

运动生理学

函授大专试用教材

北京体育师范学院
生理教研室



前 言

本教材（试用本）是参照体育院、系，师范院校体育系和体育运动学校所编写的《人体生理学》，《运动生理学》编写而成的。

本课程的编写是从体育院系培养目标的需要出发，除适用于函授和大专学生教学使用外，也可作为体育教师，教练员，运动员，自学参考读物。但由于编写人员的水平有限，错误及不足之处在所难免，欢迎指正。

参加本教材编写的人员有刘润波，张玉青，张开，程菠，孙明。

北京体育师范学院生理教研室

1985年9月

一 运动生理学的研究对象和任务

运动生理学是人体生理学的一个分支。人体生理学是研究正常人体机能活动规律的科学，而运动生理学是研究健康人在运动中和在运动训练的影响下机能活动规律的科学。运动生理学的研究任务是：在认识了人体机能活动基本规律的基础上，进一步研究各种体育活动和运动训练对人体机能的影响；运动和训练过程的生理学原理，以及不同年龄、性别，不同运动项目和训练水平的运动员的生理特点等。

通过学习，掌握运动时和在运动训练影响下人体及体内各器官组织的机能所发生的变化和适应，并利用所学到的知识合理地组织体育教学和运动训练，以便更有效地增强体质与提高成绩。

运动生理学是一门实验性科学，因此，常常要通过实验，在人工创造的条件下，使一定的生理现象按所要求的时间和空间出现，以观察和分析它的变化过程及其因果关系。由于有的实验可给人体带来一些损伤，所以，有些规律是在动物身上实验得出的。因此，在运用这些规律时，应注意人与动物的本质不同，不可生搬硬套，而要在人体上再进行实验观察，加以验证。由于现代科学技术的发展，实验手段有了很大的改进，电子显微镜和超微分析技术已把人的视野带进分子水平的微观世界之中。同时，各种生理现象又可通过换能、遥测、多道记录，在不影响人体运动状态的条件下，获得实测数据，使对整体水平的研究也达到了新的高度。

二 机体的基本生理特征

人体和各种生物机体都要进行最基本的生命活动，因而具有共同的基本生理特征，主要是指新陈代谢，应激性和兴奋性，以及适应性。

（一）新陈代谢

新陈代谢是生命最基本的特征。它具有不断地进行物质代谢，能量代谢和自我更新的特点。新陈代谢包括同化作用和异化作用两个过程。同化作用是生物体从外界摄取物质，经过复杂的变化，合成自身新的原生质，并且储存能量的过程。异化作用是生物体分解体内旧有的原生质，释放能量并排出废物的过程。也就是说生物体与周围环境之间

不断进行物质交换和能量转换的过程。新陈代谢是生物体生命活动的最基本的特征，是生命活动的基础，一旦新陈代谢停止，生命也就终止。

（二）应激性和兴奋性

应激性：应激性是指活组织或有机体在环境发生变化时发生相应的反应的能力。这种反应可表现为生理活动方面或生物化学方面的某些变化。

活组织的反应是环境的变化引起的。通常把能够引起活组织产生反应的环境变化称为刺激。刺激的种类很多，如电的、机械的、化学的、温度的等等。机体组织受刺激后发生什么样的反应，取决于它的结构和机能特点。但是不论哪种组织，它们对刺激发生的最基本的反应是物质代谢的改变。以物质代谢的变化为基础，各种组织可以产生它们所特有的反应，如神经可产生兴奋，腺体产生分泌，白细胞趋向异物并产生吞噬，肌肉产生兴奋后还可发生收缩等。

兴奋和兴奋性：兴奋是指活组织在刺激作用下所产生的一种可传播的，并伴有电活动现象的反应过程。组织能够产生兴奋的能力称为兴奋性。在人体中，神经和肌肉组织是具有兴奋性的组织。

兴奋在神经上发生后，就沿神经传导；当传导到和它有生理性联系的另一组织时，将影响后一组织的活动；或增强它的活动，使它也发生兴奋；或减弱它的活动，使之抑制。

（三）适应性

适应性是指机体在某一环境变化的条件下，其结构和机能发生相应变化的一种特性。例如长期从事训练的运动员血液中红细胞数量也较常人有所增加，这就是机体对运动时氧气供应不足所产生的适应。

