

BIN

病理生理学实验

主 编 李淑莲 郑 红
副主编 林 波 孙晓娟 张 静

GLIXUE SHIYAN

 河南大学出版社
HENAN UNIVERSITY PRESS

BINGLI SHENGLIXUE SHIYAN

病理生理学实验

主 编 李淑莲 郑 红

副主编 林 波 孙晓娟 张 静

河南大学出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

病理生理学实验/李淑莲,郑红主编. —郑州:河南大学出版社,2016. 12

ISBN 978-7-5649-2648-9

I. ①病… II. ①李… ②郑… III. ①病理生理学—实验—医学院校—教材
IV. ①R363-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 316796 号

责任编辑 张雪彩

责任校对 王 贝

封面设计 郭 灿

出版发行 河南大学出版社

地址:郑州市郑东新区商务外环中华大厦 2401 号 邮编:450046

电话:0371-86059752(高等教育与职业教育出版分社)

0371-86059701(营销部)

网址:www. hupress. com

排 版 郑州市今日文教印制有限公司

印 刷 开封智圣印务有限公司

版 次 2017 年 4 月第 1 版

印 次 2017 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 13.5

字 数 288 千字

定 价 30.00 元

(本书如有印装质量问题,请与河南大学出版社营销部联系调换)

前 言

病理生理学(pathophysiology)是一门重要的医学基础学科,实验教学是病理生理学教学任务的重要部分,实验教学除了验证课堂讲授知识,加深学生对理论知识的理解外,更主要的是培养学生的思维能力、创新能力、动手能力、实践能力和表达能力,加强对学生综合素质的培养。

随着医学的飞速发展,病理生理学常用实验仪器、实验设备不断更新,实验方法不断改进,原有病理生理学实验教材内容已明显滞后于现代教学的需求。为了适应现代医学的发展,我们结合本校医学机能实验设备条件,编写了该病理生理学实验教材。本教材共分九章,分别为绪论、病理生理学实验报告、常用实验仪器、常用手术器械、常用试剂及其配制、常用实验动物、动物实验的基本操作及标本采集、病理生理学基础实验、创新性实验。教材中的基础实验项目能满足现代医学教育对本科生培养的实验要求,创新性实验虽有一定难度,但对学生今后的科研发展有一定的帮助。本教材适合临床医学、口腔医学、护理学、药学等专业的本科学生使用,也可作为相关专业硕士生以及教师的参考用书。

本教材编写人员均为富有实验教学经验的一线教师,全书稿件虽经多次讨论、修改,但是受学术水平限制,不足之处在所难免,希望广大教师及同学在使用过程中提出批评和建议。

编 者

2016年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 病理生理学实验概述	(1)
第二节 病理生理学实验的类型及观察指标	(2)
第三节 病理生理学实验的基本要求	(4)
第二章 病理生理学实验报告	(6)
第一节 实验数据的采集	(6)
第二节 实验结果的整理	(8)
第三节 实验报告的写作	(9)
第三章 常用实验仪器	(11)
第一节 换能器	(11)
第二节 血气分析仪	(12)
第三节 BL-420F 生物机能实验系统	(15)
第四章 常用手术器械	(29)
第一节 蛙类手术器械	(29)
第二节 哺乳类手术器械	(30)
第五章 常用试剂及其配制	(33)
第一节 麻醉药	(33)
第二节 常用生理溶液	(35)
第三节 常用血液抗凝剂	(36)
第六章 常用实验动物	(37)
第一节 常用实验动物的种类	(37)
第二节 实验动物的编号及性别鉴别	(39)
第三节 实验动物的捉持和固定方法	(40)
第四节 实验动物的给药途径和方法	(43)
第五节 实验动物的麻醉	(46)

