

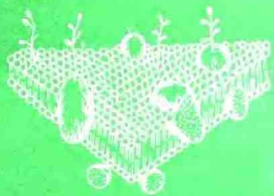
高等医学院校教材

# 医学生理学

YI XUE SHENG LI XUE

丁报春 安志庆主编

湖南科学技术出版社



湘新登字004号

高等医学院校教材  
医 学 生 理 学

丁振春 安志庆 主编  
责任编辑：黄一九 石洪

•  
湖南科学技术出版社出版发行  
(长沙市展览馆路3号)  
长沙市东方印刷厂印装  
(印装质量问题请直接与本厂联系)

•  
1984年1月第一版第1次印刷  
开本：787×1092 毫米 1/16 印张：24.5 字数：548,000  
印数：1—5,000

ISBN 7-5357-1460-3

R·296 定价：14.70元

编者（按姓氏笔划排列）：

- 丁报春 湖南医科大学 教授  
王子栋 暨南大学医学院 教授  
邓南桑 石河子医学院 教授  
方瑞祺 暨南大学医学院 副教授（编委）  
安志庆 内蒙古医学院 教授  
朱子桥 天津第二医学院 教授  
邬力祥 湖南医科大学 副教授（编委）  
刘发益 湖南医科大学 讲师  
李子瑜 江西医学院 教授  
陈家津 青岛医学院 教授  
李增晔 包头医学院 副教授（编委）  
张尚俭 石河子医学院 副教授（编委）  
张玉芹 武汉冶金医专 讲师（编委）  
佟长青 内蒙古医学院 副教授（编委）  
陈蕾 青岛医学院 讲师（编委）  
金秀东 牡丹江医学院 副教授  
岳文杰 牡丹江医学院 讲师  
高桂英 包头医学院 副教授（编委）  
梁惠云 武汉冶金医专 讲师

## 前 言

随着教学改革的不断深入，各类医学院校中的各种系科班次日益增多，学制长短不一，教学时数各异，在教学实践中碰到不少问题。为此，我们根据1991年广州全国教材会议的精神，酝酿了协编一本适合本、专科的两用教材，经过一段准备工作后，于1993年8月在内蒙古呼和浩特市召开了由主编、主审、编委和编者参加的审稿定稿会。全书由绪论、细胞的基本功能、血液、循环、呼吸、消化与吸收、能量代谢与体温、温肾脏的排泄、神经系统、感觉器官、内分泌、生殖等十二章组成。会前各章书稿均分别寄给了各主编、主审审阅修改，会议期间，代表们又认真地审阅修改了书稿，使之基本上符合教学大纲的要求，并力求理论联系实际，基础结合临床，反映较成熟的现代医学生理学的某些新进展，例如激素作用的机制等，此外还增加了血型及其遗传等内容。全书虽非一人挥笔，但因审阅多次，基本上文笔通顺，深入浅出。每章书后专门开辟了一栏《基础与临床》，这有利于学生用课文中的重要基础理论去阐明某些临床机制，或指导临床治疗，也有利于学生反馈理解与掌握基础理论，方便学生学活、用活基础理论。每章书后还附有主要的名词解释和灵活的思考题，有利于学生思考。全书之后按拼音及章节顺序列出了主要名词的中英文索引，并列出了参考书与参考文献，以便学生查找。书后还附有五年制及三年制教学大纲。主要学习对象为高等医学院校五年制学生，也适用于三年制学生，教师可根据教学大纲及教学时数灵活取舍内容。

本教材为全国十所高等医学院校（湖南医科大学、内蒙古医学院、暨南大学医学院、江西医学院、天津第二医学院、石河子医学院、青岛医学院、包头医学院、牡丹江医学院和武汉冶金医学专科学校）协作编写的教材。由湖南医科大学丁报春教授、内蒙古医学院安志庆教授、天津第二医学院朱子桥教授、石河子医学院邓南桑教授及青岛医学院陈家津教授等主编。暨南大学医学院王子栋教授与江西医学院李子瑜教授主审。在编写过程中，内蒙古医学院院长安志庆教授、教务处处长郝富副教授以及湖南医科大学基础医学院院长谢长松教授、曾志诚副院长给予了大力的支持。暨南大学医学院王子栋教授专程由广州赴内蒙古参加编审会、内蒙古医学院生理教研室主任霍银玲教授审阅了内分泌章，湖南省计划生育研究所左诗慧主任医师赴会审阅了生殖章，均提出了许多宝贵意见。湖南医科大学陈玉春讲师担负了大量秘书工作，并负责索引及参考文献的编排等工作，在此一一表示衷心的感谢。尽管如此，但由于时间匆促，加之，我们的认识和水平有限，错误和不妥之处，在所难免。因此，我们热切期望生理学界的老前辈和使用本教材的教师、学生以及其他读者提出宝贵的意见和指正，以便今后进一步修改、补充和完善。

