

普通高等院校精品规划系列教材

生理学

王正朝 于泊洋 王少兵◎主编

physiology

 电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

前 言

生理学是生物科学的一个分支，是以生物机体的生命活动现象和机体各个组成部分的功能为研究对象的一门科学。人体生理学的任务就是研究构成人体各个系统器官和细胞的正常活动过程，特别是各个器官、细胞功能表现的内部机制，不同细胞、器官、系统之间的相互联系和相互作用，并阐明人体作为一个整体，其各部分的功能活动是如何互相协调、互相制约，从而能在复杂多变的环境中维持正常生命活动过程的。生理学是一门非常重要的基本理论课程。

由于编者水平有限，书中疏漏之处难免存在，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生理学简介	1
第二节 机体生命活动的基本特征	3
第三节 生理功能的调节	6
第四节 生理学的发展史和研究展望	7
第五节 中医学的整体观念与机体稳态的调控机制	11
第六节 体育教学	13
第二章 细胞的基本功能	15
第一节 细胞膜的结构和物质转运功能	15
第二节 细胞膜的跨膜信号转导功能	22
第三节 细胞的生物电及其活动的本质	23
第四节 中医学有关生命活动的基本物质的生理功能	30
第三章 血液	34
第一节 血液的基本组成与理化特性	34
第二节 血细胞	36
第三节 生理性止血	42
第四章 循环系统	50
第一节 心脏的生物电活动	50
第二节 器官循环	57
第五章 呼吸	62
第一节 肺通气	62
第二节 呼吸气体的交换	72
第三节 呼吸运动的调节	76
第六章 消化和吸收	82
第一节 消化	82
第二节 吸收	93

第七章 能量代谢和体温	97
第一节 能量代谢	97
第二节 体温及其调节	103
第八章 尿的生成与排出	111
第一节 肾脏的排泄功能	111
第二节 尿的生成过程	114
第三节 尿液的排放	123
第九章 生殖	126
第一节 男性生殖	126
第二节 女性生殖	129
第十章 神经系统	136
第一节 神经系统功能活动的基本原理	136
第二节 神经系统的感觉功能	154
第三节 神经系统对躯体运动的调节	160
第四节 中枢神经系统对内脏功能的调节	171
第十一章 感觉器官	176
第一节 感受器及其一般生理特性	176
第二节 视觉器官	178
第三节 内耳的平衡感觉功能	188
第四节 其他感觉器官	191
第十二章 内分泌	192
第一节 概述	192
第二节 下丘脑和垂体	197
第三节 甲状腺的内分泌	204
第四节 胰岛的内分泌	209
第五节 其他	211
第十三章 肌肉收缩	213
第一节 肌肉的构造	213
第二节 肌肉收缩的原理	215
参考文献	218

第一章 绪 论

第一节 生理学简介

一、什么是生理学

生理学 (physiology) 是生物科学的一个分支, 是研究机体生命活动现象和规律的科学。生理学的研究对象就是机体的生命活动, 如呼吸、消化、血液循环等。根据研究对象的不同, 生理学可分为动物生理学、植物生理学和人体生理学等。人体生理学主要研究在正常状态下, 机体内各细胞、器官、系统的功能, 以及作为一个整体, 各部分之间的相互协调并与外界环境相适应过程的规律和机制, 从而认识和掌握生命活动的规律, 为防病治病、增进人类健康、延长人类寿命提供科学的理论依据。

二、生理学研究的三个水平

人体的基本结构和功能单位是细胞, 不同细胞构成了不同的器官, 各种器官又相互联系组成了不同的功能系统, 各系统相互协调构成一个统一的整体。因此, 生理学的研究就是从细胞和分子、器官和系统、整体三个水平上进行的。

