

畜牧、兽医专业基本教材

家畜生理学

(附实验指导)

第二版

李鉴轩 主编

青海人民出版社

畜牧、兽医专业基本教材

家畜生理学

(附实验指导)

第 二 版

李鉴轩 主编

青 海 人 民 出 版 社

1992年·西宁

家畜生理学

李莹轩 主编

青海人民出版社出版
(西宁市西关大街96号)

青海省新华书店发行 青海西宁印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 18.75 插页: 2 字数: 430千
1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数: 0,001—3,890

ISBN 7-225-00522-7/S·24 定价: 7.10元

第二版编写说明

本书第二版是在第一版编写宗旨的基础上重新改编的。它着重对各章进行了深层次的重大改革：重建了编写体系、修正了内容范围、充实了先进内容、改善了层次联系和控制了文字总量，从而使之更能适合专业培养目标的要求和学生接受能力的实际，并形成本书的编写特色。

书中的插图，依照图文结合、概括概念、提示重点、加深印象、统一风格和兼顾美学等要求，重新进行了筛选、仿改或设计。对实验指导部分，调整了部分项目，充实了部分内容，并精简了约1/6的文字。书中的生理名词，根据全国自然科学名词审定委员会公布的《生理学名词》（1989）进行了校订。考虑到本书的教材性质和有限容量，未将中外文索引等材料纳入。

二版文稿经主编李鉴轩教授进行了修订和修编。插图由俞世福副教授绘制。再版的出版得到了青海省教育厅、甘肃省畜牧厅、宁夏回族自治区畜牧局、青海人民出版社，以及西北各参编院校领导的热情关怀和大力支持，在此一并深表感谢。

由于此次改编难度很大，特别是我们经验不足和能力有限，书中不足和不当之处，敬希专家和读者指教。

编者

一九九一年十二月

编写说明

这本基本教材及所附的实验指导是西北五省(区)农(牧)业高校的同志共同完成的。编写这本书的理由是大家深感教学中迫切需要有一本基本符合专业要求、能在70学时讲完和适合大二学生学习的基本教材。

从这一愿望和要求出发,经过认真地讨论研究,一致认为,编写这本教材必须努力运用辩证唯物主义的观点,从实际出发,在整体构思上想办法,在结构体系上找突破,在内容选择上下功夫,努力做到少而精。

根据这一共同认识,首先讨论确定编写提纲。这个提纲详细规定了全书章节的数目、名称、顺序、课时和字数,以及对各章节内容深度和广度的原则要求。此外,还对专业术语、名称、编写体例和计量单位等商定了统一规范。

在整体构思上,取消了传统的绪论一章,将其必要保留的内容进行分散安排,而代之以细胞的兴奋性作为开头,使学生先有一些细胞水平的概念,特别是生物电现象的概念,为进一步学习以后各章中电生理的内容打下初步基础。以后的各章实际包括三大板块:从第二到第七章是按照新陈代谢的概念,介绍机体由外界环境摄入各种营养物质到将代谢产物排出的全过程;第八、九章是介绍机体机能调节;第十、十一章是介绍延续后代的问题。在结构体系上,试图突破按照系统生理学叙述的格局,进而改变对一些章节名称的提法和内容的组合方式,以引导学生能较多地从功能方位认识家畜生理过程。在与先行课的联系上,采用寓联于用的原则,较大程度地消除了重复或重叠现象。为了使插图紧扣内容,简洁实用,风格一致,对所选定的部分插图,从标题到内容都进行了必要的修改。为便于学生学习专业外文,在全书生理专业名词第一次出现时都附以英文,以便直接进行中英文对照,而不需另行查阅外文索引或词典。此外,全书从整体、深度和某些科学内容上,都尽量注意结合西北地区的生产实际。

本书所附的实验指导,只选留了52个项目。这些项目是根据当前的教学条件和学时选定的,并留有选用的余地。在文字表达和编写方法上,力求符合培养学生独立思考和实际操作能力,以及减轻学生负担的原则精神。