三 人体生理机能的调节

人体的生理活动十分复杂，要涉及到许多器官，尽管这些组织、器官的构造和机能高度分化，但在进行活动时是密切配合、协调一致的。例如人体在运动时，不仅有关肌群的活动在时间与空间上配合恰当，而且肌肉的血管舒张，血流加快，以供给肌肉更多的氧气和养料，带走代谢产物，同时心脏活动也加强，呼吸也加深加快，以保证血液的供给和气体的交换等。所有这些变化，都与肌肉活动的加强相适应。由此可见，机体是作为一个完整统一的有机整体而活动与生存的。这种生理过程的完整与统一，在生理学中称为“整合”。

机体生活在周围环境之中，假如某种环境变化作用于机体，机体也要发生相应的改

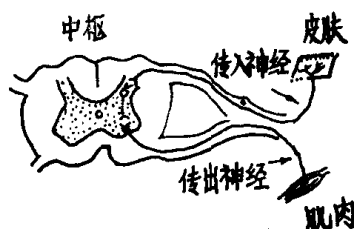
变，以保持对环境的适应和统一。

机体内部的完整统一，机体与环境之间的动态平衡，是通过复杂的生理调节过程来实现的。调节可分为神经调节、体液调节和组织器官的自身调节三种。

(一)、神经调节

神经调节是机体机能调节的最主要方式，它是由神经系统的活动来完成的。其特点是迅速而精确。反射是神经调节的基本方式。

1、反射：机体在神经系统的参与下，对刺激所作出的反应称为反射。如强光照射眼睛时，瞳孔就会缩小；食物入口，就会引起唾液分泌等。这些都是反射，完成反射活动的神经结构基础称为反射弧，它包括五个部分（图绪—1）。



(1) 感受器：是接受体内外各种刺激的器官和专门机构，接受刺激后能产生一系列生理变化，使代谢过程发生改变。此时感受器由原来的安静状态转变为活动状态，即产生兴奋。

(2) 传入神经：是感受器与神经中枢的联系通路。刺激感受器所产生的兴奋沿传入神经传到中枢神经系统。

(3) 神经中枢：是参与该反射的中枢神经系统结构或神经细胞核群。兴奋冲动在中枢神经系统中，有的只经过一个中间神经元，有的则经过多个神经元。经过中间神经元越多，则这种反射就越复杂。神经中枢能将传入的神经冲动加以综合或分析，并发出传出的神经冲动沿传出神经到达所支配的器官。

(4) 传出神经：是神经中枢与效应器官的联系通路。一般说来，向骨骼肌传送冲动的神经，叫做运动神经。向内脏传送冲动的神经，叫做植物性神经。

(5) 效应器：是产生反应的器官或组织，如肌肉、腺体等。它们接受传出神经传来的冲动而生产反应。

每一种反射都有一定的反射弧。反射弧的任何一个部分受到破坏，反射就不能发生。在不同情况下，机体虽然受同样刺激，但可以产生不同的反应。如针刺皮肤，立即躲避；但在注射时，我们可以控制手臂不动。这是因为在前一种情况下，感受器的传入

冲动引起了脊髓中运动神经元兴奋，肌肉因此收缩；在后一情况下，大脑皮质的运动中枢使脊髓中的运动神经元产生了抑制过程，肌肉的收缩被抑制。所以神经元具有兴奋和抑制两种基本活动过程。如果传入冲动引起了中枢神经系统某种机能中枢的兴奋，这种机能就由安静状态转变成活动状态，或活动由弱变强；如果引起了抑制，这种机能活动就减弱或停止。

2、反射的分类：根据反射活动形成的条件和过程可分为非条件反射和条件反射两种。

(1) 非条件反射：是先天性的，反射弧比较固定，结构比较简单，反射中枢在皮层以下部位，是一种较低级的神经活动。非条件反射对维持机体生存有很大意义。如吃饭时分泌唾液，有助于消化和吞咽；躲避疼痛刺激有防御意义等。

(2) 条件反射：是后天获得的，是人或高等动物在生活过程中，在一定的条件下形成的高级神经活动。它建立在非条件反射的基础上，必须有大脑皮质参加。它的反射弧是在一定条件下暂时在皮质内接通的。例如，跑步时由于骨骼肌的本体感受器受到刺激，反射性地引起心跳、呼吸的加强，这是每个人都有的非条件反射。但运动员在作起跑准备时已有心跳、呼吸的加强，这便是条件反射。由此可见条件反射使运动员在运动开始前就作好了准备，使机体对环境变化的适应更加精确和灵活。

