

全国高等农业院校教材

家畜生理学

(第二版)

南京农业大学主编

畜牧、兽医专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材

家畜生理学

(第二版)

南京农业大学主编

畜牧、兽医专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材
家畜生理学(第二版)
南京农业大学主编

责任编辑 顾之春

农业出版社出版(北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 22.25印张 492千字
1980年5月第1版 1987年5月第2版北京第1次印刷
印数 1—15,000册
统一书号 16144·3152 定价 3.65元

第一版前言

根据农林部关于编写高等农林院校试用教材的指示精神，以及畜牧及兽医两专业会议所制订的教学计划方案，于1977年底召开有22所高等农业院校任课教师参加的《家畜生理学》教材编审会议，制订了教材编写大纲，分工落实编写任务。1978年7月讨论及审定初稿，并由韩正康、向琚、杨传任三同志集中修改。

本书供畜牧专业和兽医专业家畜生理学课程（120学时，讲课与实验各半）作为试用教材。注意到学科的系统性及与其他课程的衔接，其中代谢与生殖两章内容，生化课及繁殖课有所偏重；最后的皮肤生理和家禽生理的特点两章，未计入本门课的120总学时内。

本书是各校家畜生理学教师密切协作的成果，除编审成员外，特别要提出的是：南京农学院毛鑫智同志参与泌尿及家禽生理的特点两章的编写和修改工作，山西农学院聂向庭同志描绘了大部分插图，江西共产主义劳动大学总校傅伟龙同志担任了编制生理名辞中英对照表。

《家畜生理学》教材编审组

1978年12月1日

第一版编写人员及分工

- | | |
|--------------|--------------------------------|
| 南京农学院 | 韩正康（主编，消化、体温和环境生理学、泌乳、家禽生理的特点） |
| 江西共产主义劳动大学总校 | 向 涛（绪论、细胞生理学、循环、肌肉和运动、神经系统） |
| 北京农业大学 | 杨传任（新陈代谢、内分泌、生殖） |
| 东北农学院 | 谭贵厚（血液、循环、皮肤） |
| 甘肃农业大学 | 何炎武（泌尿） |
| 河南农学院 | 王星所（呼吸） |

参加审稿讨论人员

刘玟珊	李荣慧	范立中	吴兰生	徐保华
徐郁哉	梁翰昭	郭凌汉	胡祖禹	聂尚庭

第二版前言

遵照农牧渔业部1983年关于修订教材的通知，根据使用本书的部分教师的意见和1982年修订的教学大纲，经讨论后，节删了原书第二章（细胞生理学基础）、第七章（新陈代谢）部分内容；能量代谢与体温合并为一章；全部删去皮肤和家禽生理的特点两章，计保留十二章。原则上由原来各章编写者修订，由韩正康、向涛、杨传任三同志集中修改定稿。具体工作由江西农业大学陈鹭江、南京农业大学徐彬同志协助，南京农业大学毛鑫智同志参与审阅工作。

《家畜生理学》教材编审组

1984年12月15日

第二版修订人员及分工

南京农业大学	韩正康 (主编, 血液、消化、能量代谢和体温、泌乳)
江西农业大学	向 涛 (绪论、循环、肌肉和运动、神经系统)
北京农业大学	杨传任 (内分泌、生殖)
甘肃农业大学	何炎武 (泌尿)
河南农学院	王星所 (呼吸)

10 — 22

目 录

一年快速

“求质求速”
“高质高量”

