

# 生理学基础实验

[美] J. G. 毕晓普 H. L. 多尔曼 合编

科学出版社

# 生理学基础实验

〔美〕 J. G. 毕晓普 H. L. 多尔曼 合编

陈式穆 董琍雯 刘克球 译  
周曾铨 方崇仪  
刘次元 等校

科学出版社

1985

## 内 容 简 介

本书是 J. G. 毕晓普和 H. L. 多尔曼合编的生理学基础实验指导。内容丰富,方法先进。全书共有 63 个实验,广泛采用电子仪器和多种换能装置,这对革新实验室设备有重要参考价值。本书共分八章:第一章基本仪器的结构原理和用法;第二章神经肌肉实验;第三章循环生理学实验;第四、五章血液学实验;第六章消化和代谢实验;第七章主要是感官生理实验;第八章为附录,内有多种正常生理数据和各种生理溶液配方等,便于查阅参考。

本书可供医药院校、综合大学、师范院校生物系以及农学院校生理学有关实验室师生参考。

Jack G. Bishop and Homer L. Dorman

BASIC LABORATORY EXERCISES IN PHYSIOLOGY

Kendall/Hunt Publishing Company, 1974, Third Edition

## 生 理 学 基 础 实 验

[美] J. G. 毕晓普 H. L. 多尔曼 合编

陈式穆 董琍雯 刘克球 译  
周曾铨 方崇仪

刘次元 等 校

责任编辑 吴爱珍

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1985 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1985 年 2 月第一次印刷 印张: 8 1/4

印数: 0001—6,400 字数: 182,000

统一书号: 14031·73

本社书号: 3970·14

定价: 2.00 元

## 译 者 的 话

《生理学基础实验》一书是美国医学院校使用的生理学实习指导教材之一。

在基础生理实验教学中普遍采用较为先进、精密仪器的教材并不多见,这是本书突出的特点。

我国目前尚未在学生实验中采用如多道描记器这类比较昂贵精密的仪器。随着科学技术的发展,实验仪器必然会逐步更新。本书中有许多用这些仪器获得的标准曲线与结果,不论对教学或科研均有一定参考价值。

书中一些实验的构思和设计较为新颖。此外,还介绍了一种我国很少使用的实验动物——龟。我国有些地区这类动物资源很丰富,也可考虑试用。

本书在实验内容和教学法上都有不少长处和特点,可资借鉴。因此译出供有关实验室参考。

本书根据原著第三版译出,由于译者们水平的限制,译文可能有错误和不当之处,希望读者不吝指正为感。

1981年6月

## 前 言

科学中大部分进展来自客观真理的探索和理解它的努力，而非来自试图取得完全实用的目的。然而，对基础科学较完整的理解为实用的成就提供了可能，这些成就常常用作提高临床技能的手段。这样，基础科学即理论课题和技术即实践活动彼此是必不可少的；基础科学随改进的技术而前进，而且没有基础科学的进步，技术本身也不能取得最好的成就。

虽然在过去简单的仪器满足了生理学研究与教学的需要，但是许多新近发展的实验步骤却需要高度精密的设备。有人会问，这种复杂而昂贵的设备用于学生实验室是否正当？身体的机能是复杂的，生理学研究中需要灵敏的方法来揭示常见的细微活动。基础科学设备的新威力既能被用来或者提高、或者妨碍生理学教学。不正确的使用科学工具的危险，或由初次上生理课的学生以漫不经心态度使用它们，的确使我们严重地担心。可是，自从你们大多数有了立体声收录机、电视机和其他各种电子仪器，你们已经有了重视、正确使用和爱护设备的机会，并且能够学会有效地使用科学工具。

记纹器用于记录某些生理变化已经 150 多年了。用这仪器画线，“忙碌的作业”耗费大量的时间，但是曲线振幅还要受压力和摩擦阻力的影响。电子记录仪器已经去掉了这些困难的大部分，并且同时可以记录几种同时性变化。在发明记纹器前不久，为了刺激组织而产生了一种感应圈，这种仪器充其量只能是近似的，已经几乎普遍地由精密的电子刺激器所取代。这些系统可以进行许多生理学研究；但是练习的性质常常要求把实验动物制备用于特殊的研究。毛细血管循环可以广泛地观察蛙舌或狗的牙髓。蛙用于许多神经-肌肉实验，而且从这些资料能够获得许多实际的基本概念。常识告诉我们，如果从较低等动物获得可资比较的知识，电极就不必插进人的肌肉或血管中。

没有什么实验室经验是值得努力的，除非你们保留有意义的记录，否则就是浪费时间。记录应该十分完整，在实验后许多周还能看懂。我们不要求冗长繁琐的实验报告，但是潦草地记在毛巾纸上的数据是不适当的。你们有责任保存一本良好的实验记录本。我们可以在学期中或学期末任何时间检查你们的记录。

(方崇仪 译 沈同、刘次元 校)