本书承甘肃农业大学张祥珍教授审阅,西北农业大学魏琦同志绘制插图,特别是青海省教育厅、青海畜牧兽医学院给予指导和支持,在此,我们一并深表谢意。

由于我们水平有限,编写时间较短,内容上可能有失误之处,敬希惠予指正。

编 者

一九八七年九月

《家畜生理学》编委会

姓名	单位	承担章节	章节
主编	李鉴轩 (青海畜牧兽医学院)		
教材编者	(以姓氏笔画为序)		
王 牛	(石河子农学院)	第一章	第一章
王秋芳	(西北农业大学)	第二章	第二章
王晞晞	(宁夏农学院)	第三章	第三章
王荣鑫	(青海畜牧兽医学院)	第四章	第四章
石玉珂	(新疆八一农学院)	第五章	第五章
刘志强	(新疆八一农学院)	第六章	第六章
何炎武	(甘肃农业大学)	第七章	第七章
吴安国	(甘肃农业大学)	第八章	第八章
周纪曾	(西北民族学院)	第九章	第九章
陈如熙	(宁夏农学院)	第十章	第十章
徐郁哉	(新疆八一农学院)	第十一章	第十一章
实验指导编者	(以姓氏笔画为序)		
马 森	(青海畜牧兽医学院)	附录	附录
王 牛	(石河子农学院)		
王 轮	(石河子农学院)		
贝念湘	(新疆八一农学院)		
刘卫华	(石河子农学院)		
何炎武	(甘肃农业大学)		
李生民	(西北农业大学)		
欧阳五庆	(西北农业大学)		
吴安国	(甘肃农业大学)		
周纪曾	(西北民族学院)		
张振汉	(宁夏农学院)		
樊敬庄	(西北农业大学)		

本教材编写计划

章 次	章 名	课 时	字 量	是否讲授
第一章	绪 论	4	12 000	讲授
第二章	消 化	10	29 000	讲授
第三章	呼 吸	6	20 500	讲授
第四章	血 液	6	20 500	讲授
第五章	循 环	10	31 000	讲授
第六章	能量代谢和体温	4	10 500	讲授
第七章	泌 尿	6	15 300	讲授
第八章	神经系统生理	12	36 600	讲授
第九章	内分泌生理	8	31 000	讲授
第十章	生 殖	4	13 500	各校自定
第十一章	泌 乳	1—2	4 000	各校自定
附录一	家禽生理特点		21 000	参考
附录二	实验指导	35—40	52 200	实验

说明：本计划是根据西北各院校畜牧、兽医专业教学计划中，对《家畜生理学》105—110学时之规定，对讲授安排70学时左右，实验安排35—40学时。另根据中央规定（1983年），每课时教材的文字应控制在3 000字左右的要求，对本教材课时文字量均控制为2 900—3 100字。

各章课时分配为西北各院校商定的分配意见，仅供参考。

二、白细胞	(67)
三、血小板	(71)
第四节 血液凝固和纤维蛋白溶解	(72)
一、血液凝固	(73)
二、纤维蛋白溶解	(76)
第五节 输血和血型	(78)
一、红细胞凝集反应	(78)
二、ABO血型系统	(78)
第五章 循环	(80)
第一节 心脏生理	(80)
一、心肌细胞的类型	(80)
二、心肌细胞的生物电	(81)
三、心肌的生理特性	(84)
四、心脏的泵血活动	(87)
五、心电图	(91)
第二节 血管生理	(94)
一、概述	(94)
二、血流	(94)
三、血压	(96)
四、脉搏	(98)
五、微循环	(99)
六、物质交换和组织液生成	(101)
七、淋巴生成和淋巴循环	(102)
第三节 心血管活动的调节	(103)
一、神经调节	(103)
二、体液调节	(107)
三、自身调节	(109)
第六章 能量代谢和体温	(110)
第一节 能量代谢	(110)
一、能量的来源和转移	(110)
二、能量的释放和利用	(111)
三、能量代谢的水平	(111)
四、能量代谢的测定	(112)
第二节 体温	(115)
一、家畜的体温	(115)
二、体温的维持	(115)
三、体温的调节	(117)
四、家畜的耐热力 and 耐寒力	(119)
第七章 泌尿	(120)

第一节 尿生成的部位	(120)
一、肾单位的概念	(120)
二、肾单位的类型	(120)
第二节 尿生成的过程	(122)
一、肾小球的滤过作用	(122)
二、肾小管和集合管的生尿作用	(124)
第三节 尿生成的调节	(129)
一、自身调节	(129)
二、神经调节	(130)
三、体液调节	(130)
第四节 尿的浓缩和稀释	(131)
一、尿浓缩和稀释的机理	(132)
二、影响尿浓缩的因素	(134)
第五节 尿向体外排出	(134)
一、膀胱和尿道的神经支配	(134)
二、排尿反射	(135)
第八章 神经系统生理	(136)
第一节 神经元及其活动	(136)
一、神经纤维	(136)
二、突触与突触传递	(138)
第二节 神经的反射活动	(142)
一、反射的概念	(142)
二、反射中枢	(142)
三、反射活动的协调	(146)
第三节 神经系统的感觉功能	(146)
一、感受器	(146)
二、传入系统	(147)
三、大脑皮层的感觉功能	(149)
第四节 神经系统对躯体运动的调节	(150)
一、各级中枢对躯体运动的调节	(150)
二、骨骼肌的活动过程和机理	(156)
第五节 神经系统对内脏活动的调节	(161)
一、植物性神经系统	(161)
二、各级中枢对内脏活动的调节	(164)
第六节 高级神经活动	(166)
一、条件反射	(166)
二、动力定型	(168)

