



体育院校通用教材

TI YU YUAN XIAO TONG YONG JIAO CAI

YUNDONG  
SHENGLIXUE  
SHIYANZHIDAO

全国体育院校教材委员会 审定

实验指导

运动生理学

人民体育出版社

体育院校通用教材

# 运动生理学实验指导

全国体育院校教材委员会审定

人民体育出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

运动生理学实验指导/全国体育院校教材委员会审定.-北京:

人民体育出版社, 2005

体育院校通用教材

ISBN 7-5009-2848-3

I. 运… II. 全… III. 运动生理-生理学-实验-高等学校-教材 IV. G804.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 069580 号

\*

人民体育出版社出版发行

三河市紫恒印装有限公司印刷

新华书店经销

\*

787×1092 16 开本 16 印张 382 千字

2005 年 11 月第 1 版 2006 年 12 月第 2 次印刷

印数:5,101—10,100 册

\*

ISBN 7-5009-2848-3 / G · 2747

定价:20.00 元

---

社址:北京市崇文区体育馆路 8 号(天坛公园东门)

电话:67151482(发行部) 邮编:100061

传真:67151483 邮购:67143708

(购买本社图书,如遇有缺损页可与发行部联系)

# 编写组成员

主 编: 孙 飙

副 主 编: 王瑞元 徐玉明 张国海

编写成员: (按姓氏笔画为序)

王瑞元	教 授	北京体育大学
任建生	教 授	武汉体育学院
刘善云	教 授	天津体育学院
孙学川	教 授	中国人民解放军体育学院
孙 飙	教 授	南京体育学院
李秋萍	副教授	沈阳体育学院
苏全生	教 授	成都体育学院
张国海	副教授	温州大学体育学院
郑 陆	教 授	山东体育学院
郝选明	教 授	西安体育学院
徐玉明	副教授	山西师范大学体育学院
龚惠兰	教 授	广州体育学院
谢业琪	教 授	沈阳体育学院
熊开宇	副教授	北京体育大学

# 前 言

本书是根据国家体育总局全国体育院校教材委员会的要求，由中国生理学会运动生理学专业委员会组织编写，经全国体育院校教材委员会审定，作为全国体育院校通用教材《运动生理学》的配套教材使用。

本书是根据目前运动生理学学科发展及教学的实际情况，在对原来生理学教学实验内容精选的基础上进行了筛选、加工、重组与改进，力求充分体现“面向现代化、面向世界、面向未来”的指导方针，注重将传授知识、掌握技能与培养思考、创新等各种能力相结合，力求培养高质量的体育专业人才，以适应竞技体育的高速发展与全民健身计划的不断需求。

与目前同类读物相比，《运动生理学实验指导》有如下特点：

## 1. 健全实验教材体系

所刊载的实验内容丰富而全面，便于各校根据自己条件选择使用，也可作为学生开展探索性实验设计方案时的参考。

## 2. 纳入新仪器和新方法

由于近年来先进仪器和电脑化设备的逐步普及，本书在保留原有运动生理学主要内容的基础上，新增添了一些实验仪器方法和实验项目内容。在增加实验结果准确性的同时，大大提高教学效率，缩短了实验测试时间。

## 3. 注重实验的应用性

几乎每一实验均增设“运用与评价”内容，或为运动训练和全民健身服务时参考，或作为今后知识应用的基础。这一内容可增强学生学习知识的目的性，提高其学习兴趣。

## 4. 加强学生的能力培养

增设“思考与探索”内容，可启发学生积极思考，努力探索，从而培养其分析和创造能力。同时便于对学生开设综合开放性实验，协同实验室进行开放管理。

由于动物生命现象的复杂性以及在不同条件下，所获得的实验结果不一定完全一致，望实验者仔细观察、认真思考、善于分析、勇于探索。仍有一些新仪器设备目前未广泛使用，我们认为写入实验教材还不太成熟，但随着研究水平的不断提高，会迅速推广普及，同时也会涌现出更多的实验仪器或方法。因此，我们在遗憾之余，也充满着期待。

