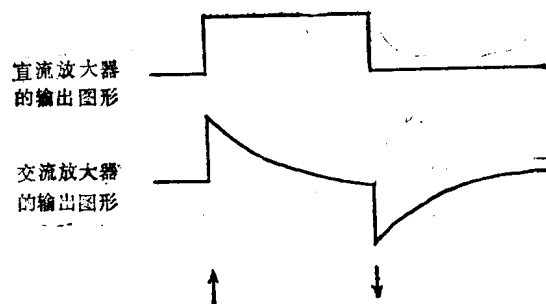


图 1-1 直流信号加在直流和交流放大器输入端时的输出信号图形

箭头表示直流信号接通和断开的时刻

3. 校准仪器系统的总增益

将前置放大器增益置于 $\times 10$ ，示波器垂直放大器增益置于 10mV/cm ，则此仪器系统的总增益为 1mV/cm ，即前置放大器输入端加一个 1mV 的信号时，示波器基线将偏转 1cm 。在前置放大器给出 1mV 的标准电压，检查基线实际偏转幅度是否准确。若有误差，计算实际的系统增益是多少。

改变前置放大器和示波器的增益，练习标定系统总增益的方法。这种标定工作在以后要经常用到，应熟练掌握。

4. 高低频滤波器对放大器频率响应的影响

将示波器的校准电压输出端与前置放大器的输入端连接，调节增益和扫描速度，在屏幕上显示 $1\sim 2$ 个 2cm 高的方波。先逐档减小放大器的时间常数，此时放大器对低频信号的响应性愈来愈差，观察图象有何变化。

将时间常数调回至 1s 。逐档降低高频滤波数值，此时旁路电容器的电容逐渐增大。注意图象有何改变。试考虑当降低放大器的高频响应范围时，对高频的正弦信号会有何影响。

四、监听器

电生理实验室经常在记录装置上附加一个扩音器，这样在记录到神经动作电位时，还可以听到从扩音器发出的声音。有了这种监听器，实验人员就可以凭监听器的声响了解生物制备的活动情况。用听觉要比视觉在分辨神经活动的性质和放电频率的变化方面显得更为灵敏。

准备好示波器、前置放大器、电子刺激器、监听器、隔离线和普通导线，进行以下操作练习：

监听器可以和示波器的输入端并连。接在前置放大器的输出端。或者接在示波器垂直放大器的输出端。接在示波器上更为合理。因为这时监听器的音量可以随着前置放大器或示波器增益的改变而相应变化。

将监听器与示波器或前置放大器连接。将一台刺激器的输出接至前置放大器，刺激器的输出调至 0.1V ，波宽 1ms ，频率 100Hz 。前置放大器增益调至 $\times 10$ ，开启刺激器，在示波器上显示稳定的方波脉冲。开启监听器，调节其音量控制使发出适度的声响。这种声音类似于神经动作电位。改变刺激频率，监听音响的变化。