三、高级神经活动类型·····	(168)	三、雌激素·····	(194)
四、睡眠·····	(169)	四、孕激素·····	(194)
第九章 内分泌生理 ·····	(171)	第九节 其他内分泌腺激素 ·····	(195)
第一节 概述·····	(171)	一、前列腺素·····	(195)
一、激素的合成和贮存·····	(171)	二、胸腺激素·····	(196)
二、激素的释放、转运和灭活·····	(172)	三、松果体激素·····	(197)
三、激素的特性和作用机理·····	(172)	第十章 生殖 ·····	(199)
第二节 下丘脑的内分泌机能·····	(174)	第一节 性细胞的生成·····	(199)
一、下丘脑内分泌的特征·····	(174)	一、性成熟·····	(199)
二、下丘脑的激素及其作用·····	(174)	二、精子生成·····	(200)
第三节 垂体·····	(175)	三、卵子生成·····	(203)
一、腺垂体·····	(176)	第二节 性细胞的接近·····	(205)
二、神经垂体·····	(178)	一、发情周期·····	(205)
第四节 甲状腺·····	(179)	二、交配和射精·····	(207)
一、甲状腺激素的合成、贮存与转运·····	(179)	三、配子的运行·····	(208)
二、甲状腺激素的生理功能·····	(180)	第三节 性细胞的结合·····	(210)
三、甲状腺功能异常·····	(182)	一、精子接触卵子·····	(210)
四、甲状腺机能的调节·····	(182)	二、精子进入卵子·····	(210)
第五节 甲状旁腺、甲状腺C细胞·····	(183)	三、精子与卵子融合·····	(211)
一、甲状旁腺·····	(183)	第四节 妊娠和分娩·····	(211)
二、甲状腺C细胞·····	(184)	一、妊娠·····	(211)
第六节 胰岛·····	(185)	二、分娩·····	(212)
一、胰岛素·····	(185)	第十一章 泌乳 ·····	(213)
二、胰高血糖素·····	(187)	第一节 乳的生成·····	(213)
第七节 肾上腺·····	(188)	一、乳房及乳腺·····	(213)
一、形态结构·····	(188)	二、乳生成的过程·····	(214)
二、肾上腺皮质激素·····	(188)	三、乳生成的速度·····	(214)
三、肾上腺髓质激素·····	(191)	四、乳生成的调节·····	(215)
第八节 性腺·····	(193)	第二节 乳的排出·····	(215)
一、概述·····	(193)	一、乳向乳池汇集·····	(215)
二、雄激素·····	(193)	二、乳向体外排出·····	(215)
		三、乳排出的调节·····	(216)
		附录一 家禽生理特点 ·····	(216)
		附录二 家畜生理学实验指导 ·····	(235)

第一章 绪 论

家畜生理学是生理学的一个分支。它是专门研究家畜生命活动规律的科学。

这门科学和其他科学一样，也是应社会和生产发展的需要发展起来的。人们通过大量的观察特别是专门的研究，已经获得了对家畜生命活动规律的系统认识。这些认识大体可分为三个层次或领域，即对机体总体活动规律的认识，对体内各器官系统特殊活动规律的认识，以及对组成器官系统的细胞及其内部物质分子超微活动规律的认识。这些认识之间又是互相联系和互相促进的，即对整体活动的认识不能脱离对局部活动规律的基础认识，而对局部活动的认识又加深了对整体活动规律的理解。

因此，在学习这门科学时，应力求进行全面的了解，既要重视各种具体的生命活动规律，又要注意各种生命活动规律之间的联系。而且还应懂得，学习这门科学决不只是为了获得某些科学知识，更重要的还在于运用这些客观规律，去分析、研究和解决畜牧兽医实践中的问题，以促进畜牧业的不断发展。

第一节 机体与环境

家畜自身的生存和繁衍后代都离不开它所生活的外界环境。机体与环境之间不可分割的联系，可概括为机体与环境的统一。这种联系的实质主要包括两个方面：一是两者之间的物质交换关系；二是两者之间的刺激与反应关系。

