

能力培养型生物学基础课系列实验教材

人体解剖生理学实验教程



艾洪滨 主编

RENTIJIEPOU
SHENGLIXUE
SHIYAN
JIAOCHENG



科学出版社

www.sciencep.com

能力培养型生物学基础课系列实验教材

人体解剖生理学 实 验 教 程

艾洪滨 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书在内容的编排上进行了新的尝试:分为三部分,第一部分为基础性实验,包括基本组织、生物电、运动系统、神经系统、感觉器官、血液、循环系统、呼吸系统、消化系统、泌尿生殖系统、内分泌系统等的基本实验,还介绍了生理学的常用实验仪器、动物实验的基本知识等,便于学生在实验过程中查阅;第二部分为综合性实验,这部分实验主要培养学生综合分析问题和解决问题的能力;第三部分为研究性实验,每一个实验都配有简要提示。本书充实了编者多年的教学经验和科研成果,尤其在实验的基本原理、思考题栏目增添了新的内容,部分实验还采用了编者的实验结果,这是本书的一大特色。

本书主要供师范院校生物科学专业人体解剖生理学实验课使用,也可供综合性大学、医学院校、农学院校、体育院校及其他高校公共选修实验课使用。

图书在版编目(CIP)数据

人体解剖生理学实验教程 / 艾洪滨主编. —北京: 科学出版社, 2004

能力培养型生物学基础课系列实验教材

ISBN 7-03-013948-8

I. 解... II. 艾... III. 人体解剖学: 人体生理学-师范大学-教材 IV. R324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 072617 号

责任编辑: 陈 露 / 责任校对: 连秉亮

责任印制: 刘 学 / 封面设计: 一 明

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2004 年 8 月第一次印刷 印张: 13 $\frac{3}{4}$

印数: 1—3200 字数: 260 000

定价: 21.00 元

能力培养型生物学基础课系列实验教材编委会

主任委员：安利国（山东师范大学）

副主任委员：刘家尧（曲阜师范大学）

孙虎山（烟台师范学院）

郭善利（聊城大学）

委员：（按姓氏笔画为序）

付荣恕（山东师范大学）

艾洪滨（山东师范大学）

刘 箭（山东师范大学）

刘林德（烟台师范学院）

刘家尧（曲阜师范大学）

孙虎山（烟台师范学院）

安利国（山东师范大学）

杨 革（曲阜师范大学）

侯福林（山东师范大学）

赵遵田（山东师范大学）

郭善利（聊城大学）

《人体解剖生理学实验教程》编写人员

主 编：艾洪滨

副主编：闵凡信 徐金会 孙海基

编 者：(按姓氏笔画为序)

艾洪滨 孙海基 闵凡信 邱 军

吴玉厚 张红梅 李言秋 辛晓林

徐金会 崔希云 楚德昌

出版说明

生物科学是一门实验性学科,实验教学在其专业课学习中占有十分重要的地位,动手能力、综合分析能力和创新能力的培养主要依靠实验教学来完成。

受传统教育思想的影响,几十年来我国高等师范院校生物科学专业的实验教学以学科知识为体系,从属于理论教学,以验证理论知识和学习实验技术为主要目的,忽视了能力的培养,扼杀了学生的创新欲望。实验内容繁琐,存在大量低水平的重复,远远不能适应创新型人才培养的要求。

近年来,随着创新人才教育的开展,能力培养已引起国家和学校的普遍重视。高教部下发的《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》中特别强调“进一步加强实践教学,注重学生创新精神和实践能力的培养”,其中指出:“实践教学对于提高学生的综合素质、培养学生的创新精神与实践能力具有特殊作用。高等学校要重视本科教学的实验环节,保证实验课的开出率达到本科教学合格评估标准,并开出一批综合性、设计性实验。”但是,与此相适应的教材却很少,尤其是针对生物科学基础实验的系列教材未见出版。本套能力培养型实验教材就是适应我国高等教育创新性人才培养的需要而编写的。

