

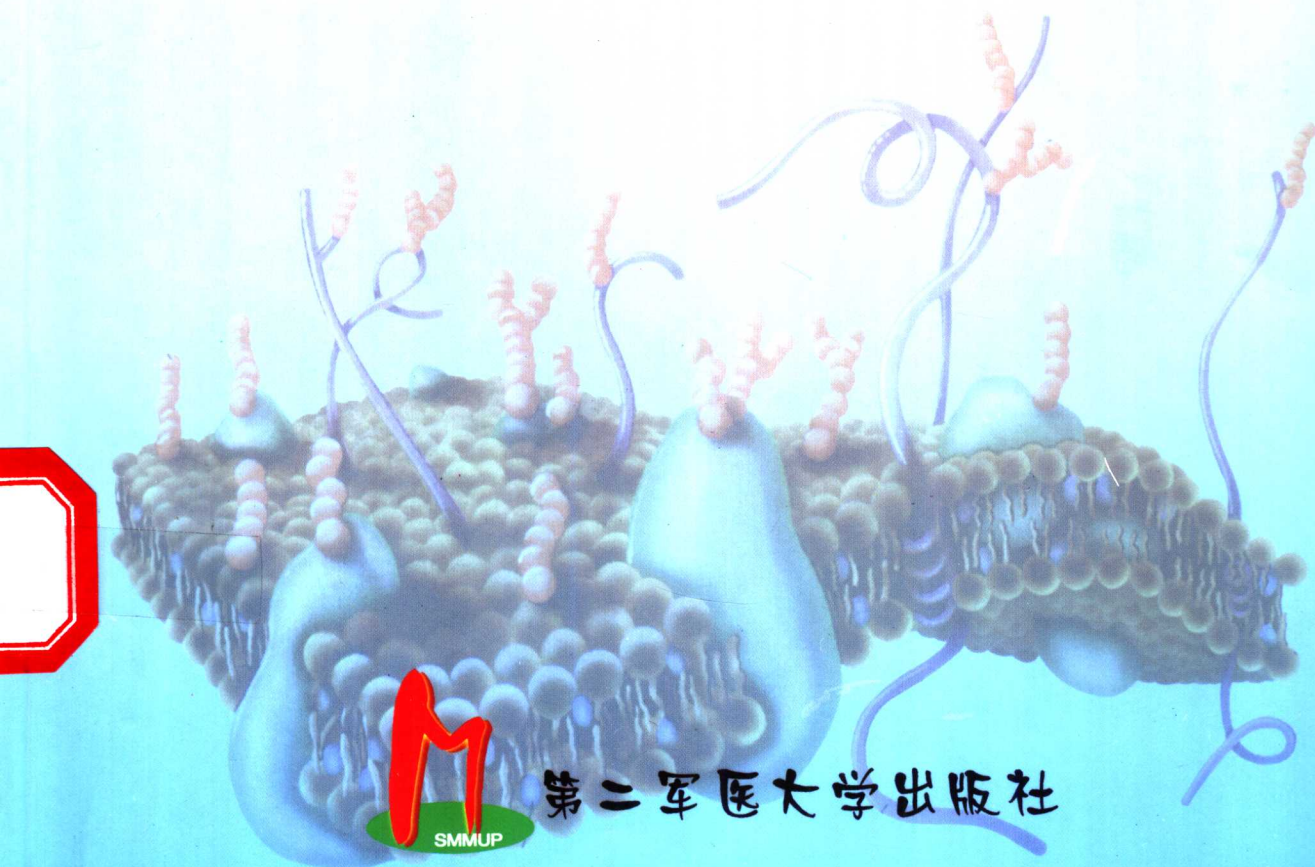
高等医药院校教材
供基础、临床、预防、
口腔医学类专业用

人体生理学

Human Physiology

第二版

主 编 张 建 福



高等医药院校教材

供基础、临床、预防、药学、口腔医学各专业用

人 体 生 理 学

Human Physiology

(第 2 版)

主 编 张建福

副主编 阎长栋 董 榕 彭聿平 王正山 车力龙

编 者 (以姓氏笔画为序)