# 目 录

译者的话	( i )
前言	( iii )
<b>第一章 绪论</b>	<b>( 1 )</b>
实验室工作的一般指导	( 1 )
多种波描记器 (多波描记器、Polygraph, 多道记录仪 Multichannel recorder)	
操作说明	( 2 )
ICM-5 型多波描记器各部件操作说明	( 4 )
检测和敏感元件	( 5 )
换能器	( 5 )
示波器 (Tektronix 502) 操作说明	( 6 )
组织的兴奋	( 9 )
Grass 氏 SD 5 和 SD 9 刺激器操作说明	( 11 )
<b>第二章 神经-肌肉标本制备</b>	<b>( 13 )</b>
动物制备	( 13 )
神经-肌肉标本制备	( 13 )
练习一 单肌颤搐(单收缩)	( 15 )
练习二 刺激强度对收缩高度的影响	( 16 )
练习三 肌肉兴奋性的时间因素	( 17 )
练习四 温度对肌肉收缩的影响	( 19 )
练习五 颤搐的融合和总和	( 20 )
练习六 强直的发生	( 21 )
练习七 牵拉对肌肉作功能力的影响	( 22 )
练习八 疲劳	( 23 )
练习九 肌肉和神经的电现象	( 24 )
练习十 刺激与神经冲动产生的关系	( 25 )
练习十一 神经的传导阻滞	( 26 )
练习十二 神经肌肉接点阻断剂	( 27 )
练习十三 土的宁对突触传递的影响	( 28 )
练习十四 脊髓反射的性质	( 29 )
练习十五 人的反射	( 30 )
练习十六 颞肌的肌电图	( 32 )
练习十七 自主性神经体液物质	( 33 )

<b>第三章</b> .....	( 35 )
练习十八 心脏的自动性.....	( 35 )
练习十九 心肌的一些特性(全或无、节律和阶梯现象) .....	( 35 )
练习二十 龟心搏动的记录,温度和扩张变化对收缩的影响 .....	( 36 )
练习二十一 龟心的不应期、期外收缩和代偿间歇 .....	( 37 )
练习二十二 房-室搏动顺序和心传导阻滞 .....	( 38 )
练习二十三 迷走神经刺激和其他副交感影响对龟心搏动的作用.....	( 39 )
练习二十四 正常的心电图.....	( 41 )
练习二十五 心脏力学与心电图的关系.....	( 43 )
练习二十六 心音.....	( 45 )
练习二十七 人的生理变量的多道记录.....	( 45 )
练习二十八 监测动脉脉搏.....	( 47 )
练习二十九 人血压的间接测量.....	( 48 )
练习三十 蛙舌的毛细血管循环.....	( 50 )
练习三十一 人皮肤微小血管的反应.....	( 52 )
练习三十二 狗中动脉血压的反应.....	( 55 )
练习三十三 哺乳动物心脏的作用.....	( 60 )
练习三十四 用染料稀释法测心输出量.....	( 63 )
练习三十五 骨骼肌血流的调节.....	( 66 )
<b>第四章</b> .....	( 69 )
练习三十六 出血和输血对呼吸与动脉血压的影响.....	( 69 )
练习三十七 正常呼吸的压力,气胸的影响和各种神经对呼吸的影响 .....	( 71 )
练习三十八 肺容量与肺活量.....	( 74 )
练习三十九 人的人工呼吸法.....	( 76 )
练习四十 光在氧合血与非氧合血中的透射;血氧计的原理(示范) .....	( 77 )
<b>第五章</b> .....	( 79 )
练习四十一 止血的因素:出血时间,血液凝固时间,凝血酶原(前凝血酶)时间 .....	( 79 )
练习四十二 红细胞的渗透脆性.....	( 80 )
练习四十三 血液和血浆容量的计算.....	( 81 )
练习四十四 血浆铁周转的实验练习.....	( 82 )
练习四十五 红细胞计数.....	( 83 )
练习四十六 血细胞比容的测定.....	( 85 )
练习四十七 血红蛋白的测定.....	( 86 )
练习四十八 白细胞计数.....	( 87 )
<b>第六章</b> .....	( 88 )
练习四十九 影响唾液腺分泌的因素.....	( 88 )

练习五十 肠的运动·····	( 90 )
练习五十一 人间接测热法的基础代谢率·····	( 91 )
练习五十二 小哺乳动物的整体代谢·····	( 93 )
练习五十三 狗的尿生成·····	( 94 )
练习五十四 血浆肌酸酐清除率·····	( 96 )
练习五十五 血管加压素(抗利尿激素 ADH)对蟾蜍膀胱中水运动的影响··	( 98 )
<b>第七章</b> ·····	(100)
练习五十六 触觉·····	(100)
练习五十七 视敏度的测定·····	(100)
练习五十八 浦肯野氏像的调节效应·····	(101)
练习五十九 近点的调节·····	(102)
练习六十 耳的听觉·····	(102)
练习六十一 神经的复合动作电位·····	(103)
练习六十二 去大脑强直·····	(106)
练习六十三 猫运动区皮层的刺激·····	(107)
<b>第八章 附录</b> ·····	(109)
换能器的标准化·····	(109)
麻醉·····	(109)
气管插管插入术及去发音法·····	(110)
灌流溶液(人工血浆)·····	(111)
生理学与电学·····	(112)
放射基础知识的复习·····	(113)
电离放射(电离辐射)的吸收·····	(113)
电离放射的测定单位·····	(114)
数据资料的简易统计学·····	(115)
标准值·····	(116)
神经·····	(116)
血液·····	(117)
心脏·····	(118)
循环·····	(120)
呼吸·····	(121)
肌肉·····	(122)
唾液分泌·····	(123)