丁报春

1993. 9. 20

# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	( 1 )
<b>第一节 生理学及其研究方法</b> .....	( 1 )
一、宏观研究.....	( 1 )
二、微观研究.....	( 2 )
三、综合研究.....	( 2 )
<b>第二节 生命的基本表现</b> .....	( 2 )
一、新陈代谢.....	( 2 )
二、兴奋性.....	( 3 )
三、适应性.....	( 3 )
<b>第三节 高等动物功能活动的特征</b> .....	( 4 )
一、内环境与稳态.....	( 4 )
二、生物节律.....	( 4 )
三、人体功能活动的调节.....	( 5 )
<b>第四节 生理功能的自动控制原理</b> .....	( 6 )
一、反馈与自动控制.....	( 6 )
二、前馈与自动控制.....	( 7 )
<b>基础与临床</b> .....	( 7 )
<b>第二章 细胞的基本功能</b> .....	( 9 )
<b>第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能</b> .....	( 9 )
一、膜的组成和结构.....	( 9 )
二、细胞膜的物质转运功能.....	( 13 )
<b>第二节 细胞的生物电现象及其产生机制</b> .....	( 18 )
一、细胞的生物电现象.....	( 18 )
二、生物电的产生机制.....	( 20 )
<b>第三节 兴奋的引起和兴奋的传导机制</b> .....	( 26 )
一、刺激与兴奋.....	( 26 )
二、兴奋在同一细胞上的传导机制.....	( 31 )
<b>第四节 细胞间的相互联系和信息传递</b> .....	( 32 )
一、神经-肌肉接头的兴奋传递.....	( 32 )
二、电突触的传递.....	( 34 )
<b>第五节 骨骼肌的收缩功能</b> .....	( 35 )
一、骨骼肌的超微结构.....	( 35 )
二、骨骼肌收缩的机制——肌丝滑行学说.....	( 38 )
三、骨骼肌的兴奋-收缩耦联.....	( 39 )
四、肌肉收缩的形式和力学分析.....	( 40 )

基础与临床	( 44 )
<b>第三章 血液</b>	( 47 )
<b>第一节 概 述</b>	( 47 )
一、血液、体液和内环境	( 47 )
二、血液的组成和功能	( 47 )
三、血液的理化特性	( 49 )
<b>第二节 血细胞生理</b>	( 51 )
一、红细胞	( 51 )
二、白细胞	( 54 )
三、血小板	( 58 )
四、脾脏的功能	( 59 )
<b>第三节 血凝、抗凝与纤维蛋白溶解</b>	( 60 )
一、血液凝固	( 60 )
二、抗凝物质	( 63 )
三、纤维蛋白溶解	( 68 )
<b>第四节 血量、输血和血型</b>	( 65 )
一、血量	( 65 )
二、输血	( 65 )
三、血型	( 65 )
基础与临床	( 69 )
<b>第四章 血液循环</b>	( 72 )
<b>第一节 心脏生理</b>	( 72 )
一、心脏的泵血功能	( 72 )
二、心肌细胞的生物电现象	( 81 )
三、心肌的生理特性	( 87 )
四、体表心电图	( 93 )
<b>第二节 血管生理</b>	( 96 )
一、血管的结构与功能特点	( 96 )
二、血流动力学	( 96 )
三、动脉血压和动脉脉搏	( 99 )
四、静脉血压和静脉血流	( 102 )
五、微循环	( 104 )
六、组织液	( 107 )
七、淋巴液	( 109 )
<b>第三节 心血管活动的调节</b>	( 110 )
一、神经调节	( 110 )
二、体液调节	( 117 )
三、自身调节	( 120 )
<b>第四节 器官循环</b>	( 120 )