王正山 车力龙 史明仪 孙 红 寻庆英

汤珍秀 邱一华 张成标 张咏梅 张建福

陈 琦 周秀萍 阎长栋 彭聿平 董 榕

第二军医大学出版社

内 容 提 要

人体生理学是一门重要的医学专业基础课程。本书从器官、细胞、分子水平系统地介绍了人体生理学的基本理论、基本知识和基本技能,阐明了人体各系统的生理功能及其调节机制。内容包括绪论、细胞、血液、循环、呼吸、消化、能量代谢和体温、肾脏、感官、神经、内分泌、生殖生理共12章,涵盖了生理学的基本知识点。本书特别注意贯彻教学改革精神,坚持理论联系实际、基础服务临床的宗旨,力求反映当代生理学最新成果和进展。本书的最大特点是在中文文字及图表中穿插使用了英文专业名词,使学习者能较早地接触和掌握本专业的英文专业词汇。

本书由江苏省5所高等院校长期从事生理学教学和科研工作、学术水平较高、教学经验丰富的教师共同撰写,在文字上做到了简明扼要、重点突出、层次分明、布局合理,力求体现教材的科学性、系统性、先进性、实用性的原则,以适应培养21世纪高级医学科技人才的需要。

本书适用于高等医药院校本科各专业学生使用,也可供硕士研究生入学考试和国家医师资格考试复习迎考时使用。

图书在版编目(CIP)数据

人体生理学/张建福编著.—2版.—上海:第二军医大学出版社,2003.8

ISBN 7-81060-319-1

I.人... II.张... III.人体生理学 IV.R33

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第059234号

人 体 生 理 学

主 编:张建福

责任编辑:李 昕

第二军医大学出版社出版发行

(上海市翔殷路818号 邮政编码:200433)

全国各地新华书店销售

徐州医学院印刷厂印刷

开本:850 mm×1168 mm 1/16 印张:24 字数:547 000

2003年8月第2版 2003年8月第1次印刷

ISBN 7-81060-319-1/R·240

定价:36.00元

序

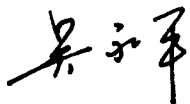
由我院和东南大学医学院、扬州大学医学院、江苏大学医学院、南通医学院联合编写,由张建福教授任主编的《人体生理学》(第2版),在全体参编专家、教授的共同努力下正式出版了。我谨表示热烈祝贺。

我们对该书的编写工作一直给予关注,在本书出版前,我有幸阅读了其中的大部分章节。我感到该书特色鲜明,符合21世纪人才培养目标的教学要求,能正确地阐述该学科的科学理论和概念,思想观点正确,能反映教材体系内容的内在联系及本专业特有的思维方法,文字比较规范,层次分明,语言流畅,可读性强,富有启发性。

我认为该书最大的特点是编者能解放思想,根据当前学生专业英语学习的需要,在书中对大部分专业名词及图表采用了英文,这是一个很好的尝试和探索。这对于强化学生对英文专业名词的记忆,提高英语水平,顺利阅读英文的专业文献资料打下了良好的基础。这是一件很有意义的事情,很值得推广和提倡。我预祝这一大胆尝试能获得成功。

该书既然是一种尝试,不足之处可能在所难免,从今后的发展着眼,克服暂时困难,用好这本教材,还是很有意义的。并请同道们和同学们提出宝贵的意见,以供编者改进。

徐州医学院院长

 教授

2003年6月

再版前言

本书是在我们编写的《人体生理学》(第1版)的基础上进行修订的。在修订的过程中,参阅了规划教材《生理学》(第5版)以及近年来国内外许多生理学的版本和相关文献资料,积极贯彻教学改革精神和“少而精”原则,充分体现教材的科学性、先进性、系统性、实用性,适合于教与学,并在布局上做了一定的调整。

这一版教材最大的特点是根据当前学生专业英语的学习需要,为强化学生对英文专业名词的记忆,我们采用了每一专业名词首次出现时,在中文后面加注英文,以后再出现时,即基本上使用英文,书中的图表全部使用英文名词,以达到增强记忆的目的。但在书中某些部分,由于专业名词过多或插入英文后不便阅读,此时一些名词仍使用中文。这种做法是我们的一个大胆尝试,其中不妥之处可能在所难免,真诚地企盼同道们、同学们批评指正。

在编写过程中得到了各参编单位(东南大学医学院、扬州大学医学院、江苏大学医学院、南通医学院、徐州医学院)的领导及同道们的大力支持和帮助,尤其是徐州医学院生理学教研室马鸿基、刘勇林、金惠芳、乔伟丽、王光明、祁友键等老师作了许多文字编写和校对工作,刘凝慧教授、王平宇教授不顾年高体弱,对本书进行了审阅,提出了许多很好的意见,在这里一并表示衷心的感谢。