(二)、体液调节

体液调节是指体内有些化学物质如激素等对人体器官活动的调节。此外，人体内有些代谢产物如二氧化碳、乳酸等也能使各器官的活动得到一定程度的调节。例如肾上腺素使心跳加快加强，二氧化碳能兴奋呼吸中枢等。但体液调节直接或间接受神经系统的调节，常成为反射弧传出途径中的一个中间环节或辅助部分而发挥作用。因此，这种调节也称为神经一体液调节。

总的来看，神经调节的特点是作用迅速而精确。体液调节作用较慢而持久，且作用范围较广泛，对保持机体内部稳定，新陈代谢的平衡有重要意义。在人体内这两种调节互相影响，相辅相成，但从整个机体调节来看，神经调节占主要地位。

(三)、器官、组织、细胞的自身调节

自身调节，就是说当内外环境发生变化时，器官、组织、细胞不依赖于神经或神经一体液调节而产生的适应性反应。例如，在一定范围内动脉血压降低，脑血管即舒张，以减少血流阻力，使脑血流量不致过少；反之，动脉血压升高时，脑血管则收缩，血流阻力增加，使脑血流量不致过多，自身调节的幅度较小，灵敏度较低，但对于器官、组织的机能调节仍有一定的意义。

机体通过上述三种基本的调节方式，把许多不同的生理反应统一起来，组成完整的、互相配合的生理过程，使机体内部保持相对稳定，并与环境取得平衡。这一调节过程也就是整合过程。

目 录

绪论

- 一、运动生理学的研究对象和任务
- 二、机体的基本生理特征
- 三、人体生理机能的调节

第一章 细胞的基本机能 1

第一节 细胞膜的基本结构和机能 1

- 一、细胞膜的结构 1
- 二、细胞膜的机能 2

第二节 细胞的兴奋性与生物电现象 3

- 一、细胞的兴奋性 3
- 二、细胞的生物电现象 4
- 三、兴奋的传导和传递 8

第三节 肌细胞的收缩机能 10

- 一、骨骼肌收缩原理 10
- 二、单收缩和强直收缩 11

第二章 血 液 13

第一节 机体的内环境 13

- 一、内环境的概念 13
- 二、体液及各种体液间的比例 13
- 三、内环境相对恒定的生理意义 13

第二节 血液的机能 14

- 一、血液的主要机能 14
- 二、血液的化学成分与理化特性 15

第三节 血细胞生理 17

- 一、红细胞 17
- 二、白细胞 18
- 三、血小板 18

第四节 机体中的血型与血量 20

- 一、血量 20
- 二、血型 21

第五节 运动对血液有形成分的影响 22

- 一、安静状态时血液有形成分的变化 22
- 二、运动后血液有形成分的变化 24

第三章 血液循环 27

第一节 心脏生理 27

一、心脏的一般结构	27
二、心肌细胞的生理特性	28
三、心动周期	29
四、心输出量	30
第二节 血管的机能	32
一、各类血管的结构与机能特点	32
二、动脉血压与脉搏	32
三、毛细血管的机能	33
四、静脉的机能	34
第三节 心血管活动的调节	35
一、神经调节	35
二、体液调节	39
第四章 呼吸	40
第一节 肺通气	40
一、肺通气的结构基础	40
二、肺的通气功能	41
第二节 呼吸气体的交换和运输	45
一、呼吸气体的交换	45
二、气体在血液中的运输	47
第三节 呼吸的调节	51
一、呼吸中枢	52
二、呼吸中枢对呼吸运动的调节	53
三、呼吸的反射性调节	53
第五章 消化与吸收	56
第一节 消化	56
一、口腔内消化	56
二、胃内消化	57
三、小肠内消化	57
四、大肠内消化	59
第二节 吸收	59
一、营养物质吸收的机理	59
二、各种主要营养物质的吸收	60
第六章 物质和能量代谢	61
第一节 物质代谢	61
一、糖代谢	61
二、蛋白质代谢	65
三、脂肪代谢	66
第二节 能量代谢	67
一、能量的来源、转移与利用	67
二、影响能量代谢的主要因素	69