第一章 绪论 1

 第一节 家畜生理学的研究对象、任务和方法 1

 第二节 细胞的兴奋性和兴奋 3

 第三节 细胞的生物电现象 7

 第四节 机体功能的调节 10

第二章 血液 15

 第一节 血液概述 15

 第二节 血浆 18

 第三节 血细胞 20

 第四节 血液凝固 29

 第五节 血型 32

第三章 循环 35

 第一节 心脏生理 35

 第二节 血管生理 51

 第三节 心血管功能的调节 62

 第四节 几种器官的循环特点 67

第四章 呼吸 70

 第一节 肺的通气 70

 第二节 气体交换 79

 第三节 气体在血液中的运输 81

 第四节 呼吸的调节 86

第五章 消化 91

 第一节 概述 91

 第二节 口腔内消化 94

 第三节 单胃消化 102

 第四节 复胃消化 109

 第五节 小肠消化 118

 第六节 大肠消化 127

 第七节 吸收 129

 第八节 消化机能的整体性 136

第六章 泌尿 139

 第一节 尿的理化性质及组成 139

 第二节 尿的生成 141

 第三节 尿生成的调节 150

2008.11.15

第四节	排尿及其调节	152
第五节	肾脏的其他功能	154
第七章	能量代谢及体温	158
第一节	能量代谢	158
第二节	体温	165
第八章	肌肉和运动	176
第一节	骨骼肌的特性	176
第二节	骨骼肌的收缩	178
第三节	骨骼肌活动的过程和机理	183
第四节	运动	188
第九章	神经系统	194
第一节	神经纤维生理	194
第二节	突触传递	201
第三节	反射	209
第四节	神经系统的感觉功能	215
第五节	神经系统对躯体运动的调节	235
第六节	神经系统对内脏活动的调节	242
第七节	条件反射	250
第八节	睡眠	258
第十章	内分泌和激素	261
第一节	概述	261
第二节	垂体和下丘脑	268
第三节	甲状腺	277
第四节	甲状旁腺	281
第五节	胰腺激素	284
第六节	肾上腺	286
第七节	性腺和性激素	293
第八节	胎盘及其激素	295
第九节	胸腺	296
第十节	松果腺	297
第十一节	前列腺素	297
第十一章	生殖	299
第一节	雄性生殖生理	300
第二节	雌性生殖生理	308
第三节	内分泌系统和神经系统对生殖机能的调节	316
第十二章	泌乳	325
第一节	乳腺的结构	325
第二节	乳腺的发育及其调节	327
第三节	乳	328
第四节	乳的分泌	330
第五节	排乳	333

第一章 绪 论

第一节 家畜生理学的研究对象、任务和方法

一、家畜生理学的研究对象

家畜生理学是生理学中的一个分支。它是研究健康家畜（包括家禽）所表现的正常生命现象或生理活动及其规律性的科学。

家畜是由各器官系统构成的完整统一体。畜体内的任何个别器官系统的生理活动，都与其他生理活动保持着复杂而精确的联系和互相制约的关系，也都适应于家畜当时的整体生理活动的情况。例如，肌肉运动增强时，心跳和呼吸的频率和强度就随着增加，其他许多生理活动也发生各种相应的改变。因此，畜体内的任何器官系统的生理活动实质上是整体生理活动在局部的反映和表现。

再进一步分析，畜体各器官系统的生理活动，又是以构成这些器官系统的细胞及其内部的物质分子的生物学特性为基础的。而这些特性，归根到底，又决定于细胞及其内部物质分子的化学组成、微观结构，以及它们内部所发生的各种生物化学变化和生物物理变化。

根据上述情况，家畜生理学的研究对象应该包括以下三个不同的水平：（1）分子和细胞生理学，即研究细胞及其物质分子的结构与功能的关系，以及它们内部所发生的各种生物化学变化和生物物理变化的过程和规律。（2）器官和系统生理学，即研究各器官系统所表现的各种特殊生理活动的过程和规律，以及它们之间的相互关系。（3）整体和环境生理学，即从家畜的整体观点出发，研究机体对全部生理活动的调节、整合过程和规律，以及机体与生活环境的辩证统一关系。一般动物生理学对分子和细胞生理学以及器官和系统生理学进行比较深入的研究，这些研究成果为更深入、更精确、更全面地研究整体和环境生理学打下了基础。家畜生理学的研究重点应该是整体和环境生理学，不过，我们对家畜生理学这门课程的学习，应以器官及系统生理学以及整体和环境生理学作为主要内容。

任何机体，包括家畜家禽在内，都不能离开它的生活环境而孤立地生活。机体的生存、生长、发育、繁殖，以至整个生物界的进化和发展，都依赖于一定的生活环境。生活环境的变化，常常是引起生理活动发生变化的重要外部条件。它通过改变畜体内的新陈代谢这种根本的矛盾运动，而影响家畜的生理活动。因此，家畜的正常生理活动实际上是家畜和它的生活环境不断进行复杂的相互作用的过程。当生活环境中的某些条件发生变化时，家畜的生理活动就发生相应的改变。正是由于这些相应的改变，才能使家畜有效地适应于已经改变了的生活环境。这就是家畜与生活环境的辩证统一关系。例如，生活在高原地区和平原地区的家