张建福

2003年6月 于徐州医学院

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
一、生理学在医学科学中的地位	1
二、人体生理学研究的不同水平及方法	3
第二节 人体生理功能的调节	4
一、机体的内环境与稳态	4
二、生物节律	4
三、人体功能活动的调节	5
第二章 细胞的基本功能	7
第一节 细胞膜的基本结构及其跨膜转运功能	7
一、细胞膜的化学组成和分子结构	7
二、细胞膜的物质转运功能	9
第二节 细胞的生物电现象和兴奋性	15
一、细胞的兴奋和兴奋性的概念及其衍变	15
二、细胞的生物电现象及其产生机制	16
第三节 细胞的跨膜信号转导	26
一、细胞内受体介导的信号转导途径	26
二、细胞膜受体介导的信号转导途径	26
第四节 骨骼肌的兴奋和收缩	31
一、神经-肌接头处的兴奋传递	31
二、骨骼肌细胞的微细结构	33
三、骨骼肌细胞的兴奋-收缩偶联	35
四、骨骼肌收缩的机制	36
五、肌肉收缩的形式和力学分析	39
第三章 血液	45
第一节 血液的组成和理化性质	45
一、体液	45
二、血液的组成和功能	45
第二节 血细胞及其功能	48
一、红细胞生理	48
二、白细胞生理	51
三、血小板生理	54
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解	56
一、血液凝固	57
二、血液中的抗凝血物质	58
三、纤维蛋白溶解	60
第四节 血量、输血和血型	61
一、血量	61
二、输血	62

三、血型	62
第四章 血液循环	66
第一节 心脏的泵血功能	66
一、心脏的周期性活动	66
二、心脏泵血功能的评价指标	71
三、心脏泵血功能的调节	73
第二节 心肌细胞的生物电活动	77
一、工作细胞的跨膜电位及其形成机制	77
二、自律细胞的跨膜电位及其形成机制	81
三、体表心电图	85
第三节 心肌的生理特性	87
一、心肌的兴奋性	87
二、心肌的自动节律性	90
三、心肌的传导性	92
四、心肌的收缩性	93
第四节 血管生理	94
一、各类血管的结构和功能特点	95
二、血管系统中的血流动力学	95
三、动脉血压和动脉脉搏	98
四、静脉血压和静脉血流	101
五、微循环	102
六、组织液的生成与回流	105
七、淋巴循环	107
第五节 心血管活动的调节	108
一、神经调节	108
二、体液调节	116
三、自身调节	119
第六节 器官循环	119
一、冠脉循环	119
二、肺循环	122
三、脑循环	123
第五章 呼吸系统	126
第一节 肺通气	126
一、肺通气的原理	127
二、肺容积和肺容量	133
三、肺通气量	135
第二节 呼吸气体的交换	136
一、气体交换的原理	136
二、气体交换的过程	137
三、影响肺气体交换的因素	138
四、肺扩散容量	139

第三节 气体在血液中的运输	140
一、氧和二氧化碳在血液中的存在形式	140
二、氧的运输	140
三、二氧化碳的运输	143
第四节 呼吸运动的调节	145
一、呼吸中枢	145
二、节律性呼吸运动的形成	147
三、呼吸的反射性调节	148
四、化学因素对呼吸的调节	149
五、运动对呼吸的影响及调节	151
第六章 消化系统	153
第一节 概述	153
一、消化道平滑肌的生理特性	153
二、消化腺的分泌功能	155
三、消化道的神经支配及其作用	155
四、胃肠激素	157
第二节 口腔内消化	158
一、唾液及其分泌	158
二、咀嚼和吞咽	160
第三节 胃内消化	161
一、胃液及其分泌	161
二、胃的运动	166
第四节 小肠内的消化	169
一、胰液的分泌	169
二、胆汁的分泌和排出	171
三、小肠液的分泌	173
四、小肠的运动	174
第五节 大肠内消化	175
一、大肠液的分泌及肠内细菌的活动	175
二、大肠的运动	176
第六节 吸收	176
一、概述	176
二、各种主要营养物质的吸收	177
第七章 能量代谢和体温	182
第一节 能量代谢	182
一、能量代谢的概念	182
二、能量的来源与去路	182
三、能量代谢测定的原理和方法	183
四、影响能量代谢的因素	186
五、基础代谢	187
第二节 体温及其调节	189