一、冠脉循环	( 120 )
二、肺循环	( 123 )
三、脑循环	( 124 )
基础与临床	( 125 )
<b>第五章 呼 吸</b>	( 129 )
第一节 肺通气	( 129 )
一、肺通气的结构	( 129 )
二、肺通气的原理	( 132 )
三、肺容量与肺通气量	( 135 )
第二节 呼吸气体的交换	( 137 )
一、气体交换的原理	( 137 )
二、气体交换的过程	( 137 )
三、影响气体交换的因素	( 138 )
第三节 气体在血液中的运输	( 139 )
一、O <sub>2</sub> 的运输	( 139 )
二、CO <sub>2</sub> 的运输	( 141 )
第四节 呼吸运动的调节	( 142 )
一、呼吸中枢	( 142 )
二、呼吸节律形成的机制	( 143 )
三、呼吸的反射性调节	( 144 )
四、化学因素对呼吸的调节	( 145 )
五、运动时呼吸的变化和调节	( 146 )
基础与临床	( 147 )
<b>第六章 消化和吸收</b>	( 151 )
第一节 概 述	( 151 )
一、消化道平滑肌的生理特性	( 151 )
二、消化腺的分泌及消化液的功能	( 153 )
三、消化道的神经支配及其作用	( 153 )
四、胃肠激素	( 154 )
第二节 口腔内消化	( 155 )
一、唾 液	( 155 )
二、咀 嚼	( 156 )
三、吞 咽	( 157 )
第三节 胃内消化	( 157 )
一、胃 液	( 157 )
二、胃的运动	( 163 )
第四节 小肠内消化	( 165 )
一、胰 液	( 166 )
二、胆 汁	( 168 )

三、小肠液	( 170 )
四、小肠运动	( 170 )
第五节 大肠内消化	( 172 )
一、大肠液与大肠内细菌	( 172 )
二、大肠运动与排便	( 172 )
第六节 吸收	( 173 )
一、概述	( 173 )
二、主要营养物质的吸收	( 174 )
基础与临床	( 177 )
第七章 能量代谢和体温	( 179 )
第一节 能量代谢	( 179 )
一、能量代谢的概念	( 179 )
二、机体能量的来源、去路与平衡	( 179 )
三、能量代谢测定的原理和方法	( 181 )
四、影响能量代谢的主要因素	( 183 )
五、基础代谢率	( 184 )
第二节 体温及其调节	( 185 )
一、体温	( 185 )
二、机体热的平衡	( 186 )
三、体温调节	( 189 )
基础与临床	( 191 )
第八章 肾脏的排泄	( 194 )
第一节 概述	( 194 )
一、肾脏的结构特点	( 194 )
二、肾脏的血液循环特征	( 196 )
三、肾脏的功能	( 197 )
第二节 尿的生成过程	( 198 )
一、肾小球的过滤功能	( 198 )
二、肾小管与集合管的重吸收功能	( 202 )
三、肾小管与集合管的分泌和排泄功能	( 207 )
第三节 尿液的浓缩和稀释	( 209 )
一、尿液浓缩和稀释的机制——逆流学说	( 209 )
二、影响尿液浓缩的因素	( 213 )
第四节 肾脏泌尿功能的调节	( 213 )
一、抗利尿激素	( 213 )
二、醛固酮	( 214 )
三、甲状旁腺激素	( 215 )
第五节 血浆清除率	( 215 )
一、血浆清除率的概念和计算方法	( 215 )



二、测定血浆清除率的意义	( 216 )
第六节 尿的排放	( 217 )
一、膀胱和尿道的神经支配	( 217 )
二、排尿反射	( 217 )
基础与临床	( 219 )
<b>第九章 感觉器官</b>	( 224 )
第一节 概 述	( 224 )
一、感受器的分类	( 224 )
二、感受器的一般生理特性	( 224 )
第二节 视觉器官	( 226 )
一、眼的折光系统及其调节	( 226 )
二、视网膜感光功能	( 228 )
三、与视觉有关的其他现象	( 231 )
第三节 听觉器官	( 232 )
一、外耳和中耳的传音功能	( 232 )
二、耳蜗的感音换能作用	( 234 )
三、人听觉功能的一般特性	( 236 )
第四节 前庭器官	( 237 )
一、前庭器官的感受装置	( 238 )
二、前庭器官的适宜刺激	( 238 )
第五节 其他感觉器官	( 239 )
一、皮肤感觉	( 239 )
二、嗅觉和味觉	( 240 )
三、内部感觉	( 241 )
基础与临床	( 242 )
<b>第十章 神经系统</b>	( 244 )
第一节 神经元活动的一般规律	( 244 )
一、神经元和神经纤维	( 244 )
二、神经元间相互作用的方式	( 246 )
三、突触传递的电生理学研究	( 248 )
四、中枢递质与受体	( 250 )
第二节 反射活动的一般规律	( 256 )
一、反射的概念	( 256 )
二、反射弧	( 256 )
三、中枢神经元的联系方式	( 257 )
四、反射弧中枢部分兴奋传布的特征	( 258 )
五、中枢抑制	( 260 )
第三节 神经系统的感觉功能	( 262 )
一、脊髓的感觉传导功能	( 262 )