畜，生活在南方地区和北方地区的家畜，就有许多不同的生理活动特点。这些特点是由于它们生活环境中的温度、湿度、气压、日照等等以及饲养管理条件的差别而引起的。生活在同一地区的家畜，常常因为生活环境的昼夜变化、季节变化、气候变化等等而引起一系列的生理活动的改变。在一定的饲养管理制度下，家畜能够逐步形成一系列适应于这种饲养管理制度的生理活动。当饲养管理制度改变时，家畜的生理活动就会随着发生改变。因此，必须考虑家畜与环境的关系，研究各种生理活动发生的条件，以及环境条件改变时对生理活动的影响。不问环境条件，把家畜的生理活动规律看作一成不变，并把它绝对化起来，到处生搬硬套，显然是错误的。

二、研究家畜生理学的目的和任务

家畜生理学是由于生产实践的需要，首先是由于畜牧生产实践和兽医临床实践的需要而发生和发展起来的。因此，研究家畜生理学的目的，不能局限于对家畜生理活动的简单观察和理解，而在于掌握了家畜生理活动的规律以后，能动地运用这些规律性的认识，分析畜牧兽医实践中的具体问题，提出解决问题的办法，以便采取适当措施，定向地调节和控制家畜的生理活动，使家畜朝着有利于提高生产性能和保证家畜健康的方向发展。例如，在认识和掌握家畜生殖生理的规律性的基础上，创造了家畜的人工授精和精子长期低温保存的新技术，有力地推动了近代的畜牧业。通过家畜人工授精的实践，又不断深化了对家畜生殖生理规律的认识，不但使家畜人工授精技术本身不断前进，而且又发展了家畜的人工同步发情、超数排卵和胚胎移植等一系列新技术，推动畜牧生产向更高的阶段发展。

家畜生理学是畜牧和兽医两门科学的最重要的基础理论学科之一。它既是畜牧业实践中正确饲养家畜、迅速繁殖家畜和获得丰富的肉、蛋、奶和其他畜产品的理论基础；也是兽医临床中正确认识家畜疾病、分析致病原因、提出合理治疗方案和有效预防措施的理论根据。

畜牧业是社会主义经济和现代化农业的重要组成部分。畜牧业的发展，对于充分提供营养丰富的畜产品，满足人民日益增长的生活需要；对于提供大量优质肥料来保证农业增产；对于促进以畜产品为原料的轻工业生产；对于推动我国的对外贸易，加速实现四个现代化，都有极其重大的意义。

兽医事业是促使畜牧业迅速发展的重要保证。随着畜牧业现代化的迅速发展，畜病的防治工作具有越来越重要的战略意义。家畜生理学在防病治病，加速发展畜牧生产中，承担着十分重要的任务。只有深入揭露家畜正常生理活动的规律性，才能不断用家畜生理学所获得的新成就来武装兽医科学，使兽医科学能够在更高的理论基础上，正确判断疾病，分析致病原因和制订各种防治措施。

三、生理学的研究方法

生理学的基本研究方法是实验。

十七世纪二十年代，William Harvey 首先把动物实验方法引进生理学领域，奠定了近

代实 生理学的基础。从十七世纪初到本世纪中，生理学的主要研究对象是器官生理学，即研究各器官的功能及其调节。在器官水平的生理学中，所用的动物实验方法主要有急性实验和慢性实验两大类。急性实验是在麻醉或破坏大脑的条件下，解剖动物，暴露某种器官，给予各种刺激，进行观察、记录和分析；或者从动物体内取出某种器官，使它在体外能短时期存活，以便进行实验研究。前一种方法叫活体解剖法，后一种方法叫离体器官法。由于这两种方法都只能在短时期内进行实验观察，所以统称急性实验法。这种方法的优点是操作比较简单，实验条件较易掌握，对器官能够直接进行细致的实验观察；它的根本缺点是不一定能代表器官在机体内的正常活动情况。慢性实验是先在无菌条件下对健康动物进行手术，暴露需要研究的器官，如消化道瘘管和神经系统埋藏电极，或者摘除、破坏某一器官。待动物手术恢复后，在尽可能接近正常生活的条件下，进行长期的系统观察。这种方法的优点是，实验结果能较好地反映器官在机体内的正常活动，但实验条件难于掌握，也不便于分析其他因素对这一器官的影响。