本套教材将实验分为基础性实验、综合性实验和研究性实验三种类型。

基础性实验是经过精选的最基本的、最代表学科特点的实验方法和技术,通过学习使学生掌握相应学科的基本知识与基本技能,为综合性实验奠定基础。

综合性实验由多种实验手段与技术和多层次的实验内容所组成,要求学生独立完成预习报告、试剂配制、仪器安装与调试、实验记录、数据处理和总结报告。综合性实验主要训练学生对所学知识和实验技术的综合运用能力、对实验的独立工作能力、对实验结果的综合分析能力,为研究性实验的顺利开展做好准备。

研究性实验是在完成基础性实验和综合性实验的基础上,以相应学科的研究为主结合其他学科的知识与技术,由学生自己设计实验方案,开展科学研究,撰写课程研究论文,使学生得到科学研究的初步训练,为毕业论文研究工作的开展打下基础。部分优秀课程研究论文可进一步深化、充实,作为毕业论文参加答辩。

三种类型实验所占比例根据不同年级、不同课程而确定。低年级课程以基础性实验为主,基础性、综合性 and 研究性实验的比例为 7 : 2 : 1。随年级升高,逐渐增加综合性和研究性实验的比例,基础性、综合性和研究性实验的比例达到 5 :

3:2。

本套教材试图从下述几个方面有所突破和创新:

1. 以能力培养为核心,通过综合性实验和研究性实验的开设,启发学生思维,引导学生创新。

2. 本套教材是我国高校第一套生物科学基础实验课系列性教材,在编委会的统一领导下完成,避免了低层次重复,体现了实验内容的系统性。

3. 本套教材特别强调实用性和可操作性,实验内容在编写单位已经经过了2~3遍的试用。

4. 本套教材充分体现先进性,尽可能反映生命科学的最新进展。

5. 每本教材都附有实验报告和研究论文范文,为学生提供了实验报告的规范性样板,对培养学生严谨、仔细的学风具有一定的指导作用。

6. 本套教材已着手制作电子光盘版,使之成为立体化教材。多数实验将配有录像和多媒体课件,用于实验之前播放,指导学生的实验操作。

尽管各位主编和编委已经尽了最大努力,但是,由于编者水平所限,肯定会有不少的错误,恳请各位同仁不吝赐教,以便再版时减少谬误。

本套教材得到国家教育部《面向二十一世纪,我国生物教育专业的培养目标、培养方案和课程体系的研究》和山东省高校生物科学(师范类)改革试点专业专项经费的资助,承蒙山东师范大学和科学出版社的领导与老师的大力支持,在此一并感谢。

安利国

2004年8月

前 言

根据教育部 1998 年公布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，将原来的生物学、生物化学(部分)、微生物学(部分)、生物学教育、生物科学与技术(部分)等专业改为生物科学专业，而师范类生物科学专业要求设置的主要课程有植物学、动物学和人体解剖生理学等。将原来所设的人体组织解剖学、人体及动物生理学合并成一门课，即人体解剖生理学。这是师范类生物科学专业形势发展的需要，也是课程设置的一次改革。

随着生命科学和计算机技术的不断发展，解剖生理学尤其是生理学从理论到实验也在不断地更新和发展，特别是实验结果的获得和处理方法得到了长足的进步。以生理实验记录仪为例，经历了从弹簧记纹鼓→电动记纹鼓→二道记录仪→微机生理信号记录系统。现在，计算机及其相关软件系统已在生理学实验中展现了极大的优越性。在这种情况下，过去根据记纹鼓、示波器、二道记录仪的应用为主来编写的生理学实验指导，显然已不能适应当前教学的需要，因此也迫切要求编写一本新的实验指导，作为师范类生物科学专业学生的教学用书。

教学的最主要目的是培养学生分析问题和解决问题的能力(包括实验动手能力)，根据这一宗旨，本实验指导在内容的编排上进行了新的尝试：分为三部分，第一部分为基础性实验，主要培养学生的基本实验技能，巩固并加深理解人体解剖生理学的基本概念、基本理论；第二部分为综合性实验，主要培养学生综合分析问题和解决问题的能力；第三部分为研究性实验，主要培养学生的创新能力，为做好毕业论文打下基础。