第七章 动物实验的基本操作及标本采集	(48)
第一节 急性动物实验的基本操作技术	(48)
第二节 实验标本的采集方法	(55)
第八章 病理生理学基础实验	(58)
实验一 急性高钾血症及其抢救	(58)
实验二 实验性肺水肿	(61)
实验三 氯气中毒性肺水肿	(63)
实验四 血管壁通透性改变在水肿发生中的作用	(65)
实验五 家兔酸碱平衡紊乱	(66)
实验六 实验性缺氧及救治	(68)
实验七 家兔失血性休克及其实验性治疗	(71)
实验八 实验性感染性休克	(74)
实验九 家兔实验性弥散性血管内凝血(DIC)	(76)
实验十 内毒素性发热	(78)
实验十一 心肌缺血-再灌注损伤及其治疗	(80)
实验十二 肠缺血-再灌注损伤	(82)
实验十三 急性右心衰竭	(85)
实验十四 急性左心衰竭	(87)
实验十五 急性呼吸衰竭	(89)
实验十六 氨在肝性脑病发病机理中的作用	(92)
实验十七 正常肾功能调节及急性缺血性肾功能不全	(96)
实验十八 急性中毒性肾功能不全	(98)
第九章 创新性实验	(103)
第一节 科学研究的基本程序	(103)
第二节 实验设计	(105)
第三节 设计性实验的程序与实施	(109)
第四节 常用的实验设计方法	(110)
附录 病理生理学练习题	(112)
参考文献	(210)

第一章 绪论

第一节 病理生理学实验概述

病理生理学(pathophysiology)是研究疾病发生、发展和转归规律的科学,其基本任务是探讨患病机体的功能、代谢变化及其机制(mechanism),为防治疾病提供理论依据。病理生理学既是一门医学基础理论学科,又是一门实验性学科。实践技能是医学生自学能力、逻辑思维能力、计划和实施能力、实践操作能力、语言和书面表达能力的综合,实验是现代医学发展的重要条件和手段之一。病理生理学实验是学生在学习了生理、生化的基本理论,掌握了实验的常用仪器设备和基本技能的基础上,进行的综合性动物实验,即通过进行较复杂的、多指标的、难度较大的实验,进一步强化实验操作,掌握疾病模型的复制和观察方法,对实验结果进行科学分析、逻辑推理,最后得出恰如其分的结论。在综合性实验的基础上,安排探索性实验,由学生自选题目,设计实验方案并实施实验,以小论文形式写出实验报告,最后进行论文答辩,以培养学生的思维能力、创新能力、动手能力、实践能力和表达能力,加强对学生综合素质的培养。

学习病理生理学实验,掌握疾病模型复制的方法和基本规律,对于训练医学生观察疾病时机体功能代谢的变化,培养其科学的思维方法十分重要,这些知识、技能和基本素质,也是学习后续临床课程、防治疾病和从事医学科学研究的坚实基础。

通过学习病理生理学实验,学生们不仅能掌握基本的常用实验操作技术、正确使用仪器的方法,还能通过对各种动物病理模型的复制、治疗等,将生理、药理、病理生理等知识融会贯通。通过探索性实验,培养学生的实验设计和结果统计分析能力、独立解决问题的能力、书面表达能力和团结协作能力,提高学生学习的主动性和创造性,培养学生的创新意识与开拓精神,为全面提高学生的综合素质打下坚实的基础。

病理生理学实验教学除了验证课堂讲授的部分理论,加深学生对理论知识的理解和使学生掌握一定的实验技能之外,更主要的是培养学生严格、严谨、科学的实验研究态度与逻辑思维方法。病理生理学实验课要求达到以下目的:

(1) 使学生掌握动物疾病模型复制的基本方法和实验的基本操作技能,掌握机

能指标的获取方法及常用仪器的正确使用方法。

(2) 使学生学会观察、记录实验数据,分析实验结果和书写实验报告,培养学生灵活运用理论知识分析、解决实际问题的能力。

(3) 培养学生基本的科研素质,即严肃的科学态度、严谨的科学作风和严密的科学思维,严格要求,实事求是。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。

(4) 使学生初步掌握实验设计的技能,开发和培养学生的科学思维 and 创新能力,为其后续医学课程的学习打下坚实的基础。

第二节 病理生理学实验的类型及观察指标

病理生理学实验课常以动物模型为主要实验对象。

一、动物模型的复制

动物模型的复制是病理生理学动物实验的主要研究方法。在严格控制各种条件的前提下,在动物身上复制与人类基本相同的疾病模型,探索疾病发生发展的原因、条件、机制和规律,观察实验性治疗的疗效,并阐明疗效的机制。