五、示波器照相机

示波器屏幕上的图象需要用示波器照相机拍摄下来，以作为永久的记录。示波器照相机可拍单片或进行连续照相。

一般拍摄示波器图象的方法是先打开快门，再触发光点，使进行一次或多次扫描。为了节省底片，可移动基线位置，在一张底片上进行多次曝光。

准备好示波器、示波器照相机、底片、显影、定影液及其它暗室设备。然后进行示波器图象拍摄练习。

1. 参照说明书，熟悉照相机的性能和各部件的使用方法。

2. 按照以下步骤练习拍片：

(1) 把照相机牢固地安装在示波器上。

(2) 装好底片。

(3) 将示波器置于触发扫描状态。使用外触发（一般是用刺激器的同步输出作为外

触发电源)。当时基被触发时,要拍摄的信号应显示在屏幕中央。在本实验中可用示波器的校准电压作为外触发电源,同时把校准电压输入到垂直放大器,使校准电压显示在屏幕上。

(4) 调节示波器的辉度,使扫描亮度适中而无光晕。

(5) 将示波器的刻度照明熄灭。

(6) 相机光圈调至 $f/5.6$, 快门置于B。

(7) 通过观察窗观看一次触发扫描情况,估计扫描一次所需时间。

(8) 关闭观察窗。

(9) 按下快门,使快门保持开启状态。

(10) 触发扫描,待扫描结束后关闭快门。

(11) 如果希望在照片上拍上刻度,可通过观察窗观看。旋转刻度照明钮,使刻度照明的亮度适中。然后关闭观察窗,开启快门,使底片曝光约1秒钟即可。

(12) 如拟在同一张底片上再拍摄一个不重叠的图象,可调整基线位置,再重复步骤(9)和(10)。

(13) 取出底片,显影后检查拍摄效果。如图象暗淡或过亮,可适当调整光圈和辉度。注意扫描速度愈慢,光圈愈应缩小或把辉度调暗。

周佳音

实验2 极性刺激法则

目的:验证直流电刺激神经时,由于刺激的极性不同而产生不同的效果,了解引起组织发生兴奋的原理。

实验对象:蟾蜍坐骨神经标本。

实验主要器材:示波器、示波器照相机、电子刺激器、电极箱、刺激隔离器、蛙类手术器械。

实验过程:

1. 将坐骨神经标本按图2-1装入电极箱。将电极2和4与电子刺激器的输出端相

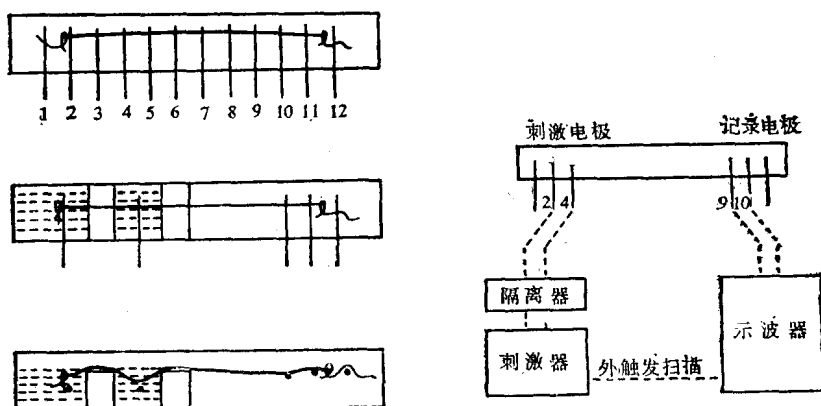


图2-1 实验仪器装置示意图

连,电极 9 和 10 作为记录电极,并与示波器 Y 轴输入相接,把刺激波宽调到 10ms 以上。

观察并记录电极 4 为负 \ominus 时,刺激强度和神经动作电位的关系。由于刺激的持续时间较长,应能辨别出刺激开始、刺激持续时间以及撤掉刺激这三种情况下,那一种刺激与兴奋的产生有关。

2. 将电极 4 接为正 \oplus ,做与上项相同的观察和记录。

3. 在电极 3 和 4 之间,用镊子夹提神经或用乙醚棉球放在该处,以阻断神经冲动的传导。在电极 2 和 3 之间给予电刺激,同样做与第 1 项相同的观察与记录。

4. 使电极 4 为正 \oplus ,做与第一项相同的观察与记录。

实验要求:

1. 练习仪器使用方法,示波器照相及冲印技术。

2. 分析实验结果,明确极性刺激法则和电紧张的概念。

周佳音

实验 3 由强度-时间曲线求膜的时间常数

目的:各种生物电现象都可以用电学上的电压、电阻、电容等电常数间的关系式准确地进行描述。神经膜可以用膜电阻 (R_m) 和膜电容 (C_m) 并联的等效电路来表示。膜电阻和膜电容的乘积 $R_m \cdot C_m$ 称为时间常数,它表示当给膜一个方波电流时,膜电位达到恒定值时的时间所经过的量。例如:时间常数大,则膜由于刺激电流而达到去极化阈值的时间就长;如果刺激电流时间短,在刺激过程中,膜就不能达到阈值去极化,即仍处于阈下水平。时间常数是和神经兴奋性或动作电位波形等有关的重要电学量。本实验主要测定有髓神经纤维的时间常数,并了解其意义。