由于专业知识和实验能力有限，参编者虽已尽力但书中难免仍有错误和不妥之处，敬请指正。

最后，对给予本书编写工作大力支持的深圳翰翔生物医疗电子有限公司，南京美易公司和北京康比特威创体育新技术发展有限公司表示谢意。

《运动生理学实验指导》编写组

2005年8月

# 目 录

绪 论 .....	( 1 )
一、实验课的目的 .....	( 1 )
二、实验课的要求 .....	( 1 )
三、实验记录的要求 .....	( 1 )
四、实验报告的要求 .....	( 2 )
五、实验室规章制度 .....	( 3 )
第一章 主要实验仪器介绍 .....	( 4 )
一、生理学实验常用仪器 .....	( 4 )
(一) 刺激系统 .....	( 4 )
(二) 探测系统 .....	( 5 )
(三) 信号调节系统 .....	( 7 )
(四) 记录系统 .....	( 7 )
二、生物信号采集处理系统 .....	( 9 )
(一) 工作原理 .....	( 9 )
(二) 系统组成 .....	( 9 )
(三) MedLab 的基本操作 .....	( 10 )
(四) 刺激器的设置 .....	( 14 )
(五) 添加实验标记 .....	( 14 )
(六) 参数选择参考表 .....	( 15 )
(七) 换能器的定标 .....	( 15 )
(八) MedLab 数据的采集、处理和输出 .....	( 17 )
(九) MedLab 实验报告的导出 .....	( 22 )
三、分光光度计 .....	( 23 )
(一) 仪器的工作原理 .....	( 23 )
(二) 仪器的基本结构 .....	( 24 )
(三) 仪器的调整校正 .....	( 25 )
(四) 仪器的使用方法 .....	( 26 )
(五) 使用注意事项 .....	( 26 )
四、肌电仪 .....	( 27 )
(一) 仪器的基本结构 .....	( 27 )

(二) 仪器的使用方法 .....	(28)
(三) 菜单的设置及功能 .....	(29)
(四) 使用注意事项 .....	(30)
五、心电图仪 .....	(31)
(一) 仪器的基本结构 .....	(31)
(二) 仪器的使用方法 .....	(31)
(三) 使用注意事项 .....	(33)
六、血细胞分析仪 .....	(33)
(一) 仪器的工作原理 .....	(34)
(二) 血细胞分析流程 .....	(34)
(三) 仪器的主要参数 .....	(34)
(四) 常用参数的含义及参数范围 .....	(36)
七、血乳酸自动分析仪 .....	(36)
(一) 仪器的基本结构 .....	(36)
(二) 仪器的使用方法 .....	(38)
(三) 使用注意事项 .....	(38)
八、自动心率记录仪 .....	(38)
(一) 仪器的基本结构 .....	(39)
(二) 仪器的使用方法 .....	(39)
(三) 使用注意事项 .....	(41)
九、心阻抗仪 .....	(41)
(一) 测定的原理 .....	(41)
(二) 仪器的基本结构 .....	(43)
(三) 仪器的使用方法 .....	(43)
(四) 使用注意事项 .....	(43)
十、超声心动仪 .....	(43)
(一) 仪器的工作原理 .....	(44)
(二) 仪器的基本结构 .....	(44)
(三) 超声心动仪分类 .....	(45)
(四) 仪器的使用方法 .....	(45)
(五) 常用的测量和计算指标 .....	(46)
十一、气体自动分析仪 .....	(47)
(一) 仪器的基本结构 .....	(47)
(二) 仪器的使用方法 .....	(48)
(三) MAX-II 运动心肺功能测试参数对照表 .....	(49)
(四) 使用注意事项 .....	(50)
十二、运动负荷仪 .....	(50)
(一) 电动跑台 .....	(50)
(二) 自行车功量计 .....	(52)