虽然能够严格控制动物实验的实验条件,能按实验者的目的进行客观的定量分析,但是动物和人有质的区别,动物实验所得的结论必须经受临床实践的审慎检验,这样才能判定这些来自动物实验的结论在多大程度上适用于分析人类的疾病。动物实验不能代替临床观察和临床研究,将临床研究和动物实验结合起来,可起到相互补充、相互促进的作用,能使人们对疾病的本质有更加完整的认识。

二、动物实验的种类

动物实验根据实验的性质主要可分为急性实验和慢性实验两类。

1. 急性实验

特点:在短时间内完成,适用于某些急性疾病过程的研究,在教学实验中比较常用。

类型:

① 整体实验:常在麻醉的情况下施行手术,动脉、静脉、气管插管后,观察相应生命指标,施以致病因素后,分析机能代谢变化,或检测血液、尿液的变化。

② 离体实验:从活的或刚死去的动物体内取下能观察的组织或器官,在人工创造的体外环境中,使之保持生理功能,施加致病刺激或治疗,进行实验观察。如,摘取动物的心脏进行体外灌流,观察缺血/再灌注损伤等。在离体实验中可以随意控制实

验条件,排除其他因素的干扰,有针对性地观察某种条件对实验对象的影响,但难以观察完整机体的疾病活动规律。

优点:

- ① 实验条件比较简单,易于开展。
- ② 无须严格的无菌操作,较为方便。
- ③ 对实验对象的功能可进行直接观察和细致分析。

缺点:

- ① 时间短,观察欠全面,仅适用于病程较短的疾病或观察疾病过程中某一阶段的变化。
- ② 麻醉、手术创伤等使机体脱离正常状态,可影响实验结果,故需要慢性实验或临床研究加以校正。

2. 慢性实验

先给以致病因素或在无菌条件下施行手术,待动物逐渐致病或手术创伤愈合后再进行实验观察。动物的状况比较接近自然生活条件,能够对其进行较长期的连续观察,可对病程中的机能、代谢变化进行综合性研究,获得比较系统的实验资料,便于揭露疾病过程中整个生命活动的变化。

在医学科学研究中,急性实验和慢性实验常常起到相辅相成的作用,应根据研究目的和对象,选择合适的实验研究类型。

三、实验观察指标

根据指标的性质和观察内容的属性范围,实验观察指标主要分为下列三种。

1. 机能性指标

以机体的整体功能或某一器官功能为主,设立实验观察项目,并进行定量、定性分析,包括血压、呼吸、心率、体温、心电图、脑电图、全身一般状态等。

2. 代谢性指标

代谢性指标指用生物化学或临床检测手段,检测体内某些代谢产物、体液因子或某些成分的含量,包括血液、尿液中肌酐浓度,血浆纤维蛋白原,凝血因子,血浆酸碱参数, PO_2 , PCO_2 , Na^+ , K^+ , Cl^- , 血液中血细胞等。

3. 形态学指标

观察器官、细胞的形态改变特征,可以用肉眼观察描述,也可借助显微镜描述其微细结构。例如,肉眼观察心腔扩张、肺水肿、下肢水肿等,在显微镜下观察肺水肿、汞中毒性肾病的微细病变,休克时的微循环变化等。

上述三类指标具有内在联系,应全面观察,综合判断。单项观察指标比较局限,常常很难全面说明问题。

第三节 病理生理学实验的基本要求

一、课前准备

(1) 主动预习实验。学会课前预习实验指导,通过仔细阅读实验教材,了解本次实验的目的,充分理解实验原理,熟悉实验基本内容、实验方法和操作步骤,尤其要注意实验的“注意事项”,避免实验中出现忙乱和差错。

(2) 复习有关理论。实验前结合实验内容,复习有关的理论知识,充分理解实验的设计原理和意义。

(3) 预测实验结果。根据实验项目,预测各个步骤应得的结果,并尝试用已知的理论知识对其加以解释;预测实验中可能会发生的问题,并思考应对办法。

(4) 认真书写预习报告。

(5) 估计实验中可能产生的误差,并制定防止的措施。

二、实验期间

1. 遵守制度,注意节约

将实验器材摆放整齐,保持清洁,有条不紊;公用试剂、仪器设备用后放回指定位置,以免影响他人做实验;保持实验室安静,禁止进行与实验无关的操作;注意爱护实验器材、实验动物及标本,节约消耗性器材和药品。每一小组的器械和药品由组长领取(注意清点数目)。