实验对象和器材:同实验 2。

实验过程:

用实验 2 的电极箱,从电子刺激器给予单个方波电刺激坐骨神经,找出基强度 (i) 与利用时 (t) 的关系。绘制 $A\alpha$ 纤维的 $i-t$ 曲线。应使刺激持续时间 (T) 的变化 (ΔT) 在 0.1~0.2ms 的范围内。在理论上必须求得刺激电流 (I),但是如果神经的电阻几乎不变时,则可利用刺激输出 (V) 来代替 I 。用实验所获得的值绘制座标图, $1/I(T + \Delta T)$ 做纵座标, $1/I(T)$ 做横座标,并测定座标图直线部分的坡度。因为所得到的坡度为 $e^{-\Delta T/R_m \cdot C_m}$,故可由此计算时间常数 $R_m \cdot C_m$ 。

实验要求:

1. 设计表格,记录实验结果,并绘制座标图。

2. 查阅参考书上有关无髓神经、骨骼肌等各种可兴奋膜的时间常数、传导速度、动作电位的波形等资料,并进行比较,从而理解时间常数的意义。

3. 分析膜电阻 (R_m) 和膜电容 (C_m) 同膜的何种性质与结构有关。

周佳音

实验4 神经干的动作电位

目的：神经兴奋时所发生的电活动称为动作电位，即兴奋部位与未兴奋部位之间发生的电位差，它是神经兴奋的客观指标。本实验的目的在于观察蟾蜍坐骨神经动作电位的基本波形（包括双相或单相动作电位），以及改变实验条件对神经动作电位的影响。

实验对象：蟾蜍坐骨神经标本。

实验主要器材：示波器、示波器照相机、电子刺激器、刺激隔离器、神经屏蔽盒（电极箱）、蛙手术器械、滤纸片、棉球、任氏液。

实验过程和观察项目：

（一）制备蟾蜍坐骨神经标本

制作标本时须注意，在分离皮肤时要用剪刀剪断皮下结缔组织、不要撕皮；分离神经时，要用剪刀剪断神经周围的结缔组织膜和神经分支，防止伤及神经主干。

（二）实验步骤

1. 将示波器、电子刺激器、刺激隔离器、神经屏蔽盒等连接好。用刺激器触发示波器使扫描同步（参阅图 2-1）。

2. 用镊子夹住已制备好的神经标本两端的结扎线，将神经标本放置于电极上。方向是标本的中枢端接触刺激电极，外周端作电位引导。用滤纸片吸去标本上过量的任氏液。

3. 调节刺激器的第一时迟旋钮，使动作电位波形正好出现在荧光屏的适中位置。调节刺激器的波宽（0.1~0.5ms）和波幅，按动单个刺激，观察动作电位的大小。如波幅太小，可适当调节刺激器的波幅旋钮，使出现一适当的双相动作电位。拍照双相动作电位。