一、人体正常体温及其变动	189
二、机体热的平衡	190
三、体温调节	193
第八章 肾脏的排泄功能	196
第一节 概述	196
一、排泄的概念和途径	196
二、肾脏的功能概述	196
三、肾脏的功能解剖和血液循环特征	197
第二节 肾小球的滤过功能	201
一、肾小球滤过膜的通透性	202
二、有效滤过压	203
三、肾小球滤过率和滤过分数	204
四、影响肾小球滤过的因素	204
第三节 肾小管和集合管的转运功能	205
一、肾小管和集合管的重吸收功能	205
二、肾小管和集合管的分泌和排泄功能	210
三、影响肾小管和集合管转运功能的因素	211
第四节 尿液的浓缩和稀释	213
一、尿液浓缩和稀释的概念及其意义	213
二、尿液浓缩和稀释的过程及其机制	213
三、影响尿液浓缩与稀释的因素	216
第五节 肾脏泌尿功能的调节	216
一、神经调节	216
二、体液调节	217
第六节 血浆清除率	219
一、血浆清除率的概念和计算方法	219
二、测定血浆清除率的意义	220
第七节 尿的排放	221
一、膀胱与尿道的神经支配	221
二、排尿反射	222
第九章 感觉器官	224
第一节 概述	224
一、感觉器官、感受器及其分类	224
二、感受器的一般生理特性	224
第二节 视觉器官	226
一、眼的折光功能及其调节	226
二、视网膜的感光功能	230
三、与视觉有关的一些现象	234
四、房水循环和眼压	235
第三节 听觉器官	236
一、外耳和中耳的传音功能	236

二、内耳耳蜗的感音换能作用	238
三、听觉器官对声音的感受	241
第四节 前庭器官	243
一、前庭器官的感受装置	243
二、前庭器官的适宜刺激	245
三、前庭器官反射	245
第五节 嗅觉和味觉	247
一、嗅觉	247
二、味觉	247
第十章 神经系统	249
第一节 神经系统活动的一般规律	249
一、神经元和神经纤维	249
二、神经元之间的功能联系及其机制	252
三、神经递质和调质	258
四、递质的受体	262
五、中枢抑制	266
六、反射活动的调节	268
第二节 神经系统的感觉功能	268
一、脊髓和低位脑干的感觉传导与分析功能	269
二、丘脑及其感觉投射系统	270
三、大脑皮层的感觉分析功能	273
四、痛觉生理	274
第三节 神经系统对躯体运动的调节	277
一、脊髓对躯体运动的调节	277
二、高位中枢对躯体运动的调节	280
三、小脑对躯体运动的调节	283
四、基底神经节对躯体运动的调节	285
五、大脑皮层对躯体运动的调节	287
第四节 神经系统对内脏活动的调节	290
一、自主神经系统对内脏活动的调节	290
二、脊髓及低位脑干对内脏活动的调节	293
三、下丘脑对内脏活动的调节	293
四、大脑皮层对内脏活动的调节	296
五、神经、内分泌和免疫功能的关系	298
第五节 脑的高级功能	298
一、学习与记忆	298
二、大脑皮层的语言功能	302
第六节 脑的生物电活动与觉醒和睡眠	303
一、大脑皮层的结构	303
二、大脑皮层的生物电活动	304
三、觉醒和睡眠	307

第十一章 内分泌	309
第一节 概述	309
一、激素及其分类和传递方式	309
二、激素的作用及其特性	311
三、激素的作用机制	312
四、激素分泌的调节	315
第二节 下丘脑的内分泌功能	316
一、下丘脑-腺垂体系统	316
二、下丘脑-神经垂体系统	319
第三节 腺垂体	320
一、腺垂体的激素	320
二、腺垂体激素的生物学作用及其调节	320
第四节 甲状腺	323
一、甲状腺激素的合成及其代谢	323
二、甲状腺激素的生理作用	325
三、甲状腺功能的调节	327
第五节 肾上腺	329
一、肾上腺皮质	329
二、肾上腺髓质	333
第六节 胰岛	334
一、胰岛素	334
二、胰高血糖素	335
第七节 调节钙磷代谢的激素	336
一、甲状旁腺激素	336
二、维生素 D ₃	336
三、降钙素	337
第八节 其他内分泌激素	337
一、前列腺素	337
二、松果体激素	338
第十二章 生殖	339
第一节 男性生殖	339
一、睾丸的功能	339
二、睾丸功能的调节	341
第二节 女性生殖	341
一、卵巢的生卵作用	342
二、卵巢的内分泌功能	342
三、卵巢周期性活动的调节	344
四、月经周期及其激素基础	344
五、妊娠	346
索引	349