(三) 台阶 .....	(56)
十三、等速肌力测试与训练系统 .....	(57)
(一) 仪器的基本结构 .....	(58)
(二) 等速肌力测试的常用指标 .....	(58)
(三) 等速肌力的测试方法 .....	(60)
(四) 使用注意事项 .....	(60)
十四、人体成分分析仪 .....	(60)
(一) 仪器的基本结构 .....	(61)
(二) 仪器的使用方法 .....	(61)
(三) 测试指标 .....	(63)
(四) 使用注意事项 .....	(64)
十五、骨密度测定仪 .....	(64)
(一) 仪器的基本结构 .....	(64)
(二) 仪器的使用方法 .....	(65)
(三) 测试指标 .....	(66)
(四) 使用注意事项 .....	(67)
<b>第二章 动物实验的基本操作技术 .....</b>	<b>(68)</b>
一、动物实验的方法 .....	(68)
二、常用实验动物的种类及特点 .....	(68)
三、常用动物的捉拿和固定方法 .....	(70)
四、动物的麻醉方法 .....	(71)
五、急性动物实验的操作 .....	(73)
(一) 动物实验常用器械 .....	(73)
(二) 实验动物的取血与处死方法 .....	(74)
六、常用实验动物的生理常数表 .....	(75)
<b>第三章 骨骼肌机能的测定 .....</b>	<b>(76)</b>
一、离体骨骼肌收缩特点 .....	(76)
(一) 坐骨神经—腓肠肌标本制备 .....	(76)
(二) 单收缩和强直收缩 .....	(78)
(三) 阈刺激、良性刺激、劣性刺激 .....	(82)
(四) 负荷对肌肉收缩的影响 .....	(84)
(五) 收缩疲劳曲线 .....	(88)
二、运用肌电图分析动作、负荷 .....	(90)
<b>第四章 血液循环机能测定 .....</b>	<b>(92)</b>
一、动物心脏功能分析 .....	(92)
(一) 心搏过程观察与描记 .....	(92)



(二) 心室期外收缩与代偿间歇的观察描记 .....	( 93 )
(三) 兔动脉血压的测定及其影响因素的观察 .....	( 96 )
二、血液测定 .....	( 99 )
(一) 红细胞测定 .....	( 99 )
(二) 白细胞测定 .....	( 103 )
(三) 血红蛋白测定 .....	( 105 )
(四) 血型测定 .....	( 109 )
(五) 红细胞压积测定 .....	( 111 )
三、心率的测定 .....	( 114 )
四、人体动脉血压测定 .....	( 116 )
五、心脏功能测定 .....	( 119 )
(一) 超声法 .....	( 119 )
(二) 脉搏图法 .....	( 121 )
(三) 阻抗法 .....	( 123 )
六、心电图测试 .....	( 125 )
七、血乳酸测定 .....	( 128 )
(一) 光电比色法 .....	( 128 )
(二) 酶电极法 .....	( 130 )
八、免疫测定 .....	( 132 )
(一) 免疫球蛋白的测定 .....	( 132 )
(二) 淋巴细胞亚群的测定 .....	( 134 )
九、内分泌测定 .....	( 136 )
(一) 血清睾酮的测定 .....	( 136 )
(二) 血清皮质醇的测定 .....	( 138 )
(三) 尿儿茶酚胺荧光测定法 .....	( 139 )
<b>第五章 呼吸机能的测定 .....</b>	<b>( 142 )</b>
一、肺通气机能测定 .....	( 142 )
(一) 采用改良式肺量计测定 .....	( 143 )
(二) 采用便携式肺功量计测定 .....	( 145 )
二、呼吸运动的调节 .....	( 149 )
<b>第六章 神经系统和感觉机能的测定 .....</b>	<b>( 152 )</b>
一、视觉机能的测定 .....	( 152 )
(一) 视力测定 .....	( 152 )
(二) 视野测定 .....	( 155 )
(三) 视深度测定 .....	( 157 )
(四) 色觉测定 .....	( 159 )
(五) 视觉闪光融合频率测定 .....	( 160 )