(一) 细胞和分子水平

以细胞及其所含的物质分子为研究对象。生理活动的物质基础是生物机体, 构成机体的最基本结构和功能单位是各种细胞, 体内各个器官的功能都是由构成该器官的各个细胞的特性决定的, 例如肌肉的功能与肌细胞的生理特性分不开, 腺体的功能与腺细胞的生理特性分不开等。因此, 研究一个器官的功能, 需要从细胞的水平上进行。然而, 细胞的生理特性又是由构成细胞的各个分子, 特别是细胞中各种生物大分子的物理学和化学特性决定的。例如肌细胞发生收缩, 是由于在某些离子浓度改变及酶的作用下肌细胞内若干种特殊蛋白质分子的排列方式发生变化的结果。因此, 生理学研究还必须深入分子水平。

(二) 器官和系统水平

以器官系统为研究对象, 研究各器官、系统的功能及其调节机制, 从而阐明各器官、系统的活动规律和它们在整体生理功能中所起的作用以及各种因素对它活动的影响。例如, 要了解循环系统中心脏如何射血, 血液在心血管系统中流动的规律, 以及神经、体液因素对心

脏和血管活动的影响等，就要以心脏、血管和循环系统作为研究对象。器官和系统水平的研究十分重要，在临床医疗实践中，医生对各种疾病的认识也是以器官和系统的正常生理知识为基础的。

（三）整体水平

强调各器官、系统之间的相互影响和配合，以完整的机体为研究对象，观察和分析在各种环境条件和生理情况下不同的器官、系统之间互相联系、互相协调，以及完整机体对环境变化发生各种反应的规律。例如剧烈运动时，在神经、内分泌系统的调节下，心跳加快加强，心输出量增加，而血管系统中的血流量发生重新分配，骨骼肌血流量增多，消化、内分泌系统功能相对减少，尿量减少。呼吸系统活动增强，呼吸加深加快以满足氧耗量的增加和加快对 CO_2 的清除。

以上三个水平的研究，它们相互间不是孤立的，而是相互联系和相互补充的。当我们要阐明某一生理功能的机制时，一般需要用多种实验技术从以上三个水平进行研究，并对不同水平的研究结果进行综合分析，才能得出较正确的结论。

三、生理学研究的方法

生理学是一门实验性科学，其知识的积累主要是来自生活实践、实验研究和临床实践。研究生命活动的规律必然要以活着的机体、器官或组织细胞进行实验。生理学的研究大多数是在动物（特别是脊椎动物）上进行实验，只有确证对人体健康无损害时，才可以在志愿者（正常人或患者）身上进行观察。

动物实验（experiment on animals）可分为急性实验和慢性实验两大类。

1. 急性实验

分为在体（in vivo）实验和离体（in vitro）实验两种。

（1）在体实验：是在完整的动物身上进行的，大多数是在麻醉条件下，观察某一器官、系统的功能活动。例如，在家兔颈总动脉插入套管测定动脉血压，刺激减压神经、静脉注射某些药物时观察动脉血压的变化。其优点是保存了被研究器官与其他器官的自然联系和相互作用，便于分析各器官之间的相互影响。

（2）离体实验：从活着的或刚被处死的动物身上取出所要研究的细胞、组织或器官，将它们置于一个类似于体内的人工环境中，使它们在一定时间内保持其生理功能，以进行实验研究。例如，坐骨神经腓肠肌标本、蛙心灌流等。这种方法的优点是排除了无关因素的影响，实验条件易于控制，结果便于分析，但是所获得的结果不能简单等同于或类推到体内的真实情况。

2. 慢性实验

指的是在完整而且清醒的动物身上，在机体保持内、外环境处于相对稳定的条件下，进行各种生理实验的方法。如给实验动物实施外科无菌手术制备各种器官的瘘管，以及摘除、破坏或移植某些器官，以研究该器官的生理功能等。由于这种实验动物存活时间较长，故称为慢性实验。其优点是保存了各器官的自然联系和相互作用，便于观察某一器官在正常情况下的生理功能及其与整体的关系。例如，巴甫洛夫创造的巴氏小胃，用来研究神经系统对胃液的调节。缺点是体内条件太复杂，结果不易分析。