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、生理学在医学科学中的地位

(一)生理学的概念

生理学(physiology)是研究各种生物机体功能活动规律的科学,是生物学科的一个分支。人体生理学(human physiology)则是研究正常人体及其器官、组织等的生命现象或生理功能(诸如呼吸、循环、消化、泌尿、生殖、行为变化、思维活动等)的发生机制、条件及其活动规律的科学,是一门重要的医学基础课程。学习 human physiology 的目的在于掌握正常人体生命活动的基本规律及内外环境对人体功能的影响,为今后学习其他医学基础和临床课程,为在医疗和护理实践以及预防、保健医学工作中有效地防治各种疾病奠定坚实的理论基础。

(二)人体生理学与医学的关系

Human physiology 与临床医学有着密切的联系。通过医学实践和对人体、动物实验的分析研究,积累了许多关于人体生理功能的知识,逐渐形成了人和动物机体功能的系统性理论,因此,一切 physiology 中的理论均来自实践或实验。同时,通过医学实践又可以检验 physiology 理论的正确性,并不断以新的内容和新的成果丰富 physiology 理论,从而进一步推动 physiology 的发展。而 physiology 的每一个进展都会对医学产生巨大的推动作用。例如,physiology 有关生物电研究的成果,革新了诊断疾病的某些技术;对各内分泌腺体功能的 physiology 研究,阐明了许多内分泌疾病发病的机制;受体研究的发展为治疗疾病提供了许多更有效手段;对视觉 physiology 的研究成果促进了眼病的防治等。

此外,如病理生理学、病理解剖学、药理学等也均以 physiology 作为基础,要学好这些学科,必须先学好 physiology。正因为 physiology 的发展与医学之间有如此密切的联系,所以在国际诺贝尔奖项中,设有“Medicine and Physiology”奖。

(三)现代生理学发展简史

现代生理学创立于 17 世纪。实验生理学的奠基人、英国医生威廉·哈维(Harvey W, 1578 ~ 1657)首次用实验的方法研究心脏与血液运动,发现了血液循环,并于 1628 年出版了《心血运动论》一书,在历史上第一次科学地阐明了血液循环的途径和规律,使生理学开始成为一门独立的科学。17 ~ 18 世纪,显微镜的发明及其他相关学科的进步为生理学的发展提供了良好的条件。意大利学者马尔比奇(Malpighi M, 1628 ~ 1694)应用显微镜技术发现了毛细血管结构;法国科学家笛卡儿(Descartes R, 1596 ~ 1650)首次提出了反射的概念;意大利学者伽伐尼(Galvani L, 1737 ~ 1798)发现了生物组织的电活动,从而开辟了生理学中生物电现象及其机制研究的新领域。19 世纪以来,自然科学的迅速发展极大地推动

了生理学的实验研究。1847年,法国著名生理学家路德维希(Ludwig K, 1816~1895)发明了记纹器(kymograph),首次将某些实验结果记录下来,这对生理学的发展起到了极大的推动作用;德国生理学家黑尔姆霍兹(Helmholtz H von, 1821~1884)等对感觉器官的开拓性研究,揭示了眼色觉的奥秘;法国生理学家伯尔纳(Bernard C, 1813~1878)提出的机体“内环境恒定”的概念,促进了体液生理学的发展;20世纪初,俄国生理学家巴甫洛夫(И. П. Павлов, 1849~1936)用慢性动物实验的方法,创立了条件反射学说,极大地丰富了对高级神经活动的研究内容,此外,他对循环、消化生理学的研究也作出了重要贡献;英国生理学家谢灵顿(Sherrington CS, 1857~1952)提出了突触的概念,并通过对反射弧的分析,阐明了神经系统活动的基本规律;上世纪20年代在美国的德国生理学家和药理学家乐魏(Loewi O, 1873~1961)用灌流的方法,发现迷走神经末梢可释放一种化学物质,此物质有抑制心脏活动的作用,后来证实此化学物质是乙酰胆碱,从而为神经传递信息的化学机制的研究奠定了基础;上世纪40年代英国生理学家Hodgkin与Huxley用微电极技术直接测量膜电位,进一步阐明了生物电的离子学说,揭示了神经动作电位的离子机制,极大地推动了细胞电生理学的理论研究;其后谢灵顿的学生、澳大利亚生理学家Eccles等应用微电极技术研究中枢神经元与突触传递的机制,为阐明中枢神经系统的电活动作出了贡献。近20多年来,由于自然科学的进步以及许多高新实验技术的应用,生理学的研究工作已经深入到了细胞和分子水平,特别是分子生物学研究,揭开了细胞内的奥秘,促进了神经科学和分子生理学的发展。