二、前庭机能稳定性的测定 .....	(162)
三、肢体本体感受器敏感性的测定 .....	(166)
四、反射活动的观察 .....	(168)
(一) 反射弧的分析 .....	(168)
(二) 反射时的测定 .....	(170)
(三) 反应时的测定 .....	(171)
五、支配运动功能协调活动的观察 .....	(173)
(一) 兴奋扩散的观察 .....	(173)
(二) 交互抑制 .....	(174)
(三) 去大脑僵直 .....	(176)
六、人脑电图的测试 .....	(178)
<b>第七章 有氧工作能力的测定 .....</b>	<b>(180)</b>
一、最大摄氧量测定 .....	(180)
(一) 最大摄氧量的直接测定法 .....	(180)
(二) 最大摄氧量的间接推测法 .....	(181)
二、运动时能量代谢与机械效率的测定 .....	(189)
三、无氧阈(AT)测定 .....	(192)
四、PWC <sub>170</sub> 机能测验 .....	(195)
<b>第八章 无氧工作能力的测定 .....</b>	<b>(199)</b>
一、磷酸原代谢能力的测定 .....	(199)
二、糖酵解代谢能力的测定 .....	(201)
<b>第九章 机体运动疲劳测定 .....</b>	<b>(204)</b>
一、骨骼肌系统机能判断疲劳 .....	(204)
二、神经系统和感觉机能判断疲劳 .....	(205)
三、心肺功能判断疲劳 .....	(207)
四、血液、尿液指标判断疲劳 .....	(208)
五、主观感觉法 .....	(210)
<b>第十章 身体素质的测定 .....</b>	<b>(213)</b>
一、肌肉力量测定 .....	(213)
二、速度测定 .....	(215)
三、耐力测定 .....	(217)
四、柔韧性测定 .....	(219)
五、灵敏测定 .....	(223)
六、平衡测定 .....	(227)
七、协调测定 .....	(229)

第十一章 身体成分的测定 .....	( 231 )
附录 .....	( 237 )
附录一：度量衡对照表 .....	( 237 )
附录二：常用试剂配制 .....	( 238 )
附录三：常用麻醉药剂量表 .....	( 242 )
主要参考书目 .....	( 243 )

# 绪 论

## 一、实验课的目的

运动生理学实验课的目的旨在通过实验使学生加深了解和验证生理学的基本理论和知识，初步掌握生理实验的基本操作技术，熟悉运动生理实验的基本方法、手段，在实验过程中培养学生对科学工作的严肃态度、严格要求、严密的工作方法和实事求是的工作作风。通过实验逐步培养学生能够客观地对事物进行观察、比较、分析和综合的能力以及独立思考的能力。

## 二、实验课的要求

1. 实验前应预习好实验指导和讲义以及有关理论，充分做好准备工作，必要时可在实验室先熟悉仪器。
2. 在使用仪器前，应详细了解其性能及使用方法。如有不明时，不可贸然开动仪器，以免损坏仪器。仪器的零件及附件，严禁拆卸。
3. 预测该实验的各个步骤应得出的结果，并估计实验中可能发生的问题。
4. 实验时听从教师指导，按实验指导进行操作。同时还要积极进行思考，理解各项操作步骤的要点及其意义。并做到专心、细心、耐心和分工明确，有条不紊。
5. 在实验过程中，观察要认真仔细。对许多现象的观察不仅要看到量的变化，而且还要看到质的变化。还要注意各种现象发生的时间关系。要认真分析反应中的因果关系，以及刺激因素和实验条件在形成某种反应中的作用。
6. 实验过程中要认真、仔细地进行实验记录。
7. 每次实验后，要整理实验记录，作出实验结论，按要求完成实验报告。

## 三、实验记录的要求

实验记录是科学研究工作和实验教学的一项主要内容，是分析实验结果和作出结论的依据。同时，也为下一步实验或研究工作提供资料。因此，实验记录必须做到书写清楚整洁，数据真实、确切、完整。

1. 记录实验日期、气温等事项。
2. 记录实验题目。题目要求具体、简洁、鲜明，而且能概括地表达实验内容。
3. 记录实验目的。这有助于了解实验者对本实验的目的和意义的理解程度。