本书中充实了我们多年的教学经验和部分科研成果，尤其在实验的基本原理、思考题栏目增添了新内容，部分实验采用了我们自己的实验结果，这是本书的一大特色。本书编写过程中也参考了国内外同行的一些著作，各位编委共同齐心协力、按时交稿，山东师范大学生命科学学院人体及动物生理学 2001 级研究生王英红、2002 级研究生祝建平为本书提供了部分实验结果，在此一并表示谢意！

由于我们的水平有限，错误和缺点在所难免，希望使用本教材的师生们给以指正，以便我们今后修改。

编者
2003 年 8 月

目 录

出版说明

前言

第一部分 基础性实验

第一章 绪论	(1)
一、人体解剖生理学实验课的目的和要求	(1)
二、实验报告的写作要求	(2)
第二章 解剖生理学实验常用器械及溶液	(8)
第一节 常用实验仪器	(8)
一、刺激系统	(8)
二、记录与信息处理系统	(10)
三、BL-410 生物机能实验系统简介	(16)
第二节 手术器械	(29)
一、常用手术器械	(29)
二、其他手术器械	(31)
第三节 常用生理溶液的成分及配制	(33)
第三章 动物实验的基本知识	(35)
第一节 动物实验的基本操作技术	(35)
一、动物的选择	(35)
二、动物的抓取	(36)
三、动物的麻醉	(38)
四、动物的固定	(42)
五、动物的处死	(44)
第二节 常用实验动物的生理生化指标	(45)
一、家兔	(45)
二、犬	(47)
三、猫	(48)
四、大鼠	(50)

五、小鼠	(51)
六、豚鼠	(52)
七、蟾蜍	(53)
八、家鸽	(54)
第四章 基本组织	(56)
实验 1 观察四种基本组织	(56)
第五章 细胞的兴奋性与生物电现象	(61)
实验 2 坐骨神经-腓肠肌标本与坐骨神经标本的制备	(61)
实验 3 神经冲动传导速度与神经不应期的测定	(63)
第六章 运动系统	(67)
实验 4 人体骨与骨连结的观察	(67)
实验 5 骨骼肌的观察及骨骼肌的单收缩与强直收缩	(73)
第七章 神经系统	(77)
实验 6 脊髓与脊神经的形态结构观察	(77)
实验 7 反射时的测定、反射弧的分析及搔扒反射的观察	(83)
实验 8 脑干与脑神经的形态结构观察	(84)
实验 9 间脑、大脑、小脑的形态结构观察	(88)
实验 10 小白鼠一侧小脑损毁的效应	(95)
第八章 感觉器官	(97)
实验 11 眼球的形态结构观察	(97)
实验 12 视力、视野、盲点的测定及瞳孔对光反射	(100)
实验 13 耳的形态结构观察及声音的传导途径	(104)
第九章 血液	(108)
实验 14 红细胞生理特性的测定	(108)
实验 15 人 ABO 血型鉴定	(111)
第十章 循环系统	(114)
实验 16 心脏的形态结构观察	(114)
实验 17 血管的组织结构及其分布	(116)
实验 18 蟾蜍心室肌的期前收缩与代偿间歇	(120)
实验 19 蟾蜍肠系膜微循环的观察	(122)
实验 20 人体心音听诊及动脉血压的测定	(124)
实验 21 人体心电图的描记	(128)
第十一章 呼吸系统	(132)
实验 22 呼吸器官的形态结构观察	(132)
实验 23 人体肺通气功能的测定	(135)

实验 24 家兔呼吸运动的影响因素	(137)
第十二章 消化系统	(140)
实验 25 消化系统形态结构的观察	(140)
实验 26 家兔胃肠运动形式的观察	(150)
第十三章 泌尿生殖系统和内分泌系统	(152)
实验 27 泌尿系统的形态结构观察及猪肾脏的解剖	(152)
实验 28 生殖系统的形态结构观察及小鼠生殖周期的鉴定	(154)
实验 29 人和动物重要内分泌腺的形态结构观察	(159)