一、物质交换联系

机体必须经常不断地从外界环境中摄取食物、水和氧气，经过体内细胞中的中间代谢，最后将代谢终产物和二氧化碳排出体外，从而实现机体与环境之间的物质交换，通过这种物质交换，机体才能获得构筑其自身和繁殖后代所需的原料，以及获得其进行各种生命活动所需的能量，进而才可能维持其生长和生存，并进行各种生命活动。

(一) 外界物质的摄入 从外界环境中摄入机体的物质，主要是食物（饲料）、水和空气中的氧气。这些物质不仅需要进入体内，而且还需进一步地进入组织细胞，才能被机体利用。各种物质从外界环境直到最后进入体内的组织细胞，是一个极其复杂的生理过程。就食物而言，它必须首先进入消化道，消化成可被吸收的物质，才能进入血液或淋巴；然后依靠血液的运送，到达浸浴组织细胞的组织液中；最后，再通过细胞膜进入细胞。另就氧气而言，它必须首先随空气吸入肺中，再进入血液；然后依靠血液的运送，也到达浸浴组织细胞的组织液中；最后，再通过细胞膜进入细胞。

由上可知，从消化道吸收的营养物质和进入肺的氧气，都需经过血液和组织液，最

后才进入细胞。血液中的血浆和组织液又都存在于细胞之外，故将它们称为细胞外液。细胞外液不仅是外界环境与细胞之间物质交换的桥梁，而且是体内一切细胞赖以生存的特殊液体环境。生理学把细胞外液构成的这一细胞生存环境，称为内环境（internal environment）。这样，我们又可把外界物质摄入体内的过程，理解为外界物质通过内环境而到达细胞。

内环境具有两方面的作用：一方面可为细胞提供各种营养物质，并接受细胞代谢的终产物；另一方面又为细胞的生命活动提供一切必要的理化条件，如适宜的温度、渗透压、酸碱度和各种离子浓度等。不过，这些作用只有在内环境相对恒定的条件下才能正常发挥，内环境的任何改变都可影响细胞的活动。如果这种改变超出了正常范围，还将导致机体的机能紊乱，甚至引起死亡。

内环境与细胞之间的物质交换都要通过细胞膜。细胞膜是细胞的生物屏障，它可控制进出细胞的物质，以保证细胞内代谢的正常进行和保持细胞的正常功能。物质通过细胞膜，称为膜的物质转运。体内各类细胞的大小和生理的功能虽不相同，但总的来说，细胞膜的物质转运共有五种方式，其中前三种只能转运物质的分子和离子，而后两种则能转运体积较大的物质。这五种转运方式是：

1. 单纯扩散 单纯扩散是指膜内外的物质分子或离子，从浓度高的一侧向浓度低的一侧运动。扩散的量决定于两个因素：一是膜内外该物质的浓度差，又称浓度梯度，即浓度差越大，扩散率也越大；另一是膜的通透性，由于膜的基架是由脂质双层构成的，所以它只允许脂溶性强的物质（如 O_2 、 CO_2 ），顺浓度差进行扩散，而不允许非脂溶性物质通过。这就把单纯扩散的物质范围，缩小到很小的程度之内。单纯扩散时，不发生能量消耗，纯依理化规律进行，故属被动转运。

2. 易化扩散 易化扩散又称通道扩散或载体扩散。它是指依靠细胞膜上的通道或载体进行的扩散。水溶性小分子物质如糖类和氨基酸类的分子，以及各种无机离子都是依靠此种转运方式通过细胞膜的。细胞膜上的通道和载体都是具有特异性功能的膜蛋白质，但对这种膜蛋白质作用原理却有不同认识。通道学说将膜蛋白质称为通道蛋白，它在一定条件下可发生变构，形成通道。此时顺膜内外浓度差进行扩散的物质，便可经通道通过细胞膜；而在条件改变时，通道又可“关闭”，不再“允许”物质通过。各种物质都有各自专用的通道，而不能交互使用。例如，钙通道只允许钙离子通过，钾通道只允许钾离子通过等。依靠通道进行的扩散，称为通道扩散。载体学说将膜蛋白质称为载体，顺膜内外浓度差进行扩散的物质，必须先与载体结合成复合物，然后由膜的一侧运动或旋转到另一侧，最后被转运的物质再与载体脱离。各种物质也有各自专用的载体。在小肠吸收时的载体转运中，还另有一些特征（详见第二章中的吸收部分）。