4. 记录实验步骤。实验步骤要记录清楚、简明扼要。一般要求写明实验方法、实验仪器、仪器的精确程度、实验对象的性别、年龄、体重等基本情况。

5. 记录实验数据。实验数据尽量采用表格方式，数字的记录要准确完整，并注意有效数字的取舍。

6. 记录实验中的意外现象。每次实验都要做仔细观察，并将所观察到的现象加以记录。

7. 不要把有意义的现象从眼前放过去。实验过程中出现的反常现象可能是很有意义的。所以，不能遗漏实验中的反常现象。

8. 实验记录要求实事求是，不得弄虚作假。

#### 四、实验报告的要求

1. 示教实验或自己的实验，均要每人写出报告。

2. 实验报告字迹要清楚，记录应是原始数据。

3. 要求把实验所得结果与理论相联系，分析解释结果产生的原因并得出自己的见解。

4. 按照每一实验的具体要求，认真写出实验报告。

##### 实验报告格式要求：

注明姓名、班次、组别、日期、室温、气压。

实验号数和题目。

实验目的。

实验方法或步骤：一般作简要描述。如果实验仪器或方法临时有所变更，或因操作技术影响观察的可靠性时，也要作简短的说明。

实验结果：是实验中最重要的一部分。应将实验过程所观察到的现象忠实、正确地记述。实验中的每项观察都应随时记录。实验结束后，根据记录填写实验报告，不可单凭记忆，否则容易发生错误和遗漏。实验结果的处理见前项要求。如果实验结果自动打印出来，则将打印结果直接贴在实验报告上。

讨论和结论：实验结果的讨论是根据已知的理论知识对结果进行解释和分析。要判断实验结果是否为预期的，如果出现非预期的结果，应该考虑和分析其可能的原因，还要指出实验结果的生理意义。实验结论是从实验结果中归纳出一般性、概括性的判断，也就是这一实验所能验证的概念、原则或理论的简明总结。结论中一般不要罗列具体的结果。在实验结果中未能得到充分证据的理论分析不应写结论。

实验的讨论和结论的书写是富有创造性的工作，应该严肃认真，不应盲目抄袭书本。参考课外读物，应注明出处。

## 实验报告的一般格式

运动生理学实验报告					
实验名称: _____					
姓 名	班 级	组 别	日 期	室 温	气 压
实验目的					
实验原理					
实验对象					
实验步骤					
实验结果					
实验讨论					
实验结论					

## 五、实验室规章制度

1. 自觉遵守纪律和各项规章制度，保持室内安静，注意环境卫生，不吸烟、不随地吐痰，不乱扔纸屑杂物，爱护公物。

2. 实验过程中应严肃认真，严格遵守操作规程，贵重、精密仪器的使用须在专人指导下进行。

3. 爱护实验仪器设备，仪器如有损坏应如实报告，填写登记表。凡损坏、丢失的仪器设备，均应查清原因，按仪器设备损坏、丢失赔偿制度处理。

4. 实验中对所使用的实验动物、实验药品要注意节约，防止浪费。

5. 实验物品不得随意翻动，严禁携出室外。每次实验物品的使用，须由每组组长凭学生证借领。

6. 注意实验室安全，易燃易爆品的操作应远离火源。

7. 实验结束由实验指导老师和管理人员检查清点仪器设备，学生应办好交接手续，做好清洁卫生，及时关好水、电阀门，保持实验室和仪器的清洁整齐。

# 第一章 主要实验仪器介绍

## 一、生理学实验常用仪器

生理学仪器一般由四大部分组成，即刺激系统、探测系统、信号调节系统和记录系统。为使机体或离体组织细胞兴奋，需要给予刺激，常用的刺激装置为电子刺激器。当生理现象是电信号时，探测系统可以是引导电极，包括记录单细胞电活动的玻璃微电极以及记录群细胞电活动的金属电极。当生理现象为其他某种能量形式时，如机械收缩、压力和声音等，探测系统又可以是换能器。由于生物电信号较为微弱，信号调节系统则是一种放大器或放大器的组合。经典实验中各式各样的杠杆和传动装置也起着信号调节作用。记录系统通常使用示波器或记录仪。图 1-1 表示这些仪器的配置。随着计算机技术在生理学实验中的应用，计算机生物信号采集处理系统已替代传统的刺激器、生物信号放大器、示波器和记录仪，该系统是应用大规模集成电路和计算机硬件和软件技术开发的一种集生物信号的放大、采集、显示、处理、储存和分析的机电一体化仪器，可一机多用，功能强大，被广泛用于生理学实验的生物信号检测、记录和分析。