第二部分 综合性实验

实验 30 家兔颈部精细解剖	(161)
实验 31 脊髓背根和腹根的机能	(162)
实验 32 兔大脑皮层运动区的刺激效应及去大脑僵直	(164)
实验 33 中枢感觉、运动通路及脊髓半横切的结果	(166)
实验 34 蟾蜍离体心脏灌流	(168)
实验 35 影响家兔动脉血压、泌尿机能因素的观察	(174)
实验 36 家兔减压神经放电	(179)
实验 37 家兔膈神经放电	(181)
实验 38 离体小肠平滑肌的生理特性	(183)
实验 39 大鼠胃运动的记录方法	(185)
实验 40 家兔胆汁分泌的调节	(187)

第三部分 研究性实验

实验 41 比较蟾蜍与青蛙腓肠肌单收缩时程的差别	(191)
实验 42 观察葡萄糖、ATP 对骨骼肌收缩性的影响	(191)
实验 43 观察温度、高 K^+ 、低 Na^+ 对神经动作电位幅度和传导速度的影响	(191)
实验 44 根据用硫酸刺激蟾蜍下肢趾端皮肤引起下肢屈肌反射这一现象,设计实验证明:中枢内突触后神经元具有对突触前信息进行整合(综合)的能力	(192)
实验 45 观察某一因素(如从动、植物提取的生物活性物质、某种新药物、应激性刺激等)对心率、心室肌收缩力有何影响	(192)

实验 46	怎样证明心肌的绝对不应期较骨骼肌的绝对不应期长得多	(192)
实验 47	观察某一因素对动脉血压有何影响,主要影响收缩压还是舒张压	(192)
实验 48	观察某一因素对肠系膜微循环的影响	(192)
实验 49	设计实验证明哺乳动物胸膜腔内压为负压	(192)
实验 50	观察某一因素对小肠平滑肌的收缩特性有何影响	(192)
实验 51	观察某一因素对胃运动、胃酸分泌有何影响,分析其作用机制(是通过神经机制还是通过体液机制)	(193)
实验 52	证明 20%葡萄糖利尿的原理	(193)
实验 53	根据蟾蜍离体心脏灌流的原理,再根据哺乳类动物和两栖类动物心肌血液供应的特点,设计哺乳类动物离体心脏灌流的实验方法	(193)
实验 54	设计实验证明神经末梢是通过释放递质发挥对效应器的作用	(193)
实验 55	设计简易的测定小动物耗氧量的方法	(193)

附录

附录 1	切片标本的制作过程(石蜡切片法)	(194)
附录 2	尸体标本的制备	(195)
附录 3	骨骼标本的收集、处理和保存	(198)
附录 4	浸制解剖标本的涂色	(200)
附录 5	脑和脊髓厚片染色标本的制作	(202)
附录 6	铸型标本的制作	(203)

参考文献	(207)
------	-------

第一部分

基础性实验

第一章 绪 论

一、人体解剖生理学实验课的目的和要求

人体解剖生理学是生物科学专业的一门重要基础学科。有关人体解剖生理的知识几乎完全来自解剖学和生理学实验。因此,做好解剖学和生理学实验对于学习好人体解剖生理学知识是至关重要的。可以这样说,不会做实验就不会也不能深刻理解和掌握解剖生理学的知识。

1. 目的

实验课的目的除了使学生通过实验验证课堂讲解的概念、理论正确与否之外,更主要的是使学生逐步掌握解剖学和生理学的基本实验方法和技术,了解生理学实验设计的基本原理,在此基础上提高自己分析问题和解决问题的能力。同时在这一过程中培养学生实事求是的科学态度、严谨的学风及创新意识。

2. 要求

提高实验课的教学水平,需要师生共同努力。因此,实验课的要求包括对教师和对学生的两个方面。

(1) 对指导教师的要求

实验前,指导教师应认真备课,做好预备实验,根据自己实验室的条件,可对实验指导进行必要的修改。需要给学生示教的实验操作方法,要求教师要熟练掌握。

实验中,教师传授知识要耐心细致,一丝不苟,对学生负责。要求学生必须掌握的实验方法和基本操作技术一定要教会,逐步提高学生的多种能力和综合素质。同时鼓励学生与指导教师自由交换意见,注意引导学生根据实验现象进行想象,增强学生的探索与创新意识。

(2) 对学生的要求

实验前,学生必须认真预习实验指导,除了了解实验的目的要求、实验的设计原理、操作步骤和注意事项外,还应复习与本实验有关的理论内容,以提高自己做实验的主动性,达到进一步巩固有关理论知识的效果。