本世纪五十年代以来，由于分子生物学和生物控制论的渗透，以及现代基础科学和新实验技术的大量引用，使生理学的研究范围迅速向深度和广度发展。一方面是向微观方向发展，深入到细胞、亚细胞和分子领域。现在，已经开始用细胞培养、生物电子技术、电子显微镜、组织化学、缩时电影、同位素示踪、光谱分析、X-光衍射等，从亚细胞和分子水平上观察、分析和阐明生命活动的基本过程与规律。另一方面是向宏观方向发展，对机体的整体活动研究也有了显著进展。现在，采用遥控、遥测、体表无创检测等技术，已经有可能从整体水平研究各功能系统之间的相互联系，探索畜禽的个体与群体行为，了解机体与环境之间的相互影响。近年来，由于控制论与电脑技术的应用，系统分析、数学模型、物理及化学模拟等控制论方法与电子计算机相结合，正在使生理学从主要是定性的科学，向着更加精确的量化方向发展。

近代生理学的发展史表明：生理学的进展，在很大程度上决定于研究方法的创新，而现代生理学的研究方法又几乎全部来自最先进的其他基础学科和工业技术。因此，生理学工作者必须了解有关的先进技术，熟悉各种仪器的性能，善于制定正确的实验设计，确定最优的实验方法。

第二节 细胞的兴奋性和兴奋

一、兴奋性的概念

活细胞的一切生命活动，归根到底都是以细胞内部的新陈代谢为基础的。但是，新陈代谢是不断变化发展的过程。它的性质、速度和强度时时刻刻受到细胞内外各种因素的影响而不断发生改变。活细胞在内外环境改变的影响下，能够使它内部的新陈代谢发生相应改变的能力，叫做细胞的兴奋性或应激性。能够引起活细胞的新陈代谢发生改变的各种因素，叫做刺激。

兴奋性是一切活细胞共同具有的基本生理特征，也是活细胞对内外环境变化发生适应的基础。畜体内各种细胞的兴奋性的高低是不一致的。兴奋性高低的主要标志是：细胞内部新陈代谢过程改变的速度，以及引起这些改变所需要的刺激强度。改变得越快，引起改变所需要的刺激强度越小，兴奋性就越高。在畜体内，虽然一切细胞都有兴奋性，但只有神经细胞在进化过程中获得了最高的兴奋性。只要内外环境中发生了某些微小的变化，神经细胞就能迅速改变它内部的新陈代谢来适应变化了的条件。正是神经细胞具有最高兴奋性的这种特点，使它成为在家畜整体生理活动中起着控制和调节功能的基础。

二、细胞对刺激的反应——兴奋和抑制

畜体内的任何细胞在受到刺激的作用后，它内部的新陈代谢过程可能发生两种不同形式的基本变化：一种基本变化是使细胞内的新陈代谢过程增强和加速，表现为细胞的活动由相对静息状态转变为显著活动状态，或者由较弱的活动状态转变为较强的活动状态。然后，各种细胞以其特有的结构和功能为基础，表现出各自特有的反应。这种反应过程叫兴奋。例如，神经细胞产生神经冲动，肌细胞表现出收缩，腺细胞进行分泌活动，等等。另一种基本变化是使细胞内的新陈代谢过程减慢和减弱，表现为细胞由显著活动状态转变为相对静息状态，或者由较强的活动状态转变为较弱的活动状态，并使不同细胞表现出另一类各自特有的反应。这种反应过程叫抑制。例如，心肌细胞的收缩减慢减弱，腺细胞的分泌停止，神经细胞不产生神经冲动，等等。

细胞受到刺激后究竟是引起兴奋反应还是抑制反应，一般地决定于两方面的条件：一方面决定于刺激的性质和强度；另一方面决定于细胞当时所处的功能状态。例如，强度适中的刺激常常引起细胞发生兴奋反应；而过强的刺激常常引起细胞发生抑制反应。从生物学意义上分析，细胞对刺激无论是发生兴奋或抑制反应，都是细胞对内外环境变化所发生的适应。当细胞的内外环境发生改变时，只有通过细胞内部的新陈代谢发生相应的改变，才能使细胞与环境之间经常保持动态平衡，同时也使细胞内部的生理活动经常保持相对恒定和互相协调。