# 第一章 绪 论

人们把科学定义为精确的和分类的知识,但科学的本质在于它的方法,一种以观察自然发生的现象或观察实验室里由实验程序所引起的现象为根据的方法。科学方法一般由以下几个步骤构成:

1. 通过感官的观察收集数据,常常利用仪器来扩大感觉的范围并使其测定更为精确。
2. 将观察到的事实分类并把有关的现象组织起来。
3. 自证据得出的结论和概括能够预测事件。
4. 通过重复实验来验证结论。

5. 别人可以对这些数据的记录进行批评、增添、证实或与其他记录的数据一起构成合适的看法,这样就通过合作建立起科学知识的主体。

科学的有效性依赖于它的严格坚持自然界的事实,而不是根据对任何权威人士的信仰和教条。除事实外别无权威。理论是用以解释这些事实的非常有用的工具,但是依据可能记录到的任何更进一步的事实,理论总是要受到修正。学生必须始终警惕把理论当作事实的倾向。

这本实验室教程的目的在于通过实验室中研究生物的各种活动,给学生以一些生命现象的第一手知识。还要通过阅读、示教和讨论来进行补充。

## 实验室工作的一般指导

经验表明,严守以下的指导将会给出最好的结果:

1. 在未仔细阅读并确实读懂实验指导之前决不动手做实验。最好在进实验室以前阅读以节省时间。实验室工作一览表(表中以数字表示实验和观察研究项目)贴在实验室的告示板上。经常查看告示板,注意原来的一览表有可能改变。不要怕提问题。

2. 等到物理仪器调好并能正常运行后再准备活的动物、器官或组织。涉及疼痛的任何处置必须用“穿刺”破坏神经系统或用麻醉剂抑制神经系统的活动。这条规则一定不能违反。

3. 在暴露或分离组织或器官时应少用解剖刀而用剪子。用钝解剖器会获得最好的结果,即用撑开止血钳来分离组织。所有切开的血管应该结扎或用止血钳夹住以减少出血。不要用手指触摸切除的或暴露的组织,而要用玻璃棒、探针或小心地使用镊子。对活组织的物理的或化学的损伤可能导致实验失败。当需要放置已切除的组织时,可将它们放在表玻璃皿中用任格氏溶液加以湿润。否则干的组织很快就会死亡。

4. 不要滥用发给你的仪器。其中多数是复杂的和精密的。因为是精密仪器应该认真对待。如果机械装置发生故障,在你企图自己修理以前,先请助教检查并确定故障发生的原因。所有的仪器都是昂贵的,如果修理或更换价钱很高,这将会影响新设备的购置,因而对大家都不利。因此我们要求你们的合作。

5. 要独立。结果的讨论总是有益的,是值得鼓励的。如果每个成员都出力,小组商讨是有启发性的。但是不做独立观察或抄袭同学的结果则是不道德和不诚实的,也是不能容忍的。

## 多种波描记器 (多波描记器, Polygraph, 多道记录仪 Multichannel recorder) 操作说明

### 1. 概 述

本实验室所使用的墨水描记直写式多波描记器是 Gilson 氏 ICM-5 或 M5P 型多波描记器。该仪器由四个放大通道和一个附加(伺服)通道组成。多波描记器是用电子稳压电源交流供电的完整单元。换能器直接插入每一部件的背后。标记输出插头与电源部分相接。

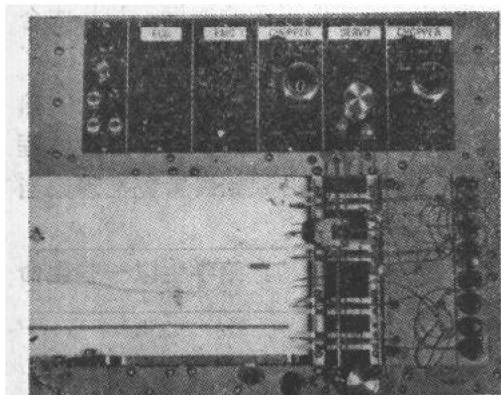


图1 具有常规部件装置及相应记录系统的 Gilson M5P 型多波描记器顶视图。自左至右各部件分别为电源控制、心电、肌电、斩波放大器、伺服放大器和斩波放大器。

M5P 多波描记器型有五个组件:

- a. 第一通道——心电图
- b. 第二通道——肌电图
- c. 第三通道——斩波放大器
- d. 第四通道——斩波放大器
- e. 第五通道——伺服放大器

### 2. 打 开 仪 器

中央控制器位于控制面板的左上方。把上面的“描记笔”开关拨到“准备”位置。接通“电源”开关,使仪器预热几分钟。

常规操作时,即可开始走纸,并将“描记笔”

开关顺时针拨到“操作”或“描记”位置。于是纸开始移动,同时描记笔对适宜的输入信号发生反应。

Gilson 氏多波描记器有六挡标准纸速,即每秒 25, 10, 5, 2.5, 1 和 0.5 毫米或每秒 50, 20, 10, 5, 2 和 1 毫米,可以旋转位于仪器左前方的“速度选择”钮来进行选择。纸速标明在旋钮上。如果没有另外的说明,开始先调到每秒 1 毫米,使用这样的速度一直到企图以较好的时间清晰度来显示所记录的资料为止。

每台多波描记器有一个 2 秒的时间标记,它由位于电源控制部件后面的肘节开关控制。除非你有时间标记来表明走纸速度,否则在纸上标明纸的移动速度是必不可少的。每当改变一次纸速,都应该标明。

刺激标记插孔位于电源控制部件后面,在时间肘节开关的下面。刺激插头直接插入该插孔,或根据实验要求接通刺激标记开关。

### 3. 适当部件的补充

每台多波描记器除了有在记录纸上标记时间和刺激的设备外,还有四个记录部件。

由实验来决定所要使用部件的适当型号及数量。

检查一下适宜的终端插头,插到你打算使用的各个部件的连接插座里,不但要检查数量,而且要检查型号。当各输入均已连接仪器时,打开你准备使用的每个部件背后的红色肘节开关。

准备描记首先要盖上相应的聚乙烯墨水池帽。当墨水池受压时,即将墨水压到记录纸上。如有过多的墨水积聚在记录纸上,则松开墨水池帽减除压力,使大部分墨水回流。但是你应该能把墨水池恢复正常位置而不致切断毛细管流。

#### 4. 斩波器通道

由于斩波器通道是与 Statham 氏换能器、热敏电阻等一起使用而设计的,所以是最有用的部件。这两个通道的控制器是在面板 4 和 5 上。定标步骤如下:

- a. “描记笔”开关拨到“描记”位置。
- b. 插入换能器。
- c. 斩波器部件背后的肘节开关拨到“接通”(on)位置。
- d. 把上面的“平均值”旋钮拨到“关闭”(off)位置。
- e. “灵敏度”刻度盘逆时针转到 000,并注意描记笔的位置。
- f. 用右下方的“中心调整”(centering)钮把描记笔调到中心线上。
- g. 将“灵敏度”控制钮顺时针转到 1000(最大),然后转动左下方的“平衡”(balance)钮把描记笔再调到先前的中心线位置。
- h. 本仪器可用机内电压定标。按下斩波器通道面板上标有定标(calib)字样的小红按钮,定标电压即被加到放大器上。该电压可以定标 Statham 氏压力换能器,大致为 100 毫米汞柱。精确定标最好用水银压力计易于得到的已知外压来进行。

#### 5. 心电图(ECG 或 EKG) 部件

心电图部件通常用来监视心脏活动。

- a. 打开“描记笔”开关。
- b. “导联选择器(lead selector)开关拨到“标准导联”(STD)位置。
- c. 按动标有“定标”字样的按钮,调节“增益”(gain)钮,使描记笔偏转 1 厘米,即 1 毫伏/厘米。
- d. 将五芯导联线插头插入心电部件背后的插座中。将导联线与病人接好,“导联选择器”拨到“导联 I”并准备记录。

#### 6. 肌电图(EMG) 通道

肌电图通道用来监视肌肉的电活动,以后提到的改进型还有其他用途。

- a. 打开“描记笔”开关。
- b. 把肌电通道面板上的“输入-定标”开关拨到“定标”位置。
- c. 按动“定标”按钮,把“增益”调到 1 厘米,这样每厘米为 100 微伏。
- d. 将三芯导联线插入肌电部件背后的插座中并与病人连接好。将“输入-定标”开关拨到“输入”位置并作记录。

## 7. 伺服放大器通道

a. 插进传感器单元(染色描述器、氧电极、温度传感器或皮肤电阻单元)。

b. 打开放大器开关(开关位于伺服放大器部件的背后)。

c. “输入-定标”开关拨到“定标”档。

d. 定标时,灵敏度分以下几档,即描记笔每偏转 1 厘米各为 500, 200, 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1 和 0.5 毫伏。灵敏度的微调有足够的范围调到各档间的任何值。最大灵敏度约为每厘米 0.35 毫伏。

一个双位开关可以选择从输入接线柱或从内定标电路来的输入送到伺服放大器。在定标位置时,用按钮自标准电池输入 10 毫伏信号。调节灵敏度微调,可得合适的描记笔偏转范围。