4. 用镊子将两个记录电极之间的神经夹伤，动作电位的第二相便消失，此时荧光屏上即呈现单相动作电位，拍照单相动作电位（图 4-1）。

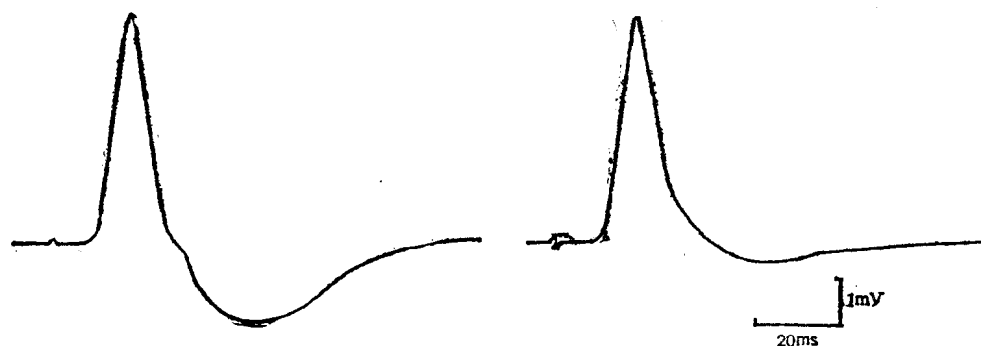


图 4-1 神经的双相动作电位和单相动作电位

5. 刺激强度的影响 用频率为 1~10Hz，波宽为 0.5ms 的刺激，并将刺激强度由 0 逐次增加，观察荧光屏上的波形。刺激一旦达到阈值，便在刺激后一定时间，开始见到动作电位。其后随着刺激的增强，动作电位也增大，待达某种刺激强度时，动作电位

达到最大（最大刺激）。把示波器Y轴放大和扫描速度等调至最易于观察的状态，将阈值、最大刺激、最大刺激所引起的动作电位的振幅记录下来。

6. 将记录电极间的神经用一段经任氏液浸润过的棉线短路，重复第5项实验观察。

7. 将刺激电极间的神经用一段经任氏液浸湿的棉线短路，再重复第5项实验观察，比较阈值、最大刺激等是否有所变化。

8. 将电极5和10选做记录电极，观察从阈值到最大刺激的一系列刺激时，动作电位有何变化，特别注意波形和振幅的变化。

9. 将电极11和12作为记录电极，其它条件不变，观察这时动作电位有何变化。

10. 将刺激电极和记录电极互调位置，观察神经兴奋的双向性传导。

实验要求：根据实验结果，分析以下几个问题。

1. 拍照和冲印双相和单相动作电位，分析产生双相动作电位及其差异的原因。

2. 动作电位的大小为何可随刺激的强度而改变？它和全或无定律有无矛盾？

3. 刺激电极间或记录电极间用湿线短路和不加短路时，刺激的强度和动作电位大小为什么不同？怎样才能记录出较大的动作电位？

周佳音

实验5 容积导体中的神经动作电位

目的：观察容积导体中不同部位神经动作电位的波形改变，并了解其原理。

实验对象：蟾蜍坐骨神经标本。

实验主要器材：示波器、示波器照相机、电子刺激器、附有电极小槽的有机玻璃板、电极支架、滤纸。

实验过程：

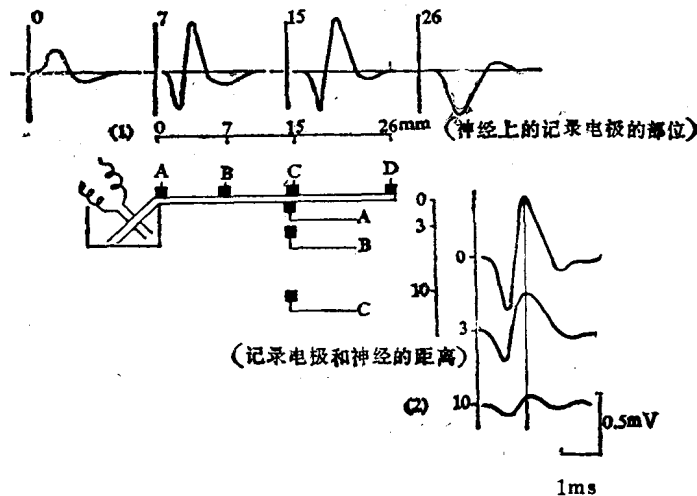


图 5-1 容积导体中的神经动作电位曲线

- (1) 增加记录电极和刺激电极的距离，观察动作电位波形的变化
- (2) 增加神经与记录电极间的距离，观察动作电位波形的变化