三、刺激与反应的关系

(一) 刺激性质与反应的关系 内外环境中的各种刺激并不是对每一种细胞都能引起反应。所以从生物学效应看，所有刺激可以归纳为适宜刺激和不适宜刺激两大类。凡是在自然条件下能够引起某种细胞发生反应的刺激，叫做这种细胞的适宜刺激。相反，凡是在自然条件下不能引起某种细胞发生反应的刺激，就叫做这种细胞的不适宜刺激。不同细胞有不同的适宜刺激。例如，一定波长的光波是视网膜细胞的适宜刺激，一定频率的声波是内耳听细胞的适宜刺激，某些化学物质是内脏平滑肌细胞的适宜刺激，等等。但这些刺激对其他许多细胞都是不适宜刺激。同一种细胞不一定只有一种适宜刺激，而可以有几种适宜刺激。例如，好几种激素常常都是同一种细胞的适宜刺激。

(二) 刺激强度与反应的关系 适宜刺激要引起细胞发生反应，还必须有一定的强度。能够引起细胞发生反应的最小刺激强度，叫做刺激的阈值，各种不同的细胞或者同一种细胞在不同的功能状态下，兴奋性的高低不同。兴奋性越高，刺激阈就越小。神经细胞的兴奋性最高，所以甚至连灵敏的物理化学仪器都难于检测的微小刺激就足以使神经细胞发生反应。强度没有达到阈值的过弱刺激叫阈下刺激，它不能引起细胞的反应。相反，如果刺激的强度超过了一定的最大限度，常常不再能引起细胞的反应，甚至使细胞受到损伤。例如，微生物感染后产生的毒素、过高或过低的温度等都是极其强烈的刺激，它们常使细胞受到损伤。

(三) 刺激作用时间与反应的关系 为了引起细胞发生反应，除需要一定的刺激强度外，还需要使刺激作用一定的时间。如果刺激作用的时间过短，即使刺激强度达到阈值以上，也不能引起细胞的反应。例如，用高频电流（大于20kHz的正弦电流）进行刺激时，尽管刺激强度明显超过阈值，但由于每个电震的作用时间过短，甚至对兴奋性最高的神经细胞也不会发生反应，而只能引起单纯物理性的电热效应。近代医学对机体深部细胞或组织进行的电热疗法，就是根据这种原理设计的。细胞的兴奋性越低，所需的刺激作用时间就越长。但是，如果刺激的作用时间过长，细胞将对刺激发生适应作用而不引起反应。例如，用定电流刺激神经纤维（神经细胞的轴突）时，只有开始通电和切断电流时才引起兴奋，电流持续通过时并不发生反应。细胞对刺激发生适应作用时，它的兴奋性逐渐降低，刺激阈值逐渐升高，因而使原来足够引起反应的刺激逐渐变为阈下刺激而不再引起反应。细胞的兴奋性越高，它对刺激的适应作用就越快。

(四) 强度—时间曲线 刺激的强度和刺激的作用时间既然是引起细胞发生反应的两个必要条件，所以只有同时考虑这两个条件，才能全面地衡量细胞兴奋性的高低。大量试验证明，刺激强度和作用时间两个因素之间存在着密切的相互关系。刺激强度越大，引起细胞反应所需的作用时间就越短。相反地，刺激强度越小，所需的作用时间就越长。刺激强度和刺激作用时间呈负相关。如果把这两个因素的依从关系用图解表示，就得到接近于等边双曲线式的强度—时间曲线（图1—1）。神经细胞、骨骼肌细胞、心肌细胞等兴奋性的细胞，都可以得到类似形状的双曲线。所以强度—时间曲线是具有普遍意义的代表细胞兴奋性的规律之一。曲线上的任何一点都代表具有一定强度和作用时间的刺激阈。一般地说，兴奋性越低