二、丘脑及其感觉投射系统	( 263 )
三、大脑皮层的感覺分析功能	( 265 )
四、痛覺的病理生理	( 268 )
第四节 神经系统对躯体运动的调节	( 269 )
一、脊髓对躯体运动的调节	( 269 )
二、脑干对肌紧张和姿势的调节	( 273 )
三、小脑对躯体运动的调节	( 275 )
四、基底神经节对躯体运动的调节	( 278 )
五、大脑皮层对躯体运动的调节	( 279 )
第五节 神经系统对内脏活动的调节	( 282 )
一、植物性神经系统对内脏活动的调节	( 282 )
二、脊髓及低位脑干对内脏活动的调节	( 285 )
三、下丘脑对内脏活动的调节	( 285 )
四、大脑皮层对内脏活动的调节	( 287 )
第六节 脑的高级功能和脑电图	( 289 )
一、条件反射	( 289 )
二、大脑皮层的语言功能	( 292 )
三、大脑的学习和记忆功能	( 292 )
四、大脑皮层的生物电活动	( 294 )
五、觉醒和睡眠	( 297 )
基础与临床	( 300 )
第十一章 内分泌	( 305 )
第一节 概 述	( 305 )
一、激素的概念	( 305 )
二、激素的分类	( 305 )
三、激素的作用及其作用特征	( 306 )
四、激素作用的原理	( 306 )
五、激素分泌的调控	( 309 )
第二节 下丘脑与脑垂体	( 309 )
一、下丘脑	( 309 )
二、脑垂体	( 311 )
第三节 甲状腺	( 315 )
一、解剖特点及其激素	( 315 )
二、甲状腺激素的代谢	( 316 )
三、甲状腺激素的生理作用	( 317 )
四、甲状腺激素分泌的调控	( 318 )
第四节 肾上腺	( 320 )
一、肾上腺皮质	( 320 )
二、肾上腺髓质	( 325 )

第五节 胰 岛	( 327 )
一、胰岛素	( 327 )
二、胰高血糖素	( 329 )
三、生长抑素	( 329 )
第六节 调控钙磷代谢的激素	( 330 )
一、甲状旁腺激素	( 330 )
二、维生素 D <sub>3</sub>	( 331 )
三、降钙素	( 331 )
第七节 其他激素	( 332 )
一、前列腺素	( 332 )
二、松果体激素	( 334 )
三、胸腺激素	( 334 )
基础与临床	( 335 )
第十二章 生 殖	( 338 )
第一节 男性生殖	( 338 )
一、睾丸的功能	( 338 )
二、睾丸活动的调节	( 340 )
三、附性器官的功能	( 341 )
第二节 女性生殖	( 342 )
一、卵巢的内分泌功能	( 342 )
二、卵巢功能的调节	( 344 )
三、月经、排卵及其调节	( 345 )
四、妊娠与授乳	( 346 )
基础与临床	( 348 )

# 第一章 绪 论

## 第一节 生理学及其研究方法

生理学是生物学的一个分支，根据研究对象不同分为动物生理学、植物生理学和人体生理学。在医学院校，人体生理学又叫医学生理学，是研究有机体（即具有生命现象的生物体）的基本功能及其活动规律的科学。是一门自然科学，也是一门重要的医学基础课程。生理学的成就与突破将促进医学的发展；反之，医学的发展又促进生理学的研究，两者相互依赖、相互促进，不可分割。国际诺贝尔六项奖中，设有一项“医学与生理学”奖，表明了生理学与医学的关系及其重要性。

对内脏系统及运动系统的一般功能来说，人和动物，尤其是高等动物是相似的。人体功能活动规律的任何理论和假设只能来自实践，尤其是来自动物的实验观察。因此，动物实验是医学生理学不可缺少的手段之一。17世纪初期，生理学的实验研究主要是利用物理与化学的基本方法与技术对生物体进行观察。1628年William Harvey首先将动物实验方法引进生理学领域，成为实验生理学的奠基人。以后随着实验技术的革新又推动了生理学的发展。直到20世纪中期，生理学的研究进入了器官水平。近二三十年来由于基础科学和新技术的迅速发展，使医学生理学的研究有了很大的进展，进入了细胞与分子水平。主要的研究方法有：

### 一、宏观研究

#### （一）整体与系统水平

研究整个人体或某一系统的功能，例如人在劳动、运动时，或处于太空、高原、潜水等条件下，人体某一系统功能活动的变化和特征，以及人体与环境的关系，各系统之间的相互联系等。在人体上进行这些整体与系统水平的生理学研究，首先要用不伤害人体的观测技术，其次要同时处理多方面复杂因素的影响。由于这两大难题未能满意解决，致使该水平研究进展缓慢。近年来，由于电脑、遥控遥测、无创检测、核磁共振等技术的使用，可以直接观察体内某些结构的功能活动情况，使各种整体情况下的人体生理学研究有了长足的进展。