零点控制可以将笔的零点位置调在图纸的任何一点上,如果要求零点偏移,则可调到任一侧的上一图宽。

e. 将“灵敏度”选择器开关拨到 500 毫伏/厘米并按动“10 毫伏定标”按钮。对 200, 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1 和 0.5 毫伏/厘米范围重复上述操作。

## ICM-5 型多波描记器各部件操作说明

### 1. IC-CC 部件

本单元通常用来记录人的心电图。

a. 将“准备-操作”开关拨到操作位置。

b. 将“导联选择器”开关拨到标准导联位置。

c. 将“心电图-脑电图”开关拨到“心电图”位置。

d. 按动标有“定标”字样的按钮,调节灵敏度控制,使描记笔偏转 1 厘米。

e. 将五芯导联线插入心电部件背面的插座中,并与病人联接好。导联选择器开关拨到“导联 I”,用每秒 25 毫米纸速记录心电图。

### 2. IC-MP 部件

本部件可用来记录心电图、脑电图、压力和其他仪器的直流输出。本部件是 ICM -5 多波描记器中功能最多的部件。

#### A. 记录脑电图

(1) 将选择器开关拨到“EEG”位置,联好三芯导联线。

(2) 调节中心点、灵敏度和滤波器开关到最佳状态。

#### B. 记录心电图

(1) 把选择器开关拨到“CC-CAL”位置,联好三芯导联线。

(2) 调节中心点控制,使描记笔位于中心线位置。

(3) 按动标记为 1 毫伏的定标按钮,并调节“灵敏度”控制,使描记笔向上偏转 1 厘米。

(4) 将选择器开关拨到“ECG”,导联线与受试者联接好。注意:导联线共有三极,

“黑线”为参考电极,接地,联到“右腿”。其他两条线为有效电极,用于记录心电图标准导联。当记录导联 I 时,有效线接到左、右臂。如果 QRS 复合波倒置,则将导线位置对调。记录标准导联 II 时,有效线接到右臂和左腿。如果 QRS 波倒置,则将导线位置对调。

### C. 记录压力

(1) 将换能器引线插头插到该部件后面板的匹配插孔中。

(2) 连接合适的管道装置和导管等。

(3) 多波描记器拧开若干分钟后,将选择器开关拨到“换能器”位置。定标时将以毫伏/厘米定标的分挡灵敏度控制拨到最低灵敏度即 2 毫伏/厘米处。将灵敏度细调逆时针旋转到零。

(4) 控制部件开关从“准备”转到“操作”位置。调节中心点控制钮,把描记笔调到记录纸记录范围的中线上。

(5) 将“灵敏度”细调钮顺时针转到底。旋转“换能器平衡”控制,再把描记笔调到中线。

(6) 逆时针转动时,描记笔向下移动。顺时针转动时,描记笔向上移动(朝向部件)。

(7) 顺时针旋转“毫伏/厘米”开关到“0.2 毫伏/厘米”以进一步增加灵敏度。在各档,转动平衡控制钮,使电桥更近于平衡。

(8) 调节“中心”控制钮,把描记笔调到记录纸上你已选为零压的位置附近。按动“定标”栏中的“换能器”按钮可以标定换能器(使用 P 23 AA 压力换能器,该按钮产生相当于 100 毫米汞柱的描记笔偏转)。

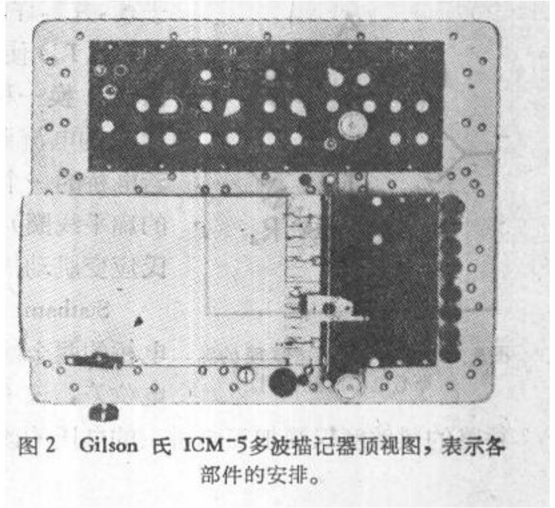


图 2 Gilson 氏 ICM-5 多波描记器顶视图,表示各部件的安排。

## 检测和敏感元件

### 换能器

通常换能器的定义指能将一种能量转换为另一种能量的装置。在生理学仪器中,通常使用换能器这个术语有着更为特殊的内容。因此,在本实验室我们把换能器这个术语作为首先易受被测现象的影响,并把各种形式的能量转换为电能的一种装置。这种电能可以相当逼真地加以放大和记录。

本实验室通常使用两种 Statham 氏换能器。这两种换能器本质上都是惠斯登电桥,其中两个电阻随着机械变形而改变其阻值。惠斯登电桥基本上由  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  四个电阻以及与此相连的电源  $E$  和电流计  $G$  所组成,如图 3 所示。

电流流过两组并联电路(半桥)  $R_1+R_2$  和  $R_3+R_4$ 。若 A 点电位等于 B 点电位,则无电流流过电流计,电桥处于平衡。此时满足下列条件:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