实验中,学生应认真听指导教师讲解,按教师的要求进行各项实验操作。仔细观察、认真记录实验中出现的各种现象,并对引起这些现象的原因、这些现象存在的意义进行分析和思考。

实验过程中,实验用器材、物品要摆放整齐,便于操作。注意保持实验桌面的清洁卫生,随时消除污物。实验桌上不得放置与实验无关的物品。

爱护仪器和实验动物,注意节约实验材料。未经教师许可,不得动用他人或他组的实验用品,公共用品在使用完后应放回原处,以免影响他人使用。在实验过程中,要有意识地培养自己与别人协作的精神,同一实验组内、不同实验组之间,要互相帮助、互相配合。遵守实验室规则,保持实验室安静,不得大声喧哗,以免影响他人。

实验结束前请指导教师审查实验结果,如有错误及时补救。未经教师许可,学生不得擅自终止实验或离开实验室。

实验结束后,学生应将实验用具整理就绪,放回原处。所用金属手术器械(如手术剪、组织镊、止血钳等)洗净后,用干布擦干,涂上液体石蜡油,以免生锈。手术台和其他手术用品都要擦洗干净,以免影响下一次或下一组的实验。实验用品如有破损或缺少,及时报告指导教师。

按指导教师要求妥善处理实验动物,不可自行处理。尤其不能将未处死的动物随手丢弃。不得将实验废品丢于水池,以免堵塞下水道。实验后,关闭水源、电源,经教师允许后方可离开实验室。

二、实验报告的写作要求

书写实验报告是解剖生理学实验课的基本训练之一,师生都应认真对待,以便为以后撰写科研论文打下良好的基础。为了帮助学生写好实验报告,现将其基本格式和写作要求介绍如下:(详见实验报告范文)

生理学实验报告

姓名: 年级: 专业: 组别: 日期: 室温:

一、实验题目

二、目的要求

三、实验原理

这三项虽然实验指导上都有,但再简练地书写一遍,促使自己考虑做完实验后是否达到了本次实验所应达到的目的要求。进一步熟悉本次实验的原理,对于巩固所学的理论知识是很重要的。

四、方法与步骤

如果与实验指导上的基本一致,可以省略,或简要描述。如果有些方法、步骤与实验指导上的不一致(可能由实验指导教师根据自己实验室的条件,或自己的经验而做的某些改进、创新等),要尽量写详细一些,以备以后重复该实验。

五、实验结果

这一部分是实验报告的重点内容,实验过程中所观察或记录的生理指标(如肌肉收缩曲线、某种药物对心缩力的影响曲线等),都应如实、正确地在实验结果中剪贴、记述或说明。如果要

求用描记图表示,则需要将原始记录进行合理的剪贴、加工,并在图的下方写明图号、图名、图注及必要的文字说明(见实验报告举例)。不得将记录原封不动地附在实验报告上。如果记录需要用表格形式表示,则要求其两端是开放而不封口的,表号、表名写在表的上方(见实验报告举例)。凡是定量测量资料,均应以正确的单位和数值准确地写在报告上。为了便于说明和比较,有些实验结果可以列表或绘图表示。如果是对某一器官显微结构的观察,应将显微镜下看到的主要结构绘出图,并加以文字描述。

六、分析讨论

分析讨论是根据所学的理论知识,对实验结果进行科学的分析和解释,并判断实验结果是否与理论相符合。如果出现矛盾,应分析其中的原因。讨论是实验报告的重要部分,体现了学生运用所学知识分析问题的能力、想像能力、文字表达能力,必须独立完成。对有些实验结果进行分析讨论,往往还需要查阅一些教科书之外的参考资料(如有关杂志)。报告不应盲目抄袭书本,要用自己的语言表达(但应注意使用专业术语)。提倡学生根据实验结果提出自己的独立见解与认识,以及需深入探索的问题,也可提出一些改进实验的建议。

(艾洪滨)

附1 生理学实验报告写作范文

一、实验题目:蟾蜍离体心脏灌流 时间:2003-7-21 室温:28℃

二、目的要求:

1. 学习两栖类动物离体心脏的灌流方法,掌握斯氏(Straub)插管法,了解八木氏插管法。
2. 证明心肌具有自动节律性收缩的生理特性。
3. 观察 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、肾上腺素(adrenaline, Ad)、乙酰胆碱(ACh)对心脏活动的影响。
4. 理解内环境各种理化因素的相对恒定对于细胞进行正常生命活动的重要意义。

三、实验原理:

心脏离体后,仍能有节律地自动收缩、舒张,此为心肌的自动节律性。两栖类动物的心脏没有冠状动脉,心肌细胞直接从心腔中的血液中获得营养物质和氧气,因而可用斯氏插管法或八木氏插管法进行离体心脏灌流。灌流液的成分应同动物内环境的成分基本一致,用于两栖类动物心脏的灌流液为任氏液(Ringer's solution)。始终有任氏液灌流于心腔,离体心脏可长时间地活动,改变灌流液的成分,则可引起心脏活动的改变。

四、方法与步骤(略)

五、实验结果:

1. 用任氏液灌流的蟾蜍离体心脏收缩曲线,实际只是心室的收缩曲线,见图1。由图1看,心室的收缩非常规律,每一次搏动的幅度恒定。本只蟾蜍的心率为50次/min。



↑ 正常

心率: 50 (次/min)

幅度: 2.65 (g)

图1 蟾蜍离体心脏收缩曲线

2. 将灌流液更换为 0.65% NaCl 对心脏收缩活动的影响, 心率基本不变, 收缩幅度越来越小。

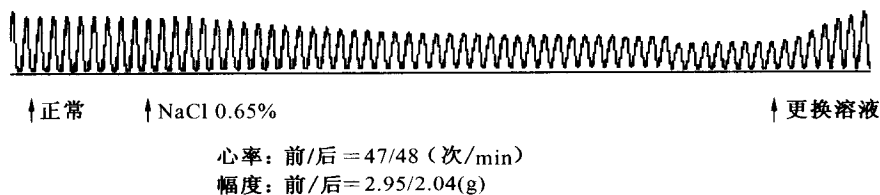


图 2 0.65% NaCl 对心脏收缩活动的影响

3. 向正常灌流液(任氏液)中加 5% NaCl 对心脏收缩活动的影响, 心率基本不变, 收缩幅度显著减小。

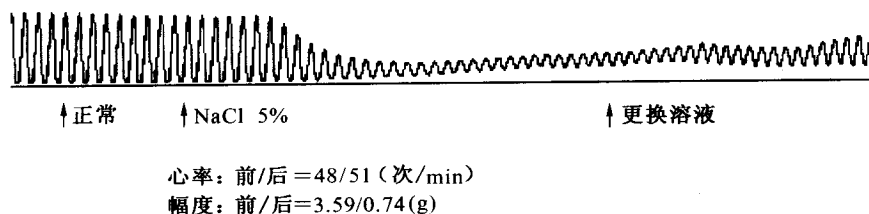


图 3 5% NaCl 对心脏收缩活动的影响

4. Ca^{2+} 对心脏收缩活动的影响

向正常灌流液(任氏液)中加入 2% 的 CaCl_2 溶液 2 滴后, 心搏曲线的基线上移, 但每次搏动的幅度减小, 表明 Ca^{2+} 加强心肌的收缩, 但不利于心肌的舒张(见图 4)。如果所加的 Ca^{2+} 增多到一定程度, 心脏可停止在缩短状态, 这种现象称为“钙僵”。

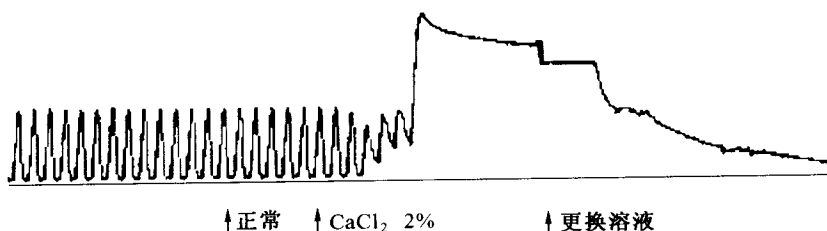
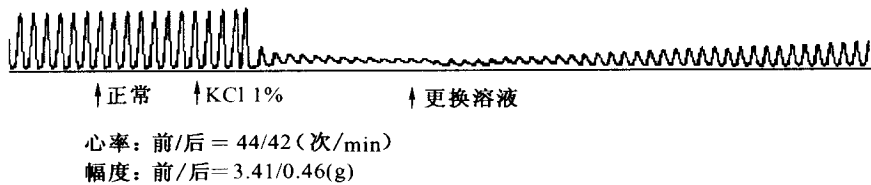