#### （二）器官水平

1. 慢性实验：指在无菌条件下对健康动物进行手术，暴露要研究的器官（如消化道各种造瘘手术）或摘除、破坏某一器官（如切除某一内分泌腺、破坏迷路等），然后尽可能在恢复正常生活的情况下，观察所暴露器官的某些功能，观察摘除或破坏某一器官后所产生的功能紊乱等。这种方法的优点是便于观察某一器官在正常情况下的功能活动及其在整体功能活动中的地位。缺点是不便于具体分析这一器官的生理特性及其与其它器官间的具体关系。

2. 急性实验：在无痛条件下剖开动物，对某一、两个器官进行实验观察。这种方法的优

点是方法简便，易于控制条件，有利于观察器官间的具体关系和分析某一器官功能活动的过程与特点，缺点是与正常生活情况下的功能活动有差距。急性实验又可分为在体 (in vivo) 与离体 (in vitro) 两种。在体实验是指所观察的器官仍在体内原位位置，保存了神经与体液的影响。离体实验是从动物体内取出某一器官（如心脏、肾脏）或某种组织（如肌肉、神经），置于适宜的人工环境中，使之在数小时或稍长的时间内保持生理功能，然后进行实验观察。这种方法有利于排除其它因素的影响来观察某一器官的功能活动，但不一定能代表它在正常机体内的情况。

## 二、微观研究

1. 细胞水平：如生物电子学技术、微电极技术、细胞分离和培养技术、电压钳制 (voltage clamp)、膜片钳制 (patch clamp) 技术、Fura-2 测细胞内  $Ca^{2+}$  浓度技术、电泳技术以及核磁共振光谱技术等，深入研究细胞各亚微结构的功能。细胞水平也可分为离体（如细胞分离和培养）和在体（如浮动式玻璃微电极记录在体心肌细胞的生物电）两种研究方法。

2. 分子水平：如分子生物学、分子遗传学、超微量测定等。研究细胞内生物分子的各种物理、化学变化。

这类方法的主要优点是可以阐明有关器官组织功能活动的原理和生命活动的基本规律。但当与整体研究结果发生矛盾时，必须用整体统一的观点加以分析。

## 三、综合研究

医学生理学既然是研究生命活动规律的科学，而生命活动又是一种复杂的生理现象，因此只靠单一水平的研究和单一的研究技术来阐明这种规律是困难的，而且都会有一定的局限性，必须有多个水平的研究和多种研究手段的配合，才有可能揭示生命活动的规律，这称为综合研究。

1. 多个水平研究的结合：如宏观研究与微观研究相结合。

2. 多种学科研究的结合：由于学科间的交叉渗透，如分子生物学、分子遗传学及细胞生物学渗入生理学，单一手段的研究难以阐明生命活动的规律。上海脑研究所张香桐教授以神经组织学、神经解剖学、神经生理学、神经生物化学、神经药理学、神经病理学和临床神经病学等多学科组合的方式对脑进行多方面的研究，这将有助于阐明一些生命活动的规律。

# 第二节 生命的基本表现

非生物没有生命活动，只有生物才有生命活动，当然在特殊条件下，生物在一定时间内也可不表现出生命活动，例如处于特殊冷冻状态下的组织。生命的基本表现是指有生命现象的生物体所独有的表现，任何非生物都不可能有一些表现。生命现象至少包括三种基本现象：新陈代谢、兴奋性和适应性。

## 一、新陈代谢

有机体（筒体机体）生活在适宜的环境中，总是在不断地重建自身的特殊结构。同时又在不断地破坏自身的衰老的结构。也就是说，一方面机体要与环境之间进行物质交换，从环境中摄取各种营养物质，经过改造或转化，以提供建造自身结构所需要的原料和能量，这个过程称为合成代谢 (anabolism)，又称同化作用 (assimilation)；同时，机体又不断地把体内衰老的结构破坏和分解，并将它们排出体外，这个过程称为分解代谢 (catabolism)，

又称异化作用 (dissimilation)。另一方面, 机体与环境之间还要进行能量交换, 即在合成代谢中, 需要吸收能量, 而在分解代谢中有能量的释放。释放的能量, 除用于合成代谢的需要外, 还用于做各种外功, 或向周围环境发散。此外, 机体与环境之间还存在着大量的信息交换。因此, 机体在与其周围环境之间进行物质交换、能量交换和信息交换的基础上实现自我更新、自我完善的过程称为**新陈代谢 (metabolism)**。新陈代谢是一切有生命现象的生物体的最基本的表现。机体的一切机能活动都建立在新陈代谢的基础上, 新陈代谢一旦停止, 生命也就结束。