目前，在常见的资料中，对无机离子的易化扩散，多用通道扩散加以解释；而对糖类和氨基酸类的分子的易化扩散，则多用载体扩散加以解释。

3. 主动转运 主动转运是指依靠细胞膜上的离子泵，将离子从细胞膜的一侧，逆浓度差转运到另一侧。这种转运需要消耗能量。最常提到的离子泵是钠泵，它可将细胞内的 Na^+ 泵出膜外，同时把细胞外的 K^+ 泵入膜内。通过钠泵不断地活动，使细胞外的 Na^+ 浓度总比细胞内的 Na^+ 浓度高10—20倍，但使细胞内的 K^+ 浓度又总比细胞外的 K^+ 浓

度高30倍左右。这种细胞内外 Na^+ 、 K^+ 分布的不均衡状态是细胞生物电现象的基础。

钠泵的化学本质是一种 Na^+ - K^+ 依赖式ATP酶的膜蛋白质。这种ATP酶可以分解ATP而获得能量，同时又可被细胞内液中的 Na^+ 和细胞外液中的 K^+ 所激活。因此，称为 Na^+ - K^+ 依赖式ATP酶。当细胞内 Na^+ 浓度或细胞外 K^+ 浓度增大时，可使钠泵对 Na^+ 、 K^+ 的主动转运加强。

除钠泵外，体内某些部位的细胞膜上，还有钙泵、氢泵或碘泵等。

4. 胞吞作用 胞吞作用是指体内的某些细胞将膜外大团块物质吞入细胞的特殊活动。其中具有吞噬作用的细胞，是伸出伪足将细菌和衰老的红细胞等吞入细胞的，这种方式称为吞噬作用。有些细胞如毛细血管内皮、肠上皮细胞和甲状腺上皮细胞等，则是先在细胞膜上出现一个凹陷，然后将胞外一团液体包围起来，形成吞饮小泡，再吞入细胞，这种方式称为吞饮作用。吞噬作用和吞饮作用合称胞吞作用。

5. 胞吐作用 胞吐作用是指体内的某些细胞将其中的分泌物或递质释放到膜外的特殊活动。如腺细胞内合成的分泌物和神经末梢中的递质等，都是通过胞吐作用到达膜外的。

(二) 体内物质的排出 从体内排出到外界环境中的物质，可以分为两类：一类是进入消化道的饲料，经消化吸收后剩余的残渣，以及脱落的肠粘膜等，它们形成粪，由肛门排出；另一类是细胞内代谢的终产物，它们需要依靠血液的运送，到达排泄器官，以不同的形式排出体外。如到达肾的以尿的形式排出，到达汗腺的以汗的形式排出等。

二、刺激与反应的联系

家畜生活的环境包括两重含义：一是自然环境；另一是人工为其创造的饲养管理环境。这两种环境特别是自然环境是经常变化的，变化产生的刺激，引起机体发生适应性反应。一般来说，机体的各种活动都是适应性反应的表现形式。

(一) 刺激 环境是经常变化的，如季节变换，气温升降，昼夜更替，风霜雨雪，以及饲草、饲料的改换，发情母畜的出现等，都可对家畜机体产生刺激。因而可以概括地说，刺激就是环境因素的变化。

由于机体是由亿万不同形态和功能的细胞组成的，环境变化的刺激不可能直接作用于各个器官、组织和细胞，而需经过特殊的途径和特殊的方式间接的发挥刺激作用。这个中介主要是神经系统。具体地说，就是环境变化的刺激，通过神经系统，才能作用于体内的器官、组织和细胞。神经系统首先把各种能量形式的刺激，如机械的、声的、光的和温度的，统一转化为电信息，传至神经中枢，经过中枢的整合作用，最后再引起各个器官、组织和细胞的反应。

由此可见，环境变化的刺激，在引起机体反应时，只有通过神经系统这个中介才有实际的刺激意义。但是神经系统的作用，决不只是简单地传递刺激信息，而且它还可将环境变化时同时或连续出现的各种信息加以分析综合。所以，体内各器官、组织和细胞得到的刺激信息，实质上是经过神经系统“加工”了的信息，而已不是原始的环境变化时的刺激信息了。

总之，刺激来自环境变化，它需要通过神经系统的传递并“加工”，才能引起机体

的各种适应性反应。

(二) 反应 机体受到刺激后,即出现相应的反应。通过神经系统对刺激作出的反应,称为反射。机体对刺激的反应,从总体上说有两种:一是兴奋;二是抑制。

兴奋是指机体由相对静止状态转变为活动状态,或由活动较弱的状态转变为活动较强的状态。例如,肌肉由不收缩到收缩,或由微弱收缩到剧烈收缩;腺体由不分泌到分泌,或由少量分泌到大量分泌等。