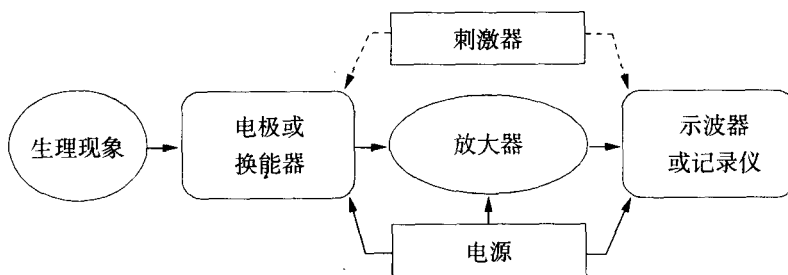


图 1-1 生理学常用仪器的配置

### (一) 刺激系统

#### 1. 锌铜弓

将一个锌片和一个铜片的一端相连接，而另一端分离所制成的弓状或镊子状刺激用具称为锌铜弓（图 1-2）。当将其游离端浸在电解质溶液中时，锌片表面形成内负外正的双电层，在铜片表面形成内正外负的双电层。在锌与铜接触部，电流按铜→锌方向流动，而在溶液中电流方向为锌→铜。锌铜弓的两游离端接触表面湿润的神经或肌肉组织

时，电流便沿锌→组织→铜的方向流动，在阴极下（铜片处）引起一次组织兴奋；当移开的瞬间，在阳极下（锌片）又引起一次组织兴奋。由于神经兴奋的电刺激阈值甚小，而锌铜弓接触组织时产生的电流强度较大，足以构成对神经肌肉的有效电刺激，因此，锌铜弓常被用做检验神经肌肉标本兴奋性的简便刺激装置。使用时，用任氏液湿润，其间不可夹有很多溶液，以免短路。

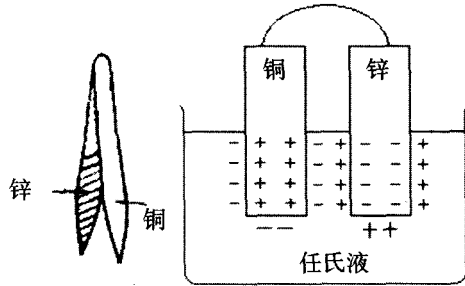


图 1-2 锌铜弓及其电极电位的产生

## 2. 电子刺激器

电子刺激器是一种能产生一定波形的电脉冲仪，其发出的电脉冲可以引起组织兴奋。所产生的波形大致有方波、正弦波和锯齿形波。其中最常用的是方波。由于电刺激在刺激强度、刺激持续时间和刺激频率方面均易精确控制，故生理实验中常用电脉冲作为刺激。在使用刺激器时，刺激器接地要良好，刺激输出线不能短路，刺激强度不可过大。

刺激强度是指方波幅度，可用电压或电流强度表示。电流强度一般从几  $\mu\text{A}$  至几十  $\text{mA}$ ，电压可在  $200\text{V}$  以内，刺激强度过小，不能使细胞膜静息电位降低于阈电位而引起细胞兴奋；强度过大，可引起组织内电解和热效应而使其损伤和破坏。刺激持续时间是指方波的持续时间，一般刺激器的持续时间从几十微秒至数秒。采用单向方波刺激时，刺激时间不宜过长，否则将产生损伤效应。为了减少引起组织损伤，应尽量缩短刺激时间，并采用正负双向方波刺激；还可调节刺激频率以产生连续刺激，刺激频率是刺激方波的重复频率，一般少于  $1000$  次/ $\text{s}$ 。如刺激频率过高时，可能有一部分刺激会落于组织的不应期而无反应，使刺激与生理效应不能同步。刺激频率的选择随被刺激组织的不同而变化。一般认为，在生理学实验中，刺激频率以  $60\sim 100$  次/ $\text{s}$  为佳。