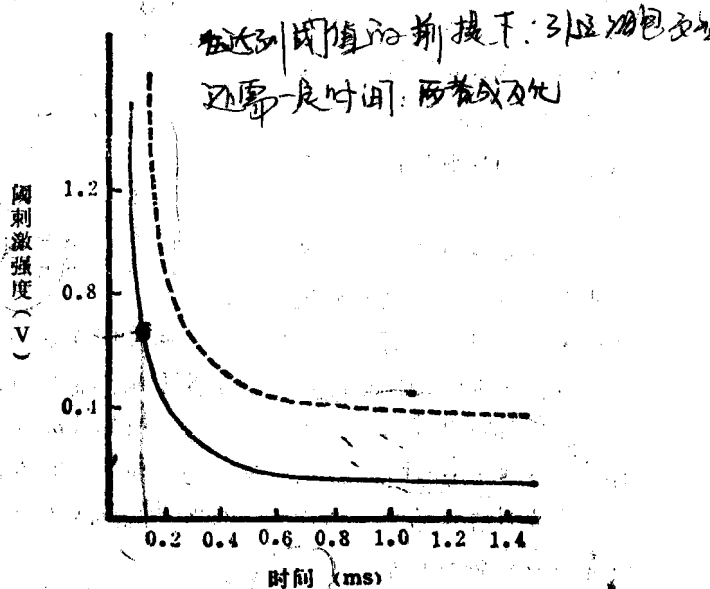


图1—1 两条神经纤维的强度—时间曲线
粗纤维的曲线用实线表示，细纤维的曲线用虚线表示

的细胞，双曲线的位置越趋向于右上方。例如，在图 1—1 中，粗神经纤维的兴奋性比细纤维高，它的强度—时间曲线就在细纤维的左下方。

(五) 兴奋性的衡量指标

强度—时间曲线虽然可以比较全面地反映细胞的兴奋性，但是当兴奋性发生迅速变化时，要测定一条强度—时间曲线实际上极其困难。在生理学研究 and 临床上诊断神经系统和运动系统的疾病时，常根据强度—时间曲线的原理，固定强度或时间两个因素中的任何一个，然后测定另一个因素作为衡量细胞兴奋性的指标。常用的指标有阈强度和时值两种。

固定刺激作用时间，用不同强度的刺激试验，求得刚刚能够引起反应的最小刺激强度。这就叫阈强度。阈强度越小，反映细胞的兴奋性越高。

另一种常用的反映兴奋性的方法，是在固定刺激强度的条件下用时间作为指标。一般常把刺激的强度固定为阈强度的 2 倍，求得刚刚可以引起反应所需要的最短作用时间。这个特定的最短作用时间叫做时值。时值越短意味着细胞对刺激发生的反应越快，也就是兴奋性越高。

四、兴奋性的变化

任何细胞的兴奋性都不是固定不变的，而是经常在发生变化，甚至发生很大的变化。例如，神经细胞和肌细胞在每次受到刺激而发生一次兴奋之后，它的兴奋性一般要经历四个阶段的变化，然后才恢复正常。这四个变化阶段是：(1) 绝对不应期；(2) 相对不应期；(3) 超常期；(4) 低常期。

绝对不应期是细胞完全缺乏兴奋性的时期，所以又叫绝对乏兴奋期。当细胞受到刺激而发生兴奋后，它的兴奋性迅速从正常水平下降为零，即完全失去了兴奋性，以致对任何新刺激都不发生反应。