但是,假设  $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  为恒值电阻而  $R_1$  为可变电阻,  $R_1$  的任何变化会使电桥失去

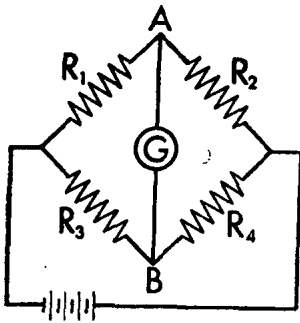


图3 表示应变仪基本原理的惠斯登电桥图解说明。

平衡,并容许电流流过电流计。这时,可由操作者改变  $R_2$  (或  $R_3$ , 或  $R_4$ ) 使之无电流流过电流计 G, 并由上述公式计算  $R_1$  新值。换一种方式,  $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  可以保持不变, 将通过电流计 G 的电流放大和记录下来以提供  $R_1$  变化的连续曲线图。若电桥的一个或几个电阻由应变元件 (稍有变形就改变电阻的扁平线圈) 取代, 可以记录机械力和运动。这就是 Statham 氏应变肌动描记器和 Statham 压力应变器的原理。

Statham 氏换能器从多波描记器获得一个直流电压, 加在电桥的两个端点。当电桥不平衡时, 另外两个端点间就出现电位差, 该不平衡电压成为输入信号经放大后驱动描记笔。

桥路的灵敏度仅受加在电桥上的电压的改变而变化。见图 4。

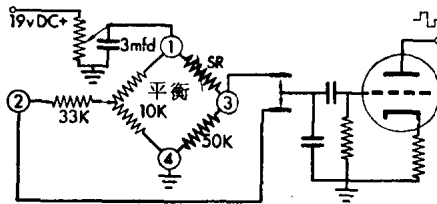


图4 表示用于应变仪的斩波放大器的平衡电路和直流电压-的示意图。电桥上标出的号码相当于斩波放大器输入插座上的管脚号码。另外的传感器单元可用 Cannon WK24C 插头相接。可变电阻 SR 和 50 K $\Omega$  的固定电阻包括在传感器单元通常为一个换能器里。但是,任何两个电阻(其中一个电阻必须作为研究对象的某种物理性质的函数而改变)都用来驱动记录器。这个特点考虑到受操作者的积极性和创造能力限制的输入条件的宽范围变化。

## 示波器 (Tektronix 502) 操作说明

可兴奋组织的兴奋伴有电活动, 这些电活动的记录提供有关这种组织生理的信息。实验室使用两类记录电变化的装置, 即阴极射线示波器和电流计。阴极射线示波器是一种电子仪器, 它可在屏幕上自左至右描出一幅电位差 (在垂直轴) 对时间 (在水平轴) 的曲线图。描图的“笔”是一束电子流。由于电子流的惰性基本上为零, 所以有可能得到电位快速变化的曲线图。该仪器的原理图解如图 5 所示。阴极射线束的轮廓用虚线表示, 从右方阴极 (电子源) 发射的电子在两对偏转板间穿过, 并撞击示波管的屏幕。屏幕内面涂的一种受电子撞击后发出荧光的材料, 因此为人们所看到的电子好象是示波管屏幕上的一个小光点。

生物电位也就是与活组织活动有关的电位, 通常只有几微伏 (百万分之一伏) 到几毫伏 (千分之一伏), 这取决于组织本身的短路量和该回路中的电阻。因此必须有某些电子装置将该电位放大。放大的电位送至阴极射线管的 Y 偏转板。一块 Y 偏转板变负; 另一块变正, 结果电子束向变正的那块偏转板偏转。因此, 当观察屏幕时, 看到发光点上下运动, 这取决于哪块 Y 偏转板相对于另一块来说变得正些。光点垂直偏转量由两块 Y 偏转板间的电位差的大小决定。

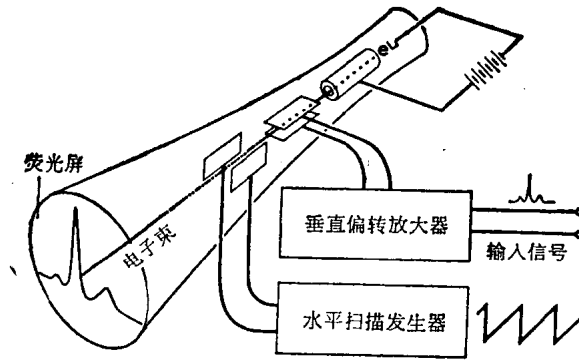


图5 观察瞬变动作电位用的阴极射线示波器的示意图。表示输入信号和荧光屏上显示波形之间的关系。

如果将照相胶片通过光点移动，用本装置能够记录电位-时间曲线。但是，很多电活动变化太快，以致不可能用足够快的速度移动胶片，以便把一段时间内的记录扩展到能看清电位变化细节所需要的程度。因此，用 X 偏转板上加电流的方法附加一个能使电子束从左到右移动的“扫描”电路。换句话说，不是像在肌肉杠杆上所见的那样，使纸通过一个上下运动的点而移动，经过一段时间描出记录，而是用电学方法使光点本身自左至右移动。本实验室所用仪器的最大扫描速度即电子束扫过荧光屏的时间为十万分之一秒。