抑制是指机体由活动状态转变为相对静止状态,或由活动较强的状态转变为活动较弱的状态。例如,肌肉由收缩到不收缩,或由剧烈收缩到微弱收缩;腺体由分泌到不分泌,或由大量分泌到少量分泌等。

应该指出,兴奋和抑制都是机体对刺激的反应形式,它们之间是互相联系的,在一定条件下,又可互相转化。抑制决不表示静止或停止。

第二节 细胞的兴奋性

机体内各种活的细胞都有兴奋性。细胞的兴奋性是机体一切生命活动的基础。细胞的兴奋性是指细胞对于刺激发生反应的能力或特性。体内各种细胞兴奋性的高低是不同的,其中以神经细胞、肌细胞和腺细胞的兴奋性较高,故将这些细胞称为可兴奋细胞。可兴奋细胞只是生理学中一个特定概念,它并不表示其他细胞没有兴奋性。

由于细胞的兴奋性只是细胞的一种属性,所以对它的强弱和变化,只有在其受到刺激时才能表现出来,并为人们所认识。在研究这个问题时,虽可使用各种性质的刺激,但最常用的是直接施予细胞的电刺激。

一、刺激与细胞兴奋

刺激能否使细胞表现兴奋,既决定于刺激方面的情况,又决定于细胞方面的情况。

(一) 细胞方面 在细胞方面又包括:

1. 细胞的机能状态 细胞处于某些状态时,任何刺激强度都不能使之兴奋,并表现出反应。例如,细胞在其绝对不应期中,任何刺激都不能使之兴奋。

2. 细胞对刺激性质的要求 某些细胞只能接受特定性质的刺激,其他性质的刺激都不能引起兴奋。例如,视网膜细胞只能接受一定波长的光波刺激,内耳听细胞只能接受一定频率的声波刺激等,而它们却不接受其他性质的刺激。

3. 细胞对刺激强度和刺激作用时间的要求 过强或过弱的刺激,以及刺激作用时间过短,都不能引起细胞出现兴奋。

(二) 刺激方面 在刺激方面又包括刺激强度和刺激作用时间。

1. 刺激强度 刺激强度可分阈刺激、阈上刺激和阈下刺激。

阈刺激 阈刺激是指刚能引起细胞出现兴奋的最小刺激强度。这一强度值,称为阈值(threshold)。阈值可作为衡量细胞兴奋性强弱的标准。细胞兴奋性高的,阈值就低,即较弱的刺激即能使之兴奋;细胞兴奋性低的,阈值就高,即较强的刺激才能使之兴奋。

阈上刺激 阈上刺激是指刺激强度大于阈刺激的刺激。通常所说的刺激,往往指的

都是这种刺激。这种刺激的强度不是一个，而是一个强度范围。在此范围内的任何强度，都可使细胞出现兴奋。细胞兴奋时可使细胞膜产生动作电位（详见下节）。由于任何阈上刺激引起的动作电位都是一样的，所以对单一细胞而言，细胞的兴奋不随阈上刺激强度的改变而改变。但对组织或器官而言，阈上刺激强度的增大，可使更多的细胞兴奋，而表现较强的反应。如果刺激强度超过阈上刺激，非但不能使细胞出现兴奋，还往往造成细胞的损伤。

阈下刺激 阈下刺激是指刺激强度小于阈刺激的刺激。这种刺激只能引起细胞微弱的局部反应，而不能形成膜上的动作电位，所以说它不能引起细胞的兴奋。

2. 刺激作用时间 刺激作用时间是指刺激作用于细胞的时间。如果此时间过短，即使刺激强度达到阈值以上，也不能引起细胞出现兴奋；而如果此时间过长，则由于细胞对刺激产生适应，使其兴奋性逐渐降低，而阈值却逐渐升高，以致原来可引起细胞兴奋的阈刺激，却不再引起细胞出现兴奋。

3. 强度-时间曲线 上述引起细胞兴奋的刺激强度和刺激作用时间之间的关系，可用强度-时间曲线表示（图1-1）。

从曲线中可以看出它们之间的三种关系：①刺激强度越大，引起细胞反应的刺激作用时间越短；而刺激强度越小，则引起细胞反应的刺激作用时间越长。②如果刺激强度减弱到R点所示强度以下，则无论刺激作用时间如何延长，都不能引起细胞的反应，故R点所示的刺激强度，乃是引起细胞反应的最小强度，称为基强度（rheobase）。有人主张，用2倍基强度对细胞进行刺激，以其所需刺激作用时间的长短作为衡量细胞兴奋性强弱的尺度，这一时间称为时值（chronaxie）。③如果刺激作用时间减少到T点所示的时间以下，则无论刺激强度如何加强，都不能引起细胞的反应，故T点所示的刺激作用时间，乃是引起细胞反应的最短时间长度。