相对不应期或相对乏兴奋期是继绝对不应期之后出现的一个时期。这时细胞的兴奋性开始逐渐恢复，但还没有达到正常水平，较强的刺激已经

可以引起反应，但阈刺激还不能引起反应，而且对刺激的反应强度也低于正常。

超常期继相对不应期之后出现。这时细胞的兴奋性反跳式地上升到稍微高于正常水平的程度，以致原来的阈下刺激也能引起反应，而且反应的强度也有所提高。

低常期在超常期之后出现。这时细胞的兴奋性重新稍微降低到正常水平以下，低常期后，兴奋性逐渐恢复正常。

兴奋性变化的各个时期的持续时间，与细胞正常兴奋性的高低有直接关系。细胞原来的兴奋性越高，这些变化过程就进行得越快。例如，神经细胞的兴奋性最高，它的绝对不应期

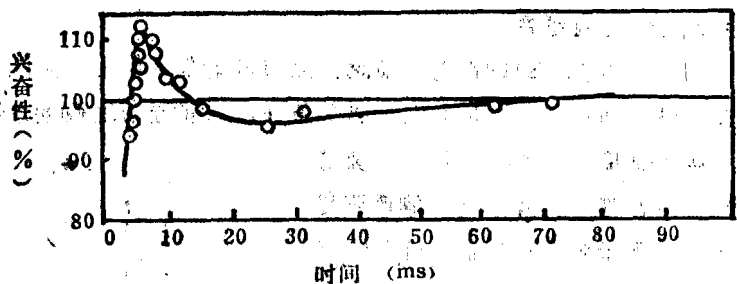


图 1—2 猫隐神经在一次兴奋后的兴奋性恢复过程
在 0 处给予刺激，引起一次兴奋。纵坐标 100 代表正常的兴奋性水平。在 100 以上表示兴奋性超过正常，在 100 以下表示低于正常。

常常不超过 1ms, 兴奋性的这一系列变化可以在不到十分之一秒的时间内完成。平滑肌细胞和心肌细胞的兴奋性相对地较低, 它们的绝对不应期可以持续达几十甚至几百毫秒, 兴奋性变化的全过程一般需要经过较长时间才能完成。

三 遗传性为遗传性 2 子 的 功 能 结 构 的 4 板 叫 ~
四 体 组: 功 能 不 必 形 成 有 2 体 在 第 三 节 细胞 的 生 物 电 现 象

生物电是活细胞的基本特征之一。生物电的变化是广泛发生于一切活细胞中的普遍的生理现象。由于描绘生物电变化的仪器越来越精密和细胞内微电极技术的不断发展, 电生理学已经成为现代生理学中的一个极其重要的领域。

一、细胞的静息电位

(一) 静息电位的概念 在正常的静息状态下, 所有活细胞的细胞膜外表面都具有完全相等的电位, 但在细胞膜的内外两侧却保持着电的极化状态, 即在细胞内部和细胞外液之间存在着电位差。这种电位差的极性是膜外为正, 膜内为负。如果把膜外的电位 (单位mV) 当作生理上的零位, 则膜内电位相对地呈负性。这种在静息时存在于细胞膜内外两侧的电位差, 叫做静息电位, 或称膜电位。细胞膜保持外正内负的这种电生理状态, 叫做极化状态。在各种细胞中, 静息电位大约在-10mV到-100mV之间。在神经细胞和各种肌细胞中, 静息电位比较高, 大约是-65mV到-100mV之间。

(二) 产生静息电位的机理 在正常的活细胞中, 细胞内 K^+ 的浓度一般比细胞外液中约高 30 倍, 蛋白质的浓度约比细胞外液中高 10 倍; 而细胞外液中 Na^+ 和 Cl^- 的浓度则都比细胞内约高 20 倍。所以, 细胞外液中的主要正离子是 Na^+ , 主要负离子是 Cl^- ; 细胞内液中的主要正离子是 K^+ , 主要负离子是蛋白质。根据细胞膜的结构特点, 带负电荷的蛋白质大分子是完全不能透出细胞膜的。带有正负电荷的各种水合离子也都只有极小的通透性。所以膜对 K^+ 和 Na^+ 的通透性总的来说是很小的。它们以被动扩散的方式通过细胞膜上的直径约 3—4 Å 的含水微孔。离子通过微孔被动扩散的速度决定于离子本身的大小以及这种离子在膜两边的浓度差。由于含水的 K^+ (直径 3.96 Å, 几乎等于微孔直径) 比含水的 Na^+ (直径 5.12 Å, 大于微孔直径) 小, 而且 K^+ 在膜两边的浓度差也比 Na^+ 大, 所以膜在正常静息状态下对 K^+ 相对地说有中等的通透性, 但对 Na^+ 的通透性极低。