2. 正确、规范操作

认真听取指导教师的讲解,注意观察示教操作的演示;按操作规程正确使用仪器和器材,如计算机及打印机等外设的电源开、关顺序,实验程序的进入和退出等,以避免损坏设备;注意及时储存实验结果文件和输入有特征的文件名,以防止丢失和方便查找;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。

3. 积极动手,密切配合

小组中各成员应积极参与实验,根据不同的实验项目,轮流担任不同的角色,以得到全面锻炼;在比较复杂的实验中应明确分工、积极配合,以保证实验的顺利进行。

4. 仔细观测,科学分析

按照实验步骤,以严肃认真的态度进行独立实验操作,仔细、耐心地观察实验过程中出现的现象,及时在实验记录上做好标记,如实地记录实验结果,并联系理论课讲授的内容进行思考。如:发生了什么现象,为什么出现此种现象,这些现象有什么生理意义等。对实验过程中遇到的每一个问题及实验结果都须正确对待和科学分

析,切忌伪造实验结果。实验的成功与否与实验者的操作、仪器的使用、动物的机能状态、药品剂量和实验方法等都密切相关,因而要严格按照实验要求规范操作。实验过程中若出现问题,要先自己想办法予以解决,解决不了时,应及时向指导教师汇报情况,请求给予帮助。

5. 讲究卫生,重视环保

实验过程中用过的腐蚀性试剂,特别是废弃的强酸、碱,应将其倒入指定的容器内,严禁倒入水池中,以防损坏、腐蚀下水道造成污染;剪掉的动物被毛,丢弃的动物器官及组织等,应放入垃圾桶,严禁弃入水池,以免堵塞下水道;对于放射性污染物,应严格按照规定要求放置,避免造成大范围污染。

三、实验结束

1. 整理实验用具

整理实验仪器,按操作顺序关闭所用实验仪器和外围设备的电源开关,罩好仪器防尘罩。将存活动物和死亡动物分置于指定场所。清洁实验台面,清除血迹和污渍,将器材按实验前的位置摆放整齐。清洗实验器械,并整理清点,由组长负责交还技术组老师。如有损坏或缺失应及时报告实验技术人员或指导教师。

2. 轮流值日制度

值日生负责打扫实验室卫生,包括清扫地面和走廊,整理讲台、黑板,关闭室内水、电开关和门窗,倒掉垃圾;经指导教师检查合格,在实验室工作日志上签名后方可离开。

3. 整理实验结果,完成实验报告

认真整理、分析、讨论实验结果,对于没有达到预期结果的项目,要及时分析其原因。在认真整理实验记录的基础上,结合有关理论内容讨论和研究实验现象、实验过程及实验结果,得出结论,按要求书写实验报告,并按时送交指导教师评阅。

(李淑莲)

第二章 病理生理学实验报告

实验报告是对实验的全面总结,是综合评定实验课成绩的重要依据之一。实验报告的书写也是一项重要的基本技能训练,是今后撰写科学论文的初始演练。

第一节 实验数据的采集

通过实验研究所做出的结论是以实验数据和结果分析为依据的。因此,数据的采集也就成为研究过程的关键环节之一。很多研究误差都是在数据采集的过程中引入的。完整、准确、客观的实验数据是高质量的实验研究的前提。所以,实验研究人员应特别重视实验数据采集的每一个细节。

一、常用观察指标

生物体进行生命活动时发出多种多样的生物信息。通过一定的方法可以引导出这些信息,这些信息经进一步放大处理后可用于显示或反映生物体的功能变化。这些信息便是机能学实验了解、研究生物功能的各种观察指标,主要包括以下几种。

1. 电生理指标

电生理指标来源于对生物电信号的采集与处理。常见的生物电信号包括神经干动作电位、神经放电、诱发电位、心电、脑电、肌电、胃肠电等。生物电信号须经过专门的仪器采集、放大后方可记录观察。