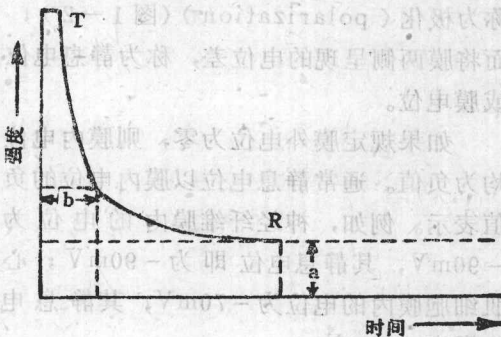


图1-1 强度-时间曲线

a. 基强度 b. 时值

二、细胞兴奋性的变化

在细胞受到刺激后的极短时期内，其兴奋性可发生四个阶段的规律性变化，然后又恢复至正常水平。这四个阶段依次为：①绝对不应期，在此期内，细胞的兴奋性由正常水平降低至零，故对于任何强大的另一刺激，都不再进行反应。在可兴奋细胞中，神经细胞的绝对不应期最短，骨骼肌细胞的次之，心肌细胞的最长。这一时期的长短，与细胞在单位时间内能够接受连续刺激并产生反应的次数有关。②相对不应期，在此期内，细胞的兴奋性开始并逐渐恢复，但还未达到正常水平，故原来能引起其反应的阈刺激，却不能引起其反应，而需强度更大的刺激才能使之产生反应。③超常期和低常期，二者都是细胞兴奋性恢复过程中发生的微高或微低于正常水平的波动阶段。

第三节 细胞的生物电

细胞的生物电存在于一切活的细胞膜处。它对神经传导、心脏收缩和胃肠运动等许多生理活动都有重要作用。细胞的生物电有两种表现形式：静息电位和动作电位。

一、静息电位

静息电位是指细胞安静时的膜电位。它是动作电位产生的基础。

(一) 静息电位的概念 在用电生理学方法对安静状态下的神经纤维进行研究时，如将微电极和参考电极都置于细胞膜的外表面，无论置于何处，电位差均为零，这表明膜的外表各点的电位都是相等的。如果将参考电极置于细胞膜的外表面，而将微电极刺入膜内，就会立即出现 -90 毫伏(mV)的电位差，这表明细胞膜的内外存在着不相等的电位，其极性都是膜外为正，膜内为负。对于这种膜两侧所维持的外正内负的状态，称为极化(polarization)(图1-2)；而将膜两侧呈现的电位差，称为静息电位或膜电位。

如果规定膜外电位为零，则膜内电位均为负值。通常静息电位以膜内电位的负值表示。例如，神经纤维膜内的电位为 $-90mV$ ，其静息电位即为 $-90mV$ ；心肌细胞膜内的电位为 $-70mV$ ，其静息电位即为 $-70mV$ 。

(二) 静息电位的成因 静息电位是由两方面的原因形成的：一个是细胞膜内外各种离子不均匀的分布，特别是 K^+ 的不均匀分布；二是细胞膜对各种离子具有不同的通透性。

在正常情况下，细胞内的 K^+ 浓度比膜外的 K^+ 浓度约高30倍，而细胞外的 Na^+ 浓度却比膜内的 Na^+ 浓度高10—20倍。于是细胞内的 K^+ 就有向膜外扩散的趋势，而细胞外的 Na^+ 也有向膜内扩散的趋势。由于细胞膜对 K^+ 有些通透性，而对 Na^+ 几乎没有通透性，故细胞内的 K^+ 可以通过易化扩散到达膜外，而 Na^+ 则不能。 K^+ 的跨膜外流，使膜外的电位变正，而使膜内的电位变负。但由于 K^+ 的跨膜外流是有限度的，膜内外所形成的外正内负也只能发展到一定程度，而不能继续发展下去。这是因为随着 K^+ 的逐渐外流，膜内外原来存在的 K^+ 的浓度差逐渐减小，凭此浓度差进行的易化扩散也逐渐减弱。此外，膜外正电荷的增多，引起对 K^+ 的排斥，膜内正电荷的减少，又引起对 K^+ 的吸引，它们共同组成阻止 K^+ 外流的力量。随着 K^+ 外流力量的逐渐减小和阻止 K^+ 外流力量的逐渐增大，最终两种力量达到平衡，不再有 K^+ 的外流，于