在膜对 K^+ 能够通透的情况下, 膜内外的 K^+ 的浓度差就推动 K^+ 从膜内向膜外扩散, 细胞内的 K^+ 就带着正电荷外流, 而细胞内的带着负电荷的蛋白质却不能随着外流, 结果就打破膜内外的电中性状态而使膜内电位下降变负和膜外电位上升变正。形成这样的电位差以后, 由于膜内外正负离子的互相吸引, 随着电位差的增大就将越来越强烈地抵制 K^+ 继续外流。当膜内外的 K^+ 浓度差 (化学梯度) 及其所形成的电位差 (电学梯度) 这两种互相抗衡的力量相等而达到电-化学平衡时, K^+ 外流和膜电位就保持相对恒定而形成膜外正和膜内负的极化状态。因此, 静息电位实际上是 K^+ 外流所形成的跨膜电位。根据对静息电位的实际测量和

对膜内外 K^+ 浓度差的理论计算,发现二者大致相等。这表明静息电位大约相当于 K^+ 的平衡电位。因此,静息电位的大小主要决定于膜对 K^+ 的通透性和膜内外 K^+ 的浓度差。当膜对 K^+ 的通透性降低或者膜内外 K^+ 的浓度差减小时,都将使静息电位下降。如果发生相反的变化,静息电位就增大。

二、细胞的动作电位

(一) 动作电位的变化过程 当细胞接受刺激而发生兴奋时,细胞膜原来的极化状态立即消失,并在膜的两侧发生一系列电位变化。这种在细胞兴奋时所出现的特殊电位变化过程,叫做动作电位。在生理学中,常常把动作电位看作是细胞兴奋的标志。对于神经细胞和肌细胞的动作电位变化,现在已经有了较多的了解。但对机体内其他细胞的动作电位还研究得很少。

神经细胞和肌细胞兴奋时发生的动作电位变化,可以用高度灵敏的电生理学仪器记录下来,描绘成动作电位曲线。这个曲线的第一部分是一个迅速发生和迅速消逝的较大的负电位波动,上升波和下降波都极其陡峭,叫做锋电位。锋电位消逝后,膜两侧的电位差并不立即恢复到原有的静息电位的水平,而是在较长时间内离开原有水平发生微小的升高和降低的波动,构成曲线的第二部分。这个部分总称为后电位。后电位又区分为两部分:先出现的是负后电位,这时膜两侧表现为微小的负电位波动;接着出现的是正后电位,这时膜两侧表现出更加微小的正电位波动。负后电位的强度一般小于锋电位的十分之一,但持续时间比锋电位长得得多。正后电位的强度比负后电位更小,但持续时间却比负后电位更长。有些神经细胞只有正后电位,没有负后电位。心肌细胞只有负后电位,没有正后电位。

锋电位和后电位反映着细胞兴奋周期的不同时期。锋电位是细胞兴奋活动的表现;后电位是细胞完成兴奋活动后进行恢复过程的反映。

动作电位变化的各个不同时期,与前面提到的细胞兴奋后经历的兴奋性变化过程有十分密切的关系。锋电位出现的绝大部分时间与绝对不应期相当。出现锋电位下降波的最后一段时间与相对不应期相当。负后电位出现的时间相当于超常期。正后电位出现的时间与低常期相当。

必须指出:体内的某些

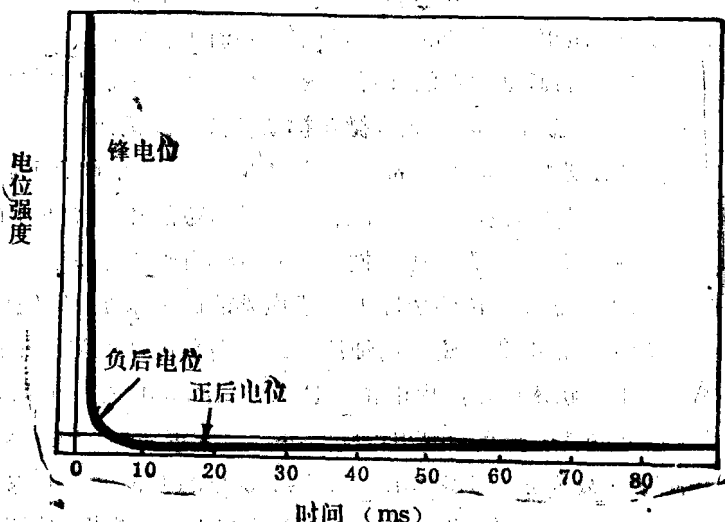


图1-3 A类神经纤维的动作电位曲线

“0”处是受刺激的时间,正后电位的幅度特别加以放大