三、基础代谢	70
四、测定能量消耗的方法	71
第七章 体 温	73
第一节 正常体温及其生理变动	73
第二节 产热与散热	74
一、产热	74
二、散热	74
第三节 体温调节	75
第八章 肾脏的排泄	77
第一节 肾脏的基本结构特点	77
一、肾单位的基本结构	77
二、肾脏的血液循环特点	78
第二节 肾脏的机能	78
一、肾脏的泌尿机能	78
二、肾脏对维持内环境相对稳定的作用	81
三、肾脏分泌的生物活性物质	84
第九章 神经系统	85
第一节 神经元、突触的结构和机能	85
一、神经元	85
二、突触	85
第二节 中枢兴奋传导的特征	87
一、反射中枢	87
二、兴奋通过反射中枢的特征	87
三、中枢抑制	88
四、兴奋与抑制过程的相互关系	89
五、反射活动的协调	90
第三节 中枢神经系统各部位的机能概述	92
一、脊髓	92
二、延脑和脑桥	92
三、中脑	92
四、小脑	93
五、间脑	93
第四节 神经系统的感觉机能	93
一、感觉器的一般生理特征	93
二、感觉的传入途径	94
三、大脑皮层的感觉机能	95
第五节 神经系统对躯体运动的调节	96
一、脊髓的运动神经和运动单位	96
二、牵张反射	97
三、姿势反射	98

四、大脑皮层对躯体运动的调节	100
第六节 植物性神经系统的机能	101
一、植物性神经系统的结构与机能特点	101
二、大脑对植物性机能的调节	104
第七节 脑的高级机能	104
一、大脑皮质的电活动	104
二、条件反射	105
三、人类的语言机能	109
第十章 内分泌	111
第一节 主要内分泌腺及其作用	112
一、甲状腺	112
二、甲状旁腺	112
三、胰岛素	112
四、肾上腺	113
五、性腺	114
六、脑垂体	115
第二节 内分泌腺的相互关系和调节	115
一、内分泌腺的相互关系	115
二、中枢神经系统对内分泌活动的调节	116
第十一章 感官	117
第一节 视觉	117
一、眼的感光机能	118
二、晶状体与瞳孔的调节作用	119
三、视力与视野	119
四、中央视觉与周围视觉	120
五、视觉在体育运动中的作用	120
第二节 听觉	122
一、耳的传音机能	123
二、听觉的适应与疲劳	123
三、听觉在体育运动中的作用	124
第三节 位觉	125
一、前庭器官的感受机能	125
二、提高位觉机能的训练方法	126
三、体育运动对位觉的机能影响	127
第四节 本体感觉	127
一、肌梭与腱梭的感觉机能	127
二、本体感受器的调节与运动训练	128
第五节 皮肤感觉	131
一、触觉和压觉	131
二、温觉	131
三、痛觉	131
第六节 内脏感觉	132
第十二章 运动技能的形成	133

第一节 运动技能的生理本质	133
第二节 形成运动技能的阶段	136
一、泛化阶段	136
二、分化阶段	136
三、巩固阶段	136
第三节 影响运动技能发展的因素	137
一、直感性教学	137
二、想练结合	138
三、减少或增大难度	138
四、帮助与保护	138
五、充分利用运动技能间的良好作用	138
第十三章 身体素质的生理学基础	140
第一节 力量素质	140
一、力量素质的分类	140
二、决定力量大小的生理基础	141
三、几种力量训练的方法	142
四、发展力量的几个原则	142
第二节 有氧耐力与无氧耐力	143
一、耐力的分类	143
二、各种跑的能量供应特点	143
三、最大摄氧量是有氧耐力的指标	144
四、最大摄氧量(有氧耐力)的生理基础	146
五、无氧耐力与其生理指标	148
六、有氧训练与无氧训练	148
第三节 速度素质	151
一、决定速度快慢的生理基础	151
二、提高短跑速度的训练方法	153
第四节 灵敏和柔韧素质	153
一、灵敏素质	153
二、柔韧素质	154
第十四章 运动过程中人体机能变化的规律	156
第一节 赛前状态	156
第二节 进入工作状态	157
第三节 稳定状态	158
第四节 疲劳	159
一、发生疲劳的原因	159
二、消除运动性疲劳的措施	160
第五节 恢复过程	160
第十五章 体育教学与训练的生理学基础	162
第一节 体育教学与训练主要原则的生理学基础	162
一、全面身体发展	162
二、循序渐进	165