## 二、兴奋性

机体生活在适宜的环境中, 这是进行新陈代谢的必要条件, 当环境发生变化时, 机体能作出相应的反应, 以适应环境的变化。生理学中把引起机体作出反应的各种体内外环境的变化统称为**刺激**, 而把受到刺激后能较迅速产生反应的**组织称为可兴奋组织**, 如神经、肌肉、腺体等。显然, 可兴奋组织的一切反应都是由刺激引起的, 绝无没有刺激的反应。刺激引起的反应有两种: 一种反应是由原来的相对静止状态变为活动状态, 或者由原来的微弱活动变为活动增强。由于不同的组织对刺激引起的这种活动变化的具体表现形式不同, 既有**共性活动**, 如可兴奋组织 (神经、肌肉、腺体) 接受刺激后都有产生生物电的反应; 也有**个性活动**, 如肌肉接受刺激后可由静止变为收缩, 或由弱收缩变为强收缩。腺体接受刺激后可由静止变为分泌, 或由少量分泌变为分泌增多。通常, 共性反应发生在个性反应之先, 例如肌肉组织接受刺激引起兴奋反应, 表现为先产生生物电反应, 然后才出现肌肉收缩; 腺体接受刺激引起兴奋反应, 也是先产生生物电反应, 然后出现腺体分泌。因此, 刺激引起的“活动变化”只是一种统称, 它的表现形式包含了共性和个性活动。生理学中把可兴奋组织受刺激后产生生物电反应的过程及其表现形式称为**兴奋 (excitation)**。另一种反应是由原来的活动状态变为相对静止状态, 或由原来的较强活动变为活动减弱, 称为**抑制 (inhibition)**。抑制是兴奋的反面, 意味着兴奋的减弱或不易发生兴奋。因此, 抑制必须以兴奋为前提, 死的机体或组织既不能发生兴奋反应也无所谓抑制反应。显然, 可兴奋组织最基本的反应形式是兴奋。当然, 可兴奋组织接受刺激后既可引起兴奋反应, 也可能发生抑制反应, 这取决于刺激的质和量, 也取决于组织当时所处的机能状态。

生理学中把可兴奋的组织 (或有机体) 受到刺激后产生兴奋反应 (包括共性和个性) 的能力或特性称为**兴奋性 (excitability)**。而把可兴奋组织 (或有机体) 受到刺激后产生的反应 (包含兴奋或抑制) 的能力或特性称为**应激性 (irritability)**。两者的区别在于前者的反应是“确指” (兴奋), 后者的反应是“泛指” (兴奋与抑制); 前者是以兴奋反应 (共性或个性) 的表现来反映, 而后者是以代谢的增强或减弱来反映。正常情况下, 两者很难用一个具体的方法区分开, 对可兴奋组织来说, 应激性也叫兴奋性。当然在麻醉情况下, 可兴奋组织不能以兴奋反应的表现来反映, 可以说兴奋性丧失, 但是, 被麻醉的组织代谢仍在进行, 仍可以代谢的变化来反映, 因此应激性存在。显然, 兴奋性丧失的组织应激性可以存在, 相反, 如果应激性丧失的组织则兴奋性就不复存在了。

可兴奋组织 (或有机体) 对刺激作出适宜反应是一切有生命的生物体普遍具有的功能, 也是生物能够生存的必要条件, 所以兴奋性也是生命的基本表现。

## 三、适应性

环境发生变化时, 机体能作出相应的反应, 以适应环境的变化。机体在各种环境变化中

保持自己生存的能力或特性称为适应性 (adaptability)。低等动物有本能的<sup>1</sup>行为适应,如夏趋凉,冬趋暖、冬眠等。高等动物也有本能的<sup>1</sup>行为适应,如高温引起出汗,通过蒸发降低体温,从而保持体温的相对稳定;又如强光使瞳孔缩小,减少光线进入眼底,从而保护视网膜不受损害。高等动物还有更重要的主动行为适应,这是低等动物所没有的,也不可能有的,如高温时安装电扇、空调降温;强光时安装窗帘、茶色玻璃;戴有色眼镜等。主动适应是本能适应无法比拟的,它扩大了机体适应环境变化的能力和范围,使机体能更好地生存。

### 第三节 高等动物功能活动的特征

#### 一、内环境与稳态

人体重量的60%为体液,分布在细胞内外。分布在细胞内的称为细胞内液,约占40%,它是细胞内进行各种生化反应的场所;分布在细胞外的称为细胞外液,约占20%,它是细胞直接生活的液体环境,称为内环境 (internal environment)。20%的细胞外液中,约16%分布在血管外的组织间隙,称为组织液,包括淋巴液、脑脊液、胸膜腔液、眼前房液、关节囊液等,只在局部和血液间进行交换;另外,约4%分布在血管内,构成血浆,这是内环境中最活跃的部分,它随着血液循环流动,成为沟通各部分组织液以及和外环境进行物质交换的中间环节。内环境所起的主要作用是:①为细胞提供必要的理化条件,确保各种酶促反应和生理功能的正常进行;②为细胞提供营养物质;③接受细胞的代谢终产物。内环境最重要的特征是它们的理化性质(如pH、渗透性、温度、离子成分等)能保持相对稳定,这是维持整个机体生存的基本条件。19世纪Claude Bernard 就已经指出:“内环境的稳定是机体自由独立生活的必要条件”。