### (二) 探测系统

生物信号可分为电信号和非电信号两大类。电信号是指神经、肌肉等组织兴奋时其生理过程所伴随着电变化。通过电极就可以将其电变化引导出来，一般常用的有金属电极和玻璃微电极。而非电信号则是指生物体机能活动中，表现出来的呼吸、体温、血压等许多生理活动的信息，若要将其引导出来，必须通过换能装置将非电量的变化转变为电量变化，然后经过放大，才能加以显示或记录。



## 1. 测量电极

①金属电极：金属电极可用银、铂、不锈钢等金属制作而成。金属电极的外形，可以是针状、杆状或片状，也可以制成单极、双极和多极等类型。在运动生理学中，常用来测量肌电。

②玻璃微电极：玻璃微电极是由一根尖端外径1微米左右的锥形微玻管中灌充能导电的溶液（通常用3mol/L氯化钾溶液）而制成。玻璃微电极可做细胞外记录，如记录神经元的单位放电；也可做细胞内记录，如记录细胞的膜电位和动作电位。它广泛应用于神经细胞、骨骼肌细胞和心肌细胞等的研究。

## 2. 换能器（也称传感器）

在生理实验中，有一些非电物理量（如张力、压力、声音等）需要转变为电流、电压等电信号才能进行测试分析。换能器就是一种能将机械能、化学能、光能等非电量形式的能量转换为电能的器件或装置，并线性相关。在生物医学上，换能器能将人体及动物机体各系统、器官、组织直至细胞水平及分子水平的生理功能或病理变化所产生的如生物电、血压、血流量、体温、呼吸流量、脉搏、渗透压等一些非电物理量转换为电信号后，经过放大器放大，然后可传送给示波器、记录仪等电子测量仪器进行测量、显示和记录。也可经过计算机采样，将模拟信号转变为数字信号，并进行数据存储、处理等。生理实验中常用的换能器有张力换能器、压力换能器、呼吸换能器、脉搏换能器和心音换能器等。

### ①张力换能器

张力传感器一般采用弹性较好的金属弹性悬臂梁（可根据机械力的大小，选用不同厚度的弹性金属，即张力换能器有不同的量程）。两组应变片分别贴在悬梁臂的两侧。两组应变片和一个可变电位器以及电源组成惠斯登电桥。实验时根据测量方向，将换能器固定在合适的支架上（采用微调固定器），肌肉悬挂在梁臂的头端，然后将换能器的输出与记录仪（或生物信号采集处理系统）相接。接通电源后，先调记录仪放大部分的零平衡，描笔应在记录仪的中间，否则转动换能器的调零电位器。当肌肉收缩力作用于弹性梁使其轻微移位时，一组应变片的电阻丝被拉长，阻值增加，而另一组应变片的电阻丝缩短，阻值减少；肌肉的牵拉，改变了桥臂的电阻值，电桥失去平衡，产生电位差，即有电流输出，此电流经过记录仪的放大和记录，就能绘出肌肉收缩变化的过程。

张力传感器在使用时，要注意不能用手牵拉弹性梁和超量加载。张力换能器的弹性悬臂梁其屈服极限为规定量程的2~3倍，如超量加载，弹性悬臂梁将不能恢复其形状，换能器被损坏。也要防止水进入换能器内部，以免造成电路短路，损坏换能器。此外，换能器调零时，不得用力过大。换能器初次与记录仪等配合使用时，需要定标。

### ②压力换能器

压力换能器是将压力的变化转换成电能形式的一种换能器。原理与张力换能器一样，利用压力换能器可测量血压变化。压力传感器的应变片贴在一个弹性扁管上。传感器的头端有两个突出的小孔，其中一个接血管导管，为压力传送小孔；另一个为排气小孔。透明的封闭罩内充满了液态石蜡油。封闭罩内的残气排尽后排气小孔关闭。当压力