三、区别对待	166
第二节 运动量的生理学评价.....	166
一、影响生理负荷量大小的主要因素	167
二、体育教学与训练的适宜运动量的生理学分析	168
第三节 准备活动与整理活动的生理作用.....	169
一、准备活动	169
二、整理活动	170
第四节 运动效果的生理学评定.....	172
一、安静状态时运动效果的生理学指标	173
二、不同训练程度的人体对定量负荷的反应	178
三、最大运动负荷时训练程度的标志	180
四、影响运动效果的因素	182
第十六章 儿童少年、女子的解剖生理特点和体育教学与训练.....	185
一、年令阶段的划分	185
二、青春发育期	185
三、第二性征	186
第一节 儿童少年各器官系统的解剖生理一般特点和 体育教学与训练.....	186
一、骨骼与关节的特点	186
二、肌肉的特点	187
三、血液循环系统的特点	188
四、呼吸系统的特点	190
五、神经系统的特点	190
第二节 女子解剖生理特点和体育教学与训练.....	192
一、女子生理阶段的划分	192
二、女子的解剖生理特点	192
三、体育教学与训练	195
第三节 儿童少年身体素质发展的年令特点和体育教学与训练.....	195
一、儿童少年身体素质发展的特点	196
二、各项素质发展的年令特征	199
第十七章 主要运动项目的生理特点.....	206
第一节 运动练习的分类.....	206
第二节 田径运动的生理特点.....	208
第三节 体操运动的生理特点.....	217
第四节 球类运动的生理特点.....	220
第五节 游泳运动的生理特点.....	225
第六节 武术运动的生理特点.....	227
第七节 举重运动的生理特点.....	230

第一章 细胞的基本机能

细胞是基本生命单位，是实现生命活动的结构基础。虽然人体中细胞种类繁多，形态各异，且每一种细胞都有其独特机能，但各种细胞间仍有其共同的基本结构和机能。

第一节 细胞膜的基本结构和机能

细胞膜是包被在细胞外面的一层薄膜。它是细胞的屏障，保证细胞的完整，为维持细胞的正常生命活动提供前提条件。同时，细胞膜又在新陈代谢过程中起着转运“通道”和接受外界影响的“门户”作用。此外，细胞的运动，分裂，繁殖等功能也均与细胞膜有关。

一. 细胞膜的结构

细胞膜是包围在细胞外的弹性薄膜，厚75—100Å（埃）。近年来，有关细胞膜分子结构已为人们广泛接受的是“液态镶嵌模型学说”。即细胞膜的分子结构是以液态脂质双分子层为基架，其中镶嵌着具有各种生理机能的球形蛋白质。（见图1—1）

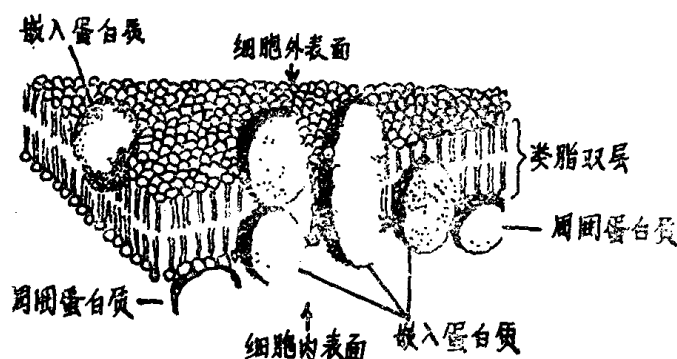


图1—1 液态镶嵌模型示意图

（一）液态脂质双层

组成细胞膜基架的脂质分子为磷脂（占70%）和胆固醇（占30%）。其结构特点为具有“一头两尾”的长杆状。头为易溶于水的亲水端，尾为不溶于水而易溶于脂肪溶剂的疏水端。细胞膜就是由两层这样的脂质分子构成，称为脂质双层。构成时，两层分子的亲水端分别朝向膜的内、外表面，而两层分子的疏水端则面对面地朝向双分子层中央，借分子引力互相吸引。由于组成细胞膜的脂质分子其熔点低于体温，因而这种脂质双层