2. 普通生理指标

普通生理指标主要指伴随生命活动的一些机械信号,用传统的方法即可观察,采集时相对比较容易,包括以下几种。

(1) 压力信号:如血压、胸内压、中心静脉压等。

(2) 张力信号:如肌肉张力、肠管张力、呼吸运动、蛙心搏动等。压力信号和张力信号均可经相应的换能器转变成电信号。

(3) 流量信号:如尿量、消化液分泌量的测定,一般采用计滴的方法。

3. 其他指标

其他指标主要包括:生化指标,如血糖浓度、体液 pH、尿钠含量等;形态学指标,

如微血管口径、红细胞计数等;行为指标,如屈反射等。

随着研究的进步,实验观察指标的种类和精度都会不断增加、提高,只要是能反映生物体功能变化的观察数据,都可以成为病理生理学实验的观察指标。

二、实验数据的分类与度量

实验数据的度量方式因数据的性质、类别及要求的精度不同而有所差异。我们一般将实验数据分为定量资料和定性资料两大类,每个大类又包含了不同的精度和类别等级。对不同类型的资料应采取不同的度量与处理方法。

1. 定量资料

定量资料又称计量资料,是指以具体数值为表达方式的资料,一般有相应的测量单位,是度量的最高级形式。如测量体重(kg)、动脉血压(mmHg 或 kPa)、心率(次/min)所获得的具体数据,即为定量资料。使用时要注意使用标准单位和恰当的精度。

2. 定性资料

定性资料又称等级资料,是指将研究对象按某种属性进行归类记录的资料。如男性或女性,细菌培养结果的阳性或阴性,生理功能的兴奋或抑制等。等级资料根据各分类之间是否存在大小多少的排序特征,又可分为有序分类资料和无序分类资料两种。

(1) 有序分类资料:各类之间有程度的差别,又称半定量资料。例如,进行血清学检查时,抗体的滴度可以分为-、 $\pm$ 、+、++、+++、++++等;观察某种药物的疗效时,可将其分为治愈、显效、好转、无效等级别。

(2) 无序分类资料:各类之间无程度的差别,无法进行优劣比较。包括:二项分类,如检测红细胞有无凝集,结果可以有凝集或无凝集;多项分类,如血型,结果可以是A型、B型、AB型、O型。定性资料所获得的测量结果以每一类别的样本数来表达时,也称为计数资料。例如,对1000名新入学的学生进行血型调查,结果可能是A型血308人,B型血292人,AB型血90人,O型血310人。

在统计分析中,习惯将资料分为计量资料、等级资料和计数资料三种类型,对应于本分类方法分别相当于定量资料、有序分类资料和无序分类资料。根据分析的需要,各类资料的属性可以相互转化。

三、实验数据的评价

实验中获得的原始实验数据是后续分析的基础和得出科学结论的依据,因此实验数据的质量直接影响到研究结果的科学性和可靠性。对数据质量的评价一般有三个方面,即数据的完整性、准确性和精确性。

(1) 数据的完整性是指按照实验设计要求收集所有的实验数据。另一层含义是应将所有实验数据用于分析过程,不得因某些数据与研究者预期的结果有较大差距

而随意删除,或不引入分析过程,即不能任意删除实验数据。

(2) 数据的准确性是指数据是否准确可靠、记录无误,能否真实地反映实验的客观事实。注意克服两方面的误差:由实验仪器或方法所造成的误差,即系统误差;在数据收集过程中出现的过失误差,即人为误差。

(3) 数据的精确性是指测量数据的精度,即保留多少位有效数字更适合该测量数据。

第二节 实验结果的整理

整理实验结果就是对实验所观察到的现象和所获取的数据进行分析、归纳、综合,并找出其规律的过程。通过整理可以进一步明确已经取得的成绩,并训练自己分析、判断问题的能力,同时为写报告做好准备。

实验结果是实验报告中最重要的部分,应将实验过程中所观察到的现象忠实、正确、全面、详细地加以记述。有曲线记录的实验,应尽量用原始曲线表示实验结果,以保证结果的真实性。

实验报告中常用的实验结果表达方式有以下几种。

1. 描述法

描述法是用文字将观察到的有关现象客观地加以描述。描述时需要有时间概念和顺序。凡属于定量的资料,例如高低、长短、快慢、轻重、多少等,均应用正确的计量单位及数值表达。必要时可进行统计学处理,以保证结论的可靠性。不能简单、笼统地描述,如心跳的变化不能只写心跳“加快”或“减慢”,而要写出心跳加快或减慢的具体数值。