### 阴极射线示波器的操作

实验室所使用的示波器面板见图 6。注意除紧靠荧光屏下的四个黑色刻度盘以外，所有的插孔和刻度盘均圈在标有上线垂直、下线垂直、时基和水平扩展的矩形线内。各刻度盘上的白点指示各自的位置。这些部分作用的描述如下：

**1. 紧靠荧光屏下的四个小黑刻度盘** 自左至右标记为：“上电子束聚焦、下电子束聚焦、辉度和标尺亮度”。正如仪器上标明的那样，前两个刻度盘的作用是上或下电子束的聚焦。第三个刻度盘用来改变电子束的强度。在标尺亮度刻度盘上有一个白点，白点位于逆时针极限的电源关断位置时，仪器关闭。向右稍旋转刻度盘，仪器即被打开，顺时针更多转动刻度盘会改变示波器背景光的亮度。

**2. 标有“上电子束”的框栏** 顾名思义，这是控制示波器“上电子束”的垂直偏转的。最左边可见到三个输入插孔。一个标记“A”，一个标记“B”，A和B之间的一个接地。从待测电位的组织来的引线接到“A”或“B”和“地”（测量连到组织的阴极和地之间的电位差）。或者连到“A”和“B”和“地”（测量组织两点之间的电位差）。这三个插孔右边的是“选择”刻度盘，将它旋转在什么位置取决于连接组织的引线插在哪个输入插孔里。如果从“A”和“地”记录，则“选择”刻度盘的白点转到刻度“AC”侧的“A”处，如果从“A”和“B”和“地”记录，则“选择”刻度盘转到刻度“AC”侧的“A-B”处。

**3. “灵敏度”** 灵敏度控制可以比作收音机的音量控制。如果你收到远地城市的一个弱电台，你必须把收音机上的音量控制转向接近顺时针的极限。如果现在你转到一个大功率的本地电台，除非逆时针旋转音量控制，否则收音机的声音会大得不能忍受。

同样，如果灵敏度调到 1 毫伏输入时，电子束垂直偏转 1 厘米，而你把 1 伏电压输入

仪器,电子束的偏转就会太高,以致在荧光屏上看不到。为了看到电子束,必须把“灵敏度”刻度盘逆时针转到1伏/厘米或0.5伏/厘米。本仪器有很宽的灵敏度范围,从200微伏/厘米到20伏/厘米由“灵敏度”刻度盘来调节。

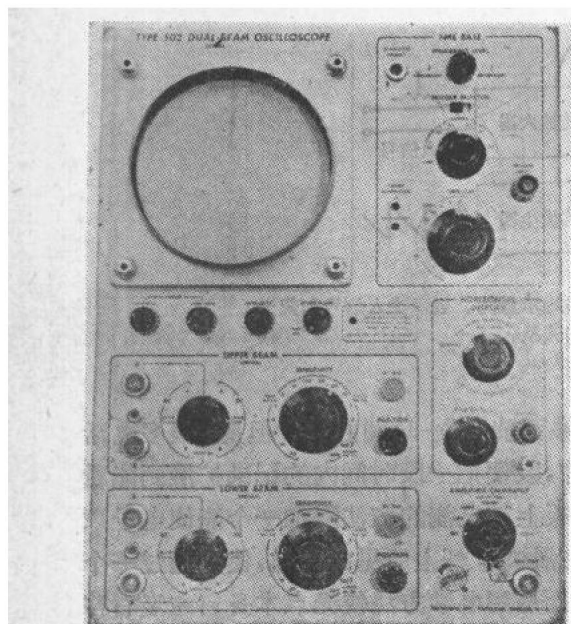


图6 Tektronix 502 双线示波器正面观。单元装置里表示各部件及其控制。

4. “直流平衡”刻度盘 不要由学生来操作。适当调节直流平衡刻度盘时,可以改变各级灵敏度而使电子束的零位不变。

5. “移位”刻度盘 如因某种原因,电子束离开荧光屏时,可用“移位”刻度盘把电子束调回荧光屏上。

6. 标有“下电子束”的框栏 操作“下电子束”控制钮的方法和“上电子束”相同。

7. 标有“时基”的框栏(位于荧光屏右边) 在此底部标为“时间/厘米”的大刻度盘用来调节扫描速度。该刻度盘上的定位表示电子束自左至右扫描1厘米距离所需的时间。注意刻度盘分为秒(从5降到0.1)、毫秒(从50降到0.1)和微秒(从50降到1)。

8. 标有“水平扩展”的框栏 除因照相记录时偶然将电子束水平移动和扩展扫描外,

通常不使用水平扩展部分。

每一组学生应完成下列操作程序:

1. 打开示波器并使之有一定的预热时间(顺时针向右转动荧光屏正下方的小黑刻度盘)。

2. 电子刺激器连到“A”和“地”,转动“选择”刻度盘到“AC”侧的“A”处。

3. 电子刺激器调到10伏输出,持续时间为1毫秒,频率为60周/秒。

4. 旋转“灵敏度”和“时间/厘米”(扫描)控制器,直到在示波器上能够读出刺激器输出脉冲的电压、频率和持续时间为止。

5. 由该组的几个学生改变刺激电压,持续时间和频率,另一些学生计算刺激器新定位的电压、持续时间和频率(由测量电子束偏转的高度和频率来计算,并注意“灵敏度”和“时间/厘米”刻度盘的位置)。

6. 如果示波器上的波形漂移而难于读数时,则可旋转位于时间/厘米控制器上面的刻度盘,使上电子束由“电源”(line)转到“交流”(AC)位置。

在刺激神经或肌肉后记录电位的一些实验中,希望每个连续刺激的伪迹在示波器的同一位置出现。要做到这一点,刺激要和示波器同步。刺激器上标记“同步输出”的接线柱连到示波器的“触发输入”(位于“时基”框栏内)。“触发选择器”顺时针转到“外、交流”位置。刺激器的地线接到示波器的地线上。把“触发电平”刻度盘调到适当位置(约两点钟位置),来自刺激器的每个脉冲将触发电子束从荧光屏左边的同一位置开始扫描。这样,连续而又相同的神经或肌肉动作电位的图象就可以重叠起来。



## 组织的兴奋

使细胞能够产生电活动的各种方法，受到活组织的生理学和电化系统性质多样性的限制。传导膜和突触膜就是利用了细胞的电极化或静息电位。这表现为膜内比膜外为负的跨膜电位差。静息时，膜具有相当高的阻力，表明对钠离子的透过有一个相当大的障碍。因此钠离子被排斥在细胞外，结果细胞内液比细胞外液中的浓度相对地要低。其余离子的跨膜分布可由道南氏平衡的概念来预测。这种平衡的结果是细胞内液含有相对高的钾离子浓度。

含有一些相同离子不同浓度的两种溶液与细胞膜的两面相接触就产生跨膜电位差。这就是生物膜电位的起因。该膜电位的定量测量可用 Nernst 氏方程式预测。实质上，它说明电位差的大小随跨膜离子浓度比的对数而增加。因此，如果细胞外液的钾离子浓度增加或钠离子浓度减少，膜电位就降低。所有已知细胞的膜电位在 20—120 毫伏范围之内，而可用电兴奋的组织特别适应于 90—120 毫伏范围之内的电位。细胞膜经常利用代谢能排出少量漏过膜的钠离子。这种机理叫做钠代谢泵，并最终提供维持离子分离从而维持膜电位的能量。某些组织在适当的刺激之后，特殊的适应可使膜电位暂时减少到零。

电可兴奋膜因环境变化而产生的去极化引起动作电位的发展。最初的去极化是被动的，涉及钠离子通透性的微小变化。如果静息膜电位超过临界值，结果引起主动的通透性增加并因此产生一个动作电位。如果最初的去极化未超过临界水平，则膜的静息电位恢复，这个刺激是阈下刺激。这种临界水平叫做平衡水平。

组织的兴奋性随着平衡水平的不同而变化。由最初的去极化产生的通透性变化允许钠离子进入细胞内，因为钠离子在细胞外媒质中的浓度很高。流进细胞的钠离子电流，其方向是使膜电位降低。去极化引起膜对钠离子通透性的增加，因而进一步降低膜电位，导致正反馈的继续并导致爆发性的全或无动作电位。同时，当膜电位降低到零时，细胞膜对钾离子的通透性也增加，但是钾离子通透性增加的速度要比钠离子通透性增加的速度要低。钾离子电流的方向与钠离子运动的方向正相反，因此倾向于增加膜电位或使细胞超极化。这又会使膜电位恢复到静息或起始水平。每个动作电位容许少量钠和钾离子跨膜交换。每个动作电位总的交换量是很小的，相当于  $2-3 \times 10^{-12}$  克分子，和细胞内所含有的离子总量相比，可以忽略不计。代谢排出泵不断地用来重新分配钠和钾离子。

一部分膜的去极化成为邻近部分的膜产生动作电位的刺激，而邻近部分的动作电位依次又将作为其他部分的刺激。因此，动作电位将以一定的速度沿着膜传播，其传播速度取决于细胞和细胞外液的性质。这个过程导致可传播的动作电位。

只有当精确而完全地报告所有重要的参数时，才能适当地描述实验中组织的刺激。在描述刺激时，必须考虑下列参数：

### 1. 刺激的类型

刺激可能是电的、渗透的、热的、机械的、化学的或辐射的能量。但在电可兴奋组织中任何类型的适宜刺激产生相同的纯效果，即产生和传播动作电位。由于电刺激的作用迅速、容易控制、刺激参数的定量精确和易于管理等，所以特别适用。