是液态的，有一定程度流动性。

细胞膜的脂质双层结构使之具有很低的通透性，在实现细胞膜的屏障作用中起主要作用。

(二)球状膜旦白质

在细胞膜的脂质双层基架中，镶嵌着多种球状膜旦白质。细胞膜的多种功能就是靠这些膜旦白来完成的。膜旦白质可分为嵌入旦白质和表面旦白质，前者贯穿整个脂质双层或部分嵌入脂质双层，后者只是附在膜的内表面。

各种膜旦白，均有其特殊机能。有的是结构旦白；有的执行“泵”的机能，能将某些离子，如钾、钠等离子主动泵过细胞膜；有的是细胞膜的受体；有的与转运机能有关。由于膜内脂质是流动的，所以膜的球形旦白质也不是固定在一处，而是可以移动的。

细胞膜的外表面，还覆盖有一层厚约100—200Å的细胞被，或称细胞外衣，主要由大量多糖组成，它们与膜内的脂质和旦白质结合形成糖脂或糖旦白。细胞被亦与细胞的多种机能有关。

二. 细胞膜的机能

(一)细胞膜的转运机能

细胞内新陈代谢的不断进行，是通过细胞膜有选择地在细胞内外不断进行各种各样的物质交换来完成的。细胞膜的常见物质转运形式有如下几种：

1、单纯扩散 扩散是一种不消耗能量的，被动的物理过程，是分子或离子从高浓度一侧通过细胞膜向低浓度一侧的运动。浓度差越大，扩散率越大。由于细胞膜是一层脂质膜，因而只有能溶于脂质的物质分子，才有可能从膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散。人体内单纯依靠扩散而通过细胞膜的物质是较少的，主要有 O_2 和 CO_2 等气体分子。

2、易化扩散 是指一些不溶于脂质的物质或亲水的物质如钾、钠离子，葡萄糖，氨基酸等小分子物质，在细胞膜旦白帮助下，由膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散或转运过程，这一过程也是不消耗能量的。

3、主动转运 上述这两种扩散都是顺浓度梯度不消耗能量的被动转运。主动转运是被称做“泵”的膜旦白将某种物质逆浓度差的转运过程，即将物质由低浓度一侧通过细胞膜主动转运到高浓度一侧的过程。这是一种消耗能量的过程。如同水泵消耗能量，克服水位差把水从低处泵到高处一样，故使用“泵”这个词。

在细胞膜的主动转运中最重要研究最充分的，是关于“钾钠泵”简称“钠泵”对钠钾离子的转运（详见第二节）。钠泵是一种镶嵌在细胞膜上的膜旦白。它是一种具有ATP活性的特殊旦白质，它可以被 Na^+ ， K^+ 和 Mg^{++} 等激活，被激活后分解ATP获得能量，进行 Na^+ ， K^+ 的转运。一般认为，钠泵每分解一个ATP分子，可以转运三个 Na^+ 和两个 K^+ 。人体消耗的总能量中，约有20%消耗在钠泵转运中。

除钠泵外，人体细胞中还存在其他种离子泵，如肌细胞中的钙泵，甲状腺上皮中的碘泵等。

4、胞吞作用和胞吐作用 上面所叙述的三种转运形式，都是物质以离子或分子的形式通过细胞膜的。对于某些大分子物质和物质团块的转运，可通过膜的更为复杂的变化，使之通过细胞膜，分别称之为胞吞、胞吐作用。胞吞作用是由某些具有胞吞作用的细胞把细菌、衰老的红细胞等大团块固体物质，液体物质吞噬入胞的过程。胞吐作用是指大团块物质从细胞内排出的过程。

(二)细胞膜的受体机能

人体活动的协调是通过人体内的神经调节和体液调节机制来实现的。神经调节的信息在神经纤维上是以电信号传递的，体液调节的信号则是通过循环血流运送的激素等化学物质来传递的，神经和血液传递的这些信息是如何为细胞所接受的呢？现已知道，这些信息不是直接进入细胞而是与细胞膜表面上的特定结构即细胞受体相结合，然后通过受体影响细胞内部的代谢活动或膜本身的通透性。