2. 波形法

波形法指将实验中描记的波形或曲线,经过编辑,剪贴在实验报告纸上,以显示实验结果。如记录到的呼吸、血压、肌肉收缩曲线等。曲线上应有刺激记号、时间记号并加以必要的标注或文字说明。此外,还要就曲线频率、节律、幅度和基线做出定量分析。

3. 表格法和简图法

对计量或计数资料也可用列表或画图的方式表示,使结果更简明、突出,便于比较分析。制表时,一般将观察项目列在表内左侧,由上而下逐项填写,实验结果等则按顺序由左而右填写。绘图时,应在坐标上标明数字和单位。一般以横坐标表示各种刺激条件,纵坐标表示发生的各种反应,并在图的下方标注实验条件。

第三节 实验报告的写作

实验报告的内容可按每个实验的具体要求来写,但是基本内容应包括:一般项目、实验序号和题目、实验目的、实验对象、实验方法和步骤、实验结果、实验讨论和实验结论。要注意语句简练、通顺,条理清晰,观点明确,字迹要清楚、整洁。

实验报告的具体要求如下:

(1) 一般项目:姓名、班级、组别、学号、日期、室温、合作者、指导教师等。

(2) 实验序号和题目。

(3) 实验目的。

(4) 实验对象。若为动物,要写明种属、性别和体重。

(5) 实验方法和步骤。对实验指导书中已有的部分可简写,若实验操作改动较大,应详加记述。

(6) 实验结果。实验结果是实验报告中最重要的一部分。应将实验过程中所观察到的现象真实、正确、全面、详细地记述下来。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,否则容易发生错误或遗漏。可根据不同情况正确选用上述的不同方法(描述法、波形法、表格法和简图法)。有曲线记录的实验,应尽量用原始曲线表示实验结果,以保证结果的真实性。

(7) 实验讨论。实验讨论是围绕实验目的,根据已知的理论知识,通过分析和思考,对实验中出现的现象及结果做出客观、深入的解释和概括,分析实验结果的生理意义或病理变化。如果出现非预期结果,应分析其可能原因。在讨论实验结果时,要理论联系实际,从现象中找出规律,可以提出并论证自己的观点,重点要从实验结果中归纳出所验证理论的概念和原理。

(8) 实验结论。实验结论是从实验结果中归纳出的一般性、概括性的判断,也就是对该实验所能验证的概念或理论的简明总结。结论应简明扼要、切合实际,不应罗列和重复具体的结果,在实验中没有得到充分证明的问题不应写入结论中。

实验讨论和结论的书写是富有创造性的工作,应该严肃认真,不应盲目抄袭书本和他人的实验报告。可适当开展同学间的讨论,加深对实验的理解。

【附】

实验报告的基本格式

姓名 _____ 学号 _____ 日期 _____

年级 _____ 专业 _____ 班级 _____

实验序号和题目 _____

实验目的

实验对象

实验方法和步骤

实验结果

实验讨论 (详细书写)

实验结论

(郑 红)

第三章 常用实验仪器

第一节 换能器

换能器(传感器)是用来将机体机能活动的信息转换成与之有确定函数关系的电信号的变换装置。它是医学仪器中与机体进行直接耦合的环节,其功能是把机体的生理信息拾取出来,以便进一步实现传输、处理和显示。通过换能器可把机能学实验中一些机械力或容量的变化转换成电能(电流或电压),以便将此电能输入不同仪器加以处理,对其代表的机能变化做深入分析。

常用的换能器有以下两类(如图 3-1 所示)。

1. 张力换能器

张力换能器主要用于记录骨骼肌、心肌、平滑肌等组织的收缩曲线。它可以把张力信号转换成电信号,再经放大器将转换的电信号放大后观察或记录。

2. 压力换能器

压力换能器主要用来测量血压、胸腔内压、心内压、颅内压、胃肠内压和眼内压等。它可以把压力的变化转化为电阻率的变化,电信号的大小与外加压力的大小线性相关。



张力换能器



压力换能器

图 3-1 换能器的主要类型

换能器使用注意事项:

(1) 张力换能器的应变元件非常精细,使用时要特别小心,实验时不能用力牵拉