图 4 Ca^{2+} 对心脏收缩活动的影响

5. K^+ 对心脏收缩活动的影响

向正常灌流液(任氏液)中加入 1% 的 KCl 溶液 1 滴后, 心搏幅度减小, 最后成一直线, 而且位于心搏曲线的底部(基线), 表明心脏停止在舒张状态(见图 5)。

图5 K^+ 对心脏收缩活动的影响

6. 肾上腺素对心脏收缩活动的影响(见图6)

在盛有任氏液的心室插管内加入 1/1 000 的肾上腺素溶液 2 滴后,心搏幅度越来越高,表明肾上腺素增加心肌的收缩力。由图6可知,基线没有发生位移,说明心肌舒张的完全。心搏频率基本没有改变。这一结果表明,肾上腺素主要增强心肌的收缩力,对心室肌的搏动频率(心率)影响不大(因为本实验用的是斯氏插管法,灌流液只在心室内,心率主要决定于静脉窦)。

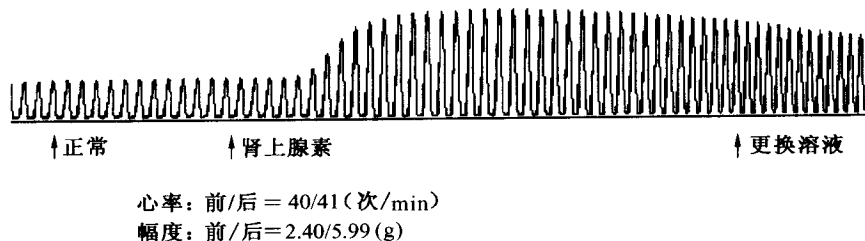


图6 肾上腺素对心脏收缩活动的影响

7. ACh 对心脏收缩活动的影响(见图7)

在盛有任氏液的心室插管内加入 1/10 000 的 ACh 溶液 2 滴后,心搏幅度越来越低,表明收缩力减弱。波与波之间的距离加大(心舒期延长),表明心率减慢,由 51 次/min 减慢到 39 次/min。

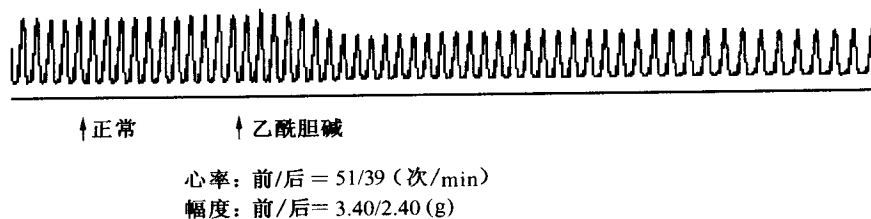


图7 ACh 对心脏收缩活动的影响

六、分析讨论:

1. 灌流液由正常任氏液更换为 0.65% NaCl 溶液后,心肌的收缩幅度越来越小,主要是因为灌流液中缺少了 Ca^{2+} 所致。 Ca^{2+} 是心肌收缩所必需的。

2. 向灌流液(任氏液)中加几滴 5% NaCl 后,收缩幅度明显减小。因为此时细胞外液(灌流液)中的 Na^+ 浓度升高, Na^+ 内流增多,减少了 Ca^{2+} 的内流(Na^+ 的内流与 Ca^{2+} 的内流有相互拮抗的作用),导致心肌的收缩力减弱。

3. 加 2% $CaCl_2$ 2 滴后,心缩力逐渐增加,舒张不完全,趋于停止在收缩状态。这是由于心