我国近代、现代生理学是从20世纪20年代中期开始的。1926年中国生理学会的成立以及翌年《中国生理学杂志》的创办,具有划时代的意义,其后10年堪称为我国生理学的鼎盛时期。我国近代生理学奠基人林可胜教授(1897~1969)领导的北京协和医学院生理学系开展了极为出色的工作,在消化、神经、循环生理学以及肌肉和神经研究等方面取得了卓越的成就,同时培养出一大批生理学家,他在带领和促进我国现代生理学发展方面所作出的杰出贡献是史无前例的;蔡翘教授是我国近代用中国语言和文字讲述生理学和编写生理学教材的第一位学者,他在糖代谢、溶血及止血等方面的研究都取得很大成就,名闻国际。

与此同时,汪敬熙教授在皮肤电反射的研究以及张锡钧教授在神经化学递质乙酰胆碱的研究中都取得了重大成果;著名科学家冯德培教授在神经-肌接头生理学的一系列工作为近代所公认,是该研究领域最有贡献的学者之一;著名神经生理学家张香桐教授关于树突功能、皮层神经元及大脑皮层诱发电位的研究都取得了有一定国际影响的成就;徐丰彦教授对心血管压力感受性反射的研究也有重要的意义。

新中国成立后的50多年来,生理学的各个分支在原有的基础上都有了很大发展,填补了过去的一些空白,形成了门类齐全的中国生理学;特别是我国实行改革开放以来,国内外交流增多,极大地促进了生理学的发展,生理学界在老一辈科学家诸如蔡翘、张香桐、冯德培、王志均等教授的带领下,一批又一批的青年生理学家茁壮成长。老一辈科学家的爱国主义、发奋图强、艰苦创业等优良品质和作风是我们的宝贵财富,应代代相传。我国的生理学事业是大有希望的,我们要满怀信心地为建立具有中国特色的生理学研究体系,为21世纪生命科学的进步做出应有的贡献。

二、人体生理学研究的不同水平及方法

(一)人体生理学研究的不同水平

对 human physiology 的研究必须从人体不同的结构水平出发,采用多层次、多手段,可以在整体、器官和系统、细胞和分子水平上进行。

1. 整体水平的研究 主要是研究完整机体各系统之间的功能联系,人体与内外环境之间维持相互平衡的过程及其机制,以及社会条件对人体生理功能活动的影响等。近年来,由于电子计算机、遥控遥感、无创检测、核磁共振等技术的应用,可以直接观察机体内某些结构的功能活动,从而使整体与系统生理学的研究有了较快的发展。

2. 器官和系统水平的研究 研究对象是人体器官和系统,阐明它们的生理功能活动的规律及其调节机制,以及它们对整体生理功能的影响等。例如,心脏如何射血,血管如何舒缩,血管内血液流动的规律,神经及体液因素对心血管活动的调节等,这些研究都是在器官和系统水平上进行的。有关这方面的研究内容,称为器官或系统生理学。

3. 细胞和分子水平研究 研究对象是细胞及其所含的物质分子,主要研究生命现象的细胞和分子机制。细胞(cell)是构成人体的最基本的结构和功能单位,机体的生命活动和各器官、系统的功能活动都以其 cell 的生理特性为基础,而 cell 的生理特性又决定于构成细胞的生物分子的理化特性。因此,physiology 必须深入到 cell 的超微结构和分子水平,这样才能揭示生命活动的最基本的物理化学变化过程。

近年来,在细胞、亚细胞及分子水平上的实验研究取得了较大进展。例如,可在游离的细胞膜碎片上研究膜受体与配体的作用及其亲和性、结合位点、影响因素等。随着分子生物学的发展,已经可以用分子克隆技术将一些受体的基因分离出来,研究受体的特性。

4. 生理学的整合研究 Physiology 研究的核心是生理功能调节的整合机制,即把用多学科技术所获得的资料和信息“整合”起来,才能对 physiology 功能形成完整、深入的认识。此外,生理功能的本质决定了对它的研究必然是包括自整体至分子水平的多层次研究,只有将不同层次对生理现象机制的认识“整合”起来,才能深刻地阐明生理功能,最终揭示生命活动的奥秘。这就是整合生理学(integrative physiology)的研究。

(二)人体生理学的研究方法

Human physiology 是一门实验科学,一切 physiology 的知识都来自对生命现象的客观观察和实验。根据实验对象的不同可分为:

1. 人体实验 我们可以在不伤害人体健康的条件下进行某些 physiology 研究。例如,体外测定正常人静息时的血压、脉搏和呼吸频率,描记心电图和脑电图以及用 CT、磁共振等手段来鉴别人体生理和病理变化。尽管如此,某些实验还是会给机体带来一定损害的,因此,进行人体实验仍受到一定的限制。

2. 动物实验 常用的动物实验有:

(1)急性实验(acute experiment) 即在麻醉条件下解剖动物,对其某些器官进行实验观察。优点是方法简便,易于控制条件;缺点是实验时间受限,实验后动物不能存活。

Acute experiment 又可分为在体(in vivo)与离体(in vitro)两种。In vivo 实验是指在麻

醉或破坏动物脑的情况下,进行活体解剖或实验,所观察的器官仍在体内原位置;*In vitro* 实验是从动物体内取出某一器官或组织(如心脏、肌肉等)置于适宜的人工环境中,在短期内维持其功能活动并进行实验观察。

(2)慢性实验(*chronic experiment*) 指在麻醉、无菌条件下对健康动物进行手术,如制备消化道的瘻管或摘除、破坏某一器官,然后在恢复正常生活的情况下,观察器官功能的改变或观察在摘除、破坏某一器官后所产生的功能紊乱等。该实验方法的优点是动物存活时间长,便于研究某一器官正常情况下的功能活动及其在整体功能活动中的作用;缺点是不便于具体分析这一器官的生理特性以及与其他器官间的关系。

第二节 人体生理功能的调节

人体是一个统一的整体,机体之所以与内、外界环境之间的变化相适应,从而保证了机体生命活动的完整统一性,这是因为人体具有完善的调节机制。

一、机体的内环境与稳态

(一)机体的内环境

1. 体液 体内的水分及溶解于其中的溶质,总称为体液。体液遍布于细胞内外,分布于细胞内者称为细胞内液,分布于细胞外者称为细胞外液,细胞外液中 1/4 为血浆,3/4 为组织液。

2. 内环境 机体直接接触的外界环境称为外环境,它是不断变化着的。而体内细胞不与外界环境发生接触,它直接浸浴在细胞外液(血液、淋巴、组织液)之中。因此,法国生理学家伯尔纳(*Bernard C*)将细胞外液称为机体内环境(*internal environment*),以区别于整个机体所生存的外环境。

Internal environment 最重要的特征是它们的理化性质(如温度、pH、渗透压、各种离子成分)能保持相对稳定,从而为机体细胞的活动提供必要的基本条件,确保各种酶促反应和生理功能的正常进行,同时它又能为细胞提供营养物质,并接受和清除来自细胞的代谢产物。

(二)稳态

机体 *internal environment* 理化性质保持相对稳定的状态称为稳态(*homeostasis*)。这是 20 世纪 40 年代美国生理学家坎农(*Cannon WB*, 1871 ~ 1945)提出的概念。因为细胞的新陈代谢本身不断地破坏着 *internal environment* 的稳定,同时机体又通过各种调节机制使其恢复平衡。所以,机体的生命活动正是在 *homeostasis* 不断受到破坏而又不断得到恢复的过程中得以维持和进行的。它一旦发生破坏,新陈代谢将不能正常进行,机体的生命活动将会受到威胁。

二、生物节律

生物体的各种功能活动经常按照一定的时间顺序发生周期性变化,周而复始地重复

出现,这种变化的节律称为生物节律(biorhythm)。按 biorhythm 频率的高低分为高频、中频和低频 3 类。凡是节律周期短于 1 d 的属于高频节律,如心脏活动的周期性变化、呼吸自动节律等。节律周期为 1 d 的属中频节律,也是最重要的 biorhythm。人体内几乎每种生理功能都有日周期,如体温、血压、血细胞数目、觉醒与睡眠、激素分泌等。低频节律有周周期、月周期(如女性的月经周期)和年周期(如候鸟的迁徙)。

Biorhythm 的重要生理意义是使机体对环境变化作更完善的适应,它的调节中枢可能在下丘脑视交叉上核。

三、人体功能活动的调节

人体功能活动的调节通常是由神经调节、体液调节和自身调节来完成的,其中以神经调节最为重要。

(一)神经调节

神经调节(neuroregulation)是指通过神经系统(nervous system)的活动,对机体各组织、器官、系统进行的调节。它是通过反射(reflex)的方式来完成的。所谓 reflex 是指在中枢神经系统的参与下,机体对内外环境的刺激发生的规律性的适应性反应。完成 reflex 所必需的结构是反射弧(reflex arc),它由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器 5 个部分组成。感受器是接受刺激的结构,效应器是产生反应的器官,神经中枢位于脑和脊髓内,传入神经和传出神经是将感受器和效应器与神经中枢联系起来的通路。