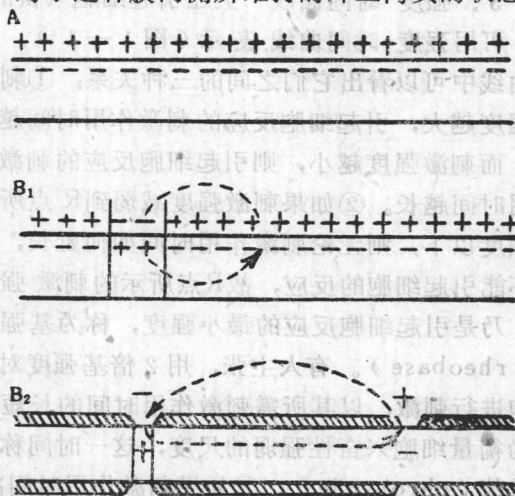


图1-2 静息电位和动作电位

A. 静息电位 B₁. 无髓神经纤维上的传导
B₂. 有髓神经纤维上的跳跃传导

是形成了静息电位。

由上可知，静息电位主要是由 K^+ 的跨膜外流造成的，所以静息电位基本上就是 K^+ 的平衡电位。

二、动作电位

动作电位是细胞受到刺激引发的电位。它是细胞兴奋的标志，对机体发挥着信息传导作用。

(一) 动作电位的概念 在细胞受到刺激时，使静息电位迅速变化，膜的极化状态受到破坏，并出现一系列新的电位变化。对此电位变化过程，称为动作电位。动作电位由锋电位和后电位组成，锋电位是动作电位的主要组成部分，通常以它作为细胞兴奋的标志，而后电位只是细胞兴奋后恢复时的电反应（图1—3）。

锋电位包括一个升支和一个降支。当细胞受到刺激时，静息电位即发生减小，静息电位的减小，称为去极化。在去极化开始后的一个阶段内，即由静息时的 -70mV 减小至 -55mV 期间，去极化的速度较慢，细胞只表现局部兴奋。但当去极化达到 -55mV 时，立即爆发迅速的去极化，形成陡峭的升支。爆发迅速去极化的临界点，称为阈电位。然后膜电位不仅减小到零，而且达到 $+35\text{mV}$ 。膜

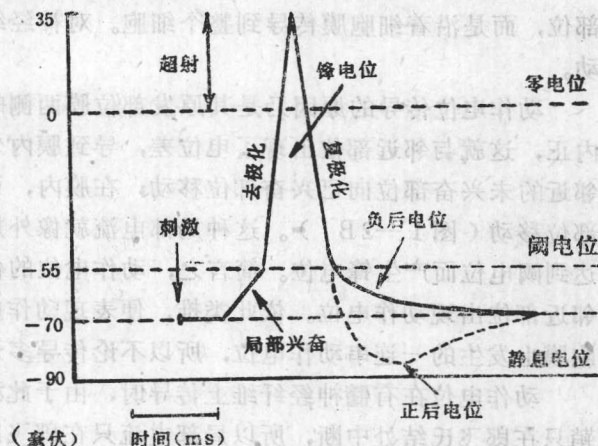


图1—3 动作电位的组成

膜电位发生的去极化和超射不仅破坏了静息电位时的膜电平衡，而且使原来膜内外的外正内负状态转变为外负内正状态，这种现象称为反极化。

当锋电位达到顶点后，又开始向静息电位恢复，于是形成降支。降支反映膜的复极化。在复极化达到静息水平之前，膜两侧的电位差还要经过一些微小而缓慢的波动，这些波动就是后电位。

锋电位出现的全过程极为短暂，仅历时1毫秒（ms）左右。在此过程中的绝大部分时间，包括全部升支和与升支相连的绝大部分降支，细胞的兴奋性都降为零，不能接受任何新的刺激而兴奋，称为绝对不应期；以后，随着细胞的复极化，细胞的兴奋性逐渐恢复，能够对较强的刺激产生反应，称为相对不应期。

(二) 动作电位的成因 当细胞受到刺激时，首先引起受刺激部位的膜的去极化，这种局部的轻度的去极化还不足以引发动作电位，但在局部去极化发展到阈电位后，即从静息电位时的 -70mV 发展到 -55mV 时，则引起细胞膜上 Na^+ 通道的突然开放，加之细胞外的 Na^+ 浓度本来就大于膜内的 Na^+ 浓度，于是便发生了 Na^+ 的大量跨膜内流，使膜内的负电位迅速改变为正电位，即从 -55mV 改变到零，并进一步达到 $+35\text{mV}$ ，这就形成了锋电位的升支。