第二节 细胞的兴奋性和生物电现象

一. 细胞的兴奋性

兴奋性是指活组织具有的对刺激发生反应的能力或特性。它是一切有生命的细胞或组织的共同特性，这一特性在神经细胞、肌细胞和腺细胞表现得特别明显，因而这三类细胞被称为可兴奋细胞，对可兴奋细胞来说，凡是可引起兴奋的动因都叫做刺激。在生理学实验中，通常使用电作为刺激物，这是因为电刺激与生理状态相似(见后述)，且其刺激的强度和时间比较容易控制并可多次重复而对组织无损伤。

在实验中，固定时间，电刺激神经肌肉标本上的神经(如蛙的坐骨神经—腓肠肌标本)以肌肉收缩作为神经产生兴奋的指标。改变电刺激的强度，由小到大，当刺激强度过低时，没有反应。逐步增加强度，可找到一个刚刚可引起最小收缩反应(即神经兴奋)的有效强度，叫做阈强度，具有这种临界强度的刺激叫做阈刺激。低于阈强度的刺激叫做阈下刺激，高于阈强度的刺激叫做阈上刺激。然后改变用另一个固定持续刺激时间，

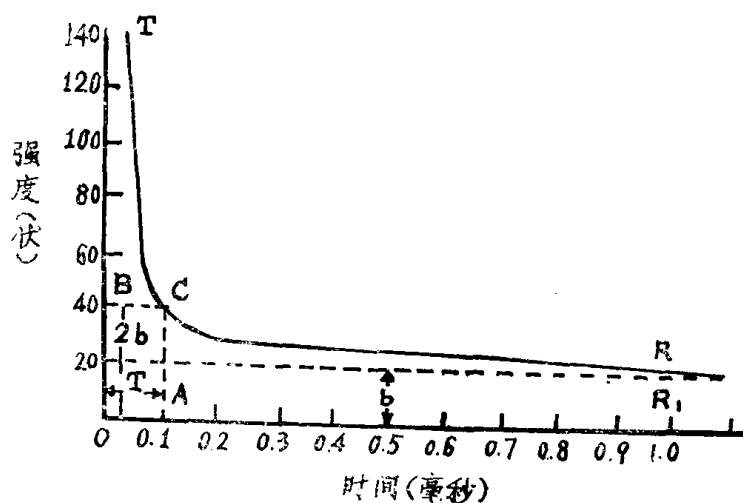


图1-2 强度—时间曲线

同样找出刚刚引起最小反应的强度，并以此类推，这样可得出系列阈刺激的数据，每一个阈刺激都具有一定的时间和强度阈值，把这些数据画在坐标纸上，横坐标代表刺激时间，纵坐标代表刺激强度，结果得到一条时间—强度曲线（见图1-2）。

这条曲线表示的是刚刚能引起最小肌肉反应所需要的刺激时间与强度的关系，通过这条曲线可以表明细胞兴奋的特征。从曲线上可以看出它的两边逐渐分别成为横、竖坐标的平行线，这意味着，无论刺激时间多长，有一个最低的基本强度阈值 b ，称做基强度，低于基强度的刺激一律无效。同样，若将曲线T端延伸，将成为纵坐标平行线，说明无论刺激强度如何大，有一个最短的基本时间阈值，短于此时间的刺激也一律无效。说明要引起兴奋，刺激必须有一定的时间或强度保证才能有效。时间—强度曲线表现了组织兴奋的普遍规律。

二. 细胞的生物电现象

（一）细胞的静息电位

1、静息电位的测量 静息电位是指细胞未受到刺激时存在于细胞膜内、外两侧的电位差。在实验中（如图1—3所示）将一条单个的神经纤维分离出来，把测量生物电的仪器（阴极示波器）的二个测量电极中的一个放在浸泡神经纤维的溶液里，另一个连接一个尖端不到1微米的微细探测电极，准备插入到神经纤维膜内（如图1—3A所示）此时示波器上的曲线描成一条直线（见图1—3A），表明两电极间无电位差存在，也就是说膜外各点电位相同。一旦微电极刺破细胞膜，进入细胞质内，直线立即下降，在-90毫伏处成直线（图1-3B），这表明膜内外存在电位差，且细胞膜外是正电位，膜内是负电位。因为规定膜外电位为零，所以膜内电位为-90毫伏。由于这一电位差是存在于安静细胞膜内、外两侧的，故称跨膜静息电位，简称为静息电位或膜电位。