内环境理化性质保持相对稳定的状态称为稳态 (homeostasis)。由于“动”是绝对的,“静”是相对的,体内进行的新陈代谢过程总是不断破坏内环境稳态,而机体又通过各种调节机制极力恢复稳态。因此,内环境稳态是一种“动”中求“静”的“动态平衡”状态。一旦稳态不能维持时,新陈代谢将不能正常进行,机体的生命也将受到威胁。目前,稳态的概念不仅仅限于内环境,而且已经扩展到某一细胞功能、某一生化反应、某一器官系统的功能活动以至整个机体的相对稳定状态的维持和调节。

#### 二、生物节律

生物体的各种功能活动常按一定的时间顺序发生变化,如果这种变化按一定的时间周而复始地重复出现,则这种变化的节律称为生物节律 (biorhythm)。按节律周期的高低,可将生物节律分为高频、中频和低频三类节律。凡是节律周期短于一天的,属于高频节律,如心音、脉搏、心电图、呼吸的周期等。节律周期为一天的日周期属于中频节律,这是最重要的生物节律,人体内几乎每种生理功能都有日周期,即一天一个波动周期,只是波动的幅度和明显程度不同而已,例如体温、血细胞数的日周期变化最为明显;此外血压、尿成分均有日周期波动,可见内环境稳态的水平有日周期的变化。凡是节律周期长于一周的属低频节律,有周周期、月周期和年周期,例如人类的月经周期属月周期,候鸟的迁徙有明显的年周期。月周期和年周期多与生殖功能有关。

如果按照节律周期的内在特性,则可将生物节律分为固有节律和应变节律。固有节律是生物体本身具有的内在节律,例如上述高、中、低频三类节律。应变节律是指生物节律受到

环境变化的影响后而与环境同步的节律，例如人为地颠倒每天的白昼和黑夜的时间，可使一些机体功能的日周期位相发生颠倒。

关于生物节律中心的神经机制尚待阐明，目前研究较多的是下丘脑视上核，如果破坏小白鼠的视上核，则原有的一些日周期节律性活动（如饮水、排尿等的日周期）即丧失。50年代初有人从松果体提取出一种与生物节律有关的生物活性物质，命名为褪黑素(melatonin) 黑暗(夜)促进其分泌，光照(昼)抑制其分泌，失明者也表现出这种昼夜节律。目前认为，暗信号沿视网膜-视上核束达视上核，再传至颈上神经节，通过松果体内的节后纤维，激发神经末梢释放NA，后者与松果体细胞上的 $\beta$ -受体结合，使cAMP生成增加，从而诱导褪黑素的生物合成；光照作用相反。如果切断视网膜-视上核束，则褪黑素的昼夜节律性分泌不再出现，视上核完全不能感受外环境的光暗变化，日周期不再与外环境光暗变化同步。这些观察说明，视上核是褪黑素分泌的昼夜节律中心。

生物节律最重要的生理意义是使生物对环境变化作更好的前瞻性的适应。在医疗工作中，可以利用日周期中生理功能特征的变化和对药物反应强度的差异来提高治疗的效果。例如由于ACTH的分泌有晨高晚低的节律，因此用氢化考的松治疗时，宜早晨6-8时服药才不致损伤肾上腺皮质的功能。

### 三、人体功能活动的调节

所谓调节是指人体对内外环境变化所作出的适应性反应的过程。人体在对内外环境变化所作出的适应性反应中，既要调节运动系统以完成一定的动作，又要调节内脏活动以保持稳态。通常是由神经调节、体液调节和自身调节来完成的，其中神经调节是人体内最重要的调节。

#### (一) 神经调节 (neuroregulation)

神经调节的基本方式是反射，高等动物机体在中枢神经系统的参与下，对内外环境变化产生的适应性反应称为反射(reflex)。完成反射所必需的结构则称为反射弧。通常反射弧包括五个环节，即感受器、传入神经、中枢、传出神经和效应器。在实际的反射过程中，由于体内各种效应器上分布有特殊的感受细胞或感受器，能够将效应器活动情况的信息及时送回到中枢，因而中枢能随时调整效应器的活动。因此，神经调节是通过闭合回路(closed-loop)来完成的。