Neuroregulation 的特点是反应迅速,历时短暂,作用准确、局限。

(二)体液调节

体液调节(humoral regulation)一般是指内分泌细胞所分泌的激素(hormone)或组织细胞所产生的一些化学物质或代谢产物经体液(血液或组织液)循环到全身各处或某局部,作用于细胞上相应的受体,调节各器官、组织或细胞的生理活动。通常组织细胞的代谢产物只是在局部发挥作用,故可看作是局部体液调节。

大多数内分泌腺或内分泌细胞是直接或间接受中枢神经系统(central nervous system)控制的。在这种情况下,humoral regulation 就成为 neuroregulation 的一个环节,相当于传出通路的延伸部分,因此称为神经-体液调节(neuro-humoral regulation)。

Humoral regulation 的特点是作用缓慢,历时持久,影响广泛,精确度差。

(三)自身调节

自身调节(autoregulation)是指器官、组织、细胞在内外环境变化时,不依赖于 neuroregulation 或 humoral regulation 而自身产生的适应性反应。例如,心肌收缩力在一定范围内与收缩前心肌纤维的初长度呈正相关;肾血流量在血压为 80~180 mmHg 之间变动时保持相对稳定,不随全身血压变化而波动;脑血流量在全身血压变动于 60~140 mmHg 范围内仍然可以维持恒定。

Autoregulation 是一种局部调节,其主要特点是常常局限在一个器官或一小部分组织或细胞内,调节准确、稳定,但调节幅度和范围较小。

(四)生理功能调节的自动控制系统

1. 反馈与自动控制 用控制论原理来分析人体生理功能的调节时,可以把人体的各种功能调节系统看作一种自动控制系统,神经、体液调节属于控制部分,其所发出的信息称为控制信息,能够改变受控部分的状态或效应;而效应器则属受控部分,它的状态及其所产生的效应称之为输出变量,其返回至控制部分的信息称为反馈信息,从而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,这种调节方式称为反馈调节(feedback regulation),即在控制部分与受控部分之间存在着往返双向的联系,形成了一个闭合回路。当反馈信息的作用与控制信息的作用相反,能减弱或抑制控制信息的效应,称为负反馈(negative feedback)。体内大多数反馈性调节均为 negative feedback。反之,当反馈信息的作用与控制信息的作用相同,能加强控制信息的效应,称为正反馈(positive feedback),它具有不断增强的特点,最适于那些需要迅速发起并尽快终结的生理过程。人体内这类反馈并不多见,例如排尿反射、分娩、血液凝固过程及动作电位的形成等,这些过程一旦发动,就会逐步加强、加速,直至完成。

2. 前馈与自动控制 虽然 negative feedback 调节是维持机体 homeostasis 的重要方式,但是它有一定的缺点,因为它只有在输出变量出现偏差后,才能通过 feedback 来加以纠正,因此,总要滞后一段时间,并且在纠正偏差的过程中易于矫枉过正,从而产生一系列的波动。

实际上,正常机体在各种环境因素(即干扰信息)的不断干扰下,仍能保持良好的 homeostasis,这是因为多种干扰信息可以直接通过体内有关的各种感受装置作用于控制部分,在输出变量尚未出现偏差而发生 negative feedback 时,就能及时发出纠正信息,做到防患于未然,从而使机体的调控过程不至于出现较大波动和滞后现象。这种干扰信息对控制部分的直接作用称为前馈(feedforward)。如运动员进入训练或比赛场地,通过各种视觉、听觉的刺激,以条件反射的方式通过神经系统对心血管、呼吸和骨骼肌等器官活动预先进行调控,增强其活动及功能等,以适应即将发生的代谢增强的需要,这就是 feedforward 控制的表现。

(徐州医学院 张建福)

参 考 文 献

- 1 姚泰主编.生理学.第5版.北京:人民卫生出版社,2000
- 2 张建福主编.人体生理学.上海:第二军医大学出版社,2000
- 3 王志均,陈孟勤主编.中国生理学史.北京:北京医科大学·中国协和医科大学联合出版社,1993
- 4 Guyton AC, Hall JE. Textbook of medical physiology. 10th ed. Philadelphia: WB Saunders Co, 2000