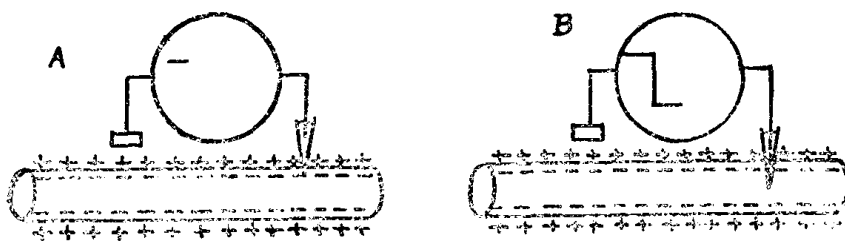


图1—3 静息电位的测量

2、静息电位的成因 用一句话来概括就是由于细胞膜两侧钠、钾离子的不均匀分布造成的。（见表1—1）

在静息状态下，膜对 Na^+ 、 K^+ 的通透性不同，膜对 K^+ 有一定通透性，对 Na^+ 基本不通透，而膜内的 K^+ 浓度大大高于膜外，这一浓度差驱使少量 K^+ 顺浓度差向膜外（易化）扩散，尽管膜外 Na^+ 浓度大大高于膜内，但由于通透性极小而不能扩散到膜内。同时，由于细胞膜内负离子大多是大分子的有机磷酸离子和带负电荷的蛋白质，不能随 K^+ 出膜，而留在膜内。这样一来，膜外侧就有较多正离子，膜内侧则有较多负离子，

表1—1

哺乳动物骨骼肌细胞内外主要离子浓度分布

离 子	细 胞 外 液 (毫克分子/升)	细 胞 内 液 (毫克分子/升)	浓 度 比 (外液/内液)	平 衡 电 位
Na ⁺	145	12	12.2	+66
K ⁺	4	155	1/39	-97
H ⁺	3.8×10^{-7}	13×10^{-7}	1/3.4	-32
Cl ⁻	120	4	30	-90
HCO ₃ ⁻	27	8	3.4	-32
A ⁻	—	155	—	—
电位差	0	-90毫伏		

因而使膜外电位变得较正，膜内电位变得较负，而使膜内外产生了内负外正的跨膜电位差。可见这种电位差是由于膜内的 K⁺ 向外扩散而形成。当由 K⁺ 外流形成的这种内负外正的电位差出现后，它即成为一种阻止 K⁺ 继续向外扩散的力量（同性相斥），因此，当由于高浓度而使 K⁺ 向外扩散的力量和电位差阻止 K⁺ 继续向外扩散的力量相等时（即达平衡时），膜两侧的电位差也就稳定于某一固定数值，这就是静息电位。

实验还证明，静息电位的大小主要取决于膜对 K⁺ 的通透性和膜内外 K⁺ 的浓度差。当膜的通透性降低或 K⁺ 浓度差减小时，均使静息电位的绝对值减小，反之则增大。例如，人工加大细胞外液中 K⁺ 的浓度时，静息电位绝对值下降，而当细胞外液 K⁺ 浓度降低时，静息电位增高。

各类细胞由于膜内外 K⁺ 浓度差不同或膜对 K⁺ 的通透性不同，因而其静息电位也有所不同。例如，哺乳动物的心肌，骨骼肌和神经细胞的静息电位为 -70~-90 毫伏，平滑肌为 -50~-60 毫伏。

（二）动作电位

1、动作电位的波形 在实验中继续用图 1-3 的装置对神经纤维进行观察，由（图 1-4C）可见，在神经纤维的左侧给予一个短促而有足够强度的刺激时，使它产生一次兴

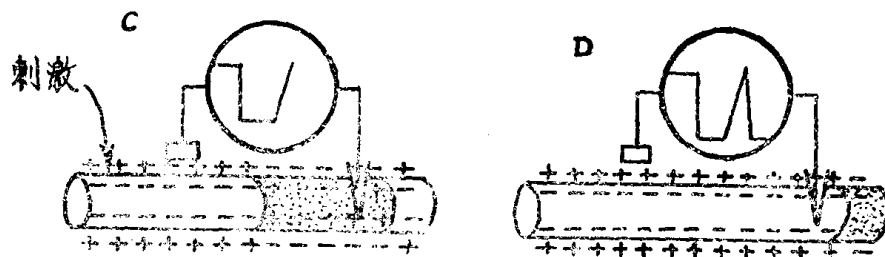


图1—4 动作电位的产生