人和动物的反射活动可区分为非条件反射与条件反射两种类型。非条件反射是先天遗传、生来就有的本能行为，具有固定的反射弧，只需低级中枢便可完成反射，为种族共有，刺激与反应之间的因果关系固定、呆板，由种族遗传因素决定。条件反射是后天获得的行为，是在非条件反射的基础上建立起来的行为，也是人或高等动物个体在生活过程中根据个体所处的生活条件而建立起来的行为，因而为个体所特有。刺激与反应之间的因果关系不是固定的，可塑性大，反应灵活多变，有预见性，需要高级中枢(大脑皮层)的参与，在大脑皮层中，条件刺激形成的兴奋灶与非条件反射的兴奋灶建立起暂时的联系，才能完成反射。由于条件反射可以使大量无关刺激成为预示某些环境变化即将来临的信号，从而扩大了人或动物适应环境变化的能力。

神经调节的特点是传导迅速，历时短暂，作用准确，高度自动化。

#### (二) 体液调节 (humoral regulation)

体液调节主要是由人体内分泌细胞分泌各种激素经体液(血液或组织液)对人体新陈代



谢、生长发育、生殖等重要基本功能发挥调节作用。因此，机体在体液参与下对内外环境变化产生的适应性变化，称为体液调节。体液调节有多种方式，由内分泌细胞分泌的激素通过血液循环，运送到距离较远的部位发挥作用，这种调节方式称为远距分泌（telecrine），例如甲状腺分泌甲状旁腺激素（PTH）随血流运送到机体各部分组织，促使骨中的钙释放入血，促使肾小管重吸收钙，使血浆中钙浓度升高，后者的化学信息又反馈抑制甲状旁腺，调节PTH分泌的速率。所以，激素调节也是在闭合回路的基础上进行的。有些内分泌细胞产生的激素不经过血液循环运输，而是通过组织液扩散，作用于邻近的效应细胞，这叫旁分泌（paracrine），例如胰岛D细胞分泌的生长抑素可通过组织液扩散，作用于邻近的A细胞及B细胞，分别抑制其分泌胰高血糖素及胰岛素。还有的细胞兼有神经元和内分泌的双重功能，例如下丘脑神经激素的传送方式称为神经分泌（neurocrine）；有些内分泌细胞释放的胃肠肽可沿着细胞间的缝隙弥散入胃肠道内而起作用，这叫腔分泌（channecrine）。一般组织细胞的酸性代谢产物可使局部的血管舒张，也可看作是局部体液因素，它在使局部与全身功能活动的配合协调中起着一定的作用。有许多内分泌腺或内分泌细胞本身也直接或间接受到中枢神经系统的调节，使体液调节成为神经调节的一个传出环节，这种情况就合称为神经-体液调节。

体液调节的特点是作用缓慢，历时持久，影响广泛，精确度差，也有反馈自动控制。

### （三）自身调节（autoregulation）

器官、组织、细胞在内外环境变化时，不依赖于神经或体液调节而产生的适应性反应称为自身调节。例如肾脏血流量随着全身血压的变化而变化，但是当血压在12.0~25.3kPa之间变动时，肾血流量相对稳定，不随全身血压变化而波动，即使在去神经支配的离体灌注肾脏也有这种调节，由于这种调节机制存在于肾脏血管本身，故称为自身调节。心脏的泵血功能也有自身调节机制。

自身调节的主要特点是常局限于一个器官或一小部分组织或细胞内，调节准确、稳定，但幅度较小，不很灵敏。不过对生理功能的调节，尤其是维持稳态中起着重要的作用。

## 第四节 生理功能的自动控制原理

### 一、反馈与自动控制

用控制论原理来分析人体生理功能调节时，可以认为人体的各种功能系统都是“自动控制”系统，神经、体液或自身调节中的调节部分（如反射中枢、内分泌腺等）是控制部分，效应器或靶器官、靶细胞是受控部分，而受控部分的状态及其所产生的效应称之为输出变量。根据控制论原理，一个自动控制系统必然是一个闭合回路，在控制部分与受控部分之间存在着往返的双向信息联系，即控制信息与反馈信息。所谓信息是指某种信号的数量、强度或序列所包含的意义。反馈是自动化工程技术中的一个术语，是自动控制论的核心。由控制部分发出至受控部分的信息，能改变受控部分的状态或效应，称之为控制信息（即馈送信息）；由受控部分送回至控制部分的信息，能不断纠正和调整控制部分对受控部分的影响，以达到精确的调节，这种来自受控部分的反映输出变量变化情况的信息称为反馈信息。如果反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反，因而纠正控制信息的效应，这一类反馈调节称