应当指出，生理学的知识大部分是从动物实验中获得的，但是，在应用这些生理学知识

时,务必要考虑到动物和人之间的差别,不可简单地将动物实验结果套用于人体。同时,也应当注意到急性实验和慢性实验所得的结果是有差别的。在解释实验结果时,不能将特定条件下所获得的资料推论为普遍规律。要用辩证唯物主义的理论来指导我们观察问题、分析问题,全面地分析综合所得出的实验结果,才能对人体的生理功能得出正确的认识。

近年来,随着科学技术的发展,我们可以应用遥控、遥测技术,体表无创伤检测技术等,对动物或人体进行各种无创伤性生理功能的研究,从而使生理学的研究日益深入,生理学的理论不断得到新的发展。

第二节 机体生命活动的基本特征

机体生命活动的基本特征主要有新陈代谢、信息传递、兴奋性、适应性、生物节律、生殖、衰老和死亡等。

一、新陈代谢

新陈代谢(metabolism)是生命的基本特征之一,是指机体不断地同自然环境进行物质交换的过程,包括物质代谢和能量代谢两个方面。物质代谢分为合成代谢和分解代谢,在物质代谢过程中伴随着能量的转换。合成代谢(anabolism)是指机体从外界摄取营养物质来构筑和更新自身,并储备能量的过程。在这个过程中,从消化道吸收入血的结构简单的物质被合成为结构复杂的物质,又称之为同化作用(assimilation)。合成代谢需要供给能量,是吸能反应。分解代谢(catabolism)是指机体分解自身的部分物质并将代谢废物排除,同时释放能量。在这个过程中,结构复杂的物质被分解成简单的物质,又称之为异化作用(dissimilation)。在分解代谢中,能量物质释放所蕴藏的化学能,是放能反应。体内的同化作用和异化作用是同时进行和互相依赖的,前者是后者的物质基础,没有同化就没有异化,但同化作用所需的能量又是物质分解过程中提供的。因此,同化是异化的前提,异化又是同化的必需条件。机体正是通过同化和异化的矛盾统一过程,使体内的物质不断地进行自我更新。

二、信息传递

外界的刺激和机体细胞产生的某些物质,以不同的信号形式作用于各种细胞,都属于信息传递(signaling)。其涵盖范围广泛,细胞内生理、生化过程如神经冲动的传导、蛋白质的相互作用、酶促反应等,在本质上都属于信息传递的范畴。细胞的信息传递存在于细胞整个生命过程,信息量巨大,过程复杂,至今尚未完全阐明。机体结构和功能的基本单位是细胞,细胞在受到不同信息物质的作用后,在产生其功能活动变化的同时又会产生对自身或其他细胞活动具有影响或调节的物质。由此可见,在细胞活动过程中,必然伴有细胞间和细胞内的信息传递过程。体内的信息物质主要是细胞在活动过程中产生的,例如,神经元活动时生成和释放的神经递质和神经肽、内分泌腺和内分泌细胞活动时合成和释放的激素、细胞活动过程中产生的多种细胞因子和气体分子以及代谢产物等。上述信息物质在引起细胞内信息传递的过程中,又会产生环一磷酸腺苷和环一磷酸鸟苷、二酰甘油和三磷酸肌醇等新的信息分子。体内的每种信息物质都按其自身的规律运动和变化,进而控制和影响相应的功能活

动。由于机体的生命活动是一个动态变化的过程，所以，任一变化着的生命活动都会不断产生新的信息。这些信息既可以引起其他的功能活动，又可以反馈调节自身的活动，为其功能活动的稳定提供了内在的保证机制。

三、兴奋性

传统的兴奋性 (excitability) 的概念是指机体对刺激具有发生反应的能力或特性。从现代细胞电生理定义，兴奋性是指可兴奋细胞受到刺激后具有产生动作电位的能力或特性。可兴奋细胞是指在受到刺激后能够产生动作电位的细胞，主要包括神经细胞、肌细胞和腺体细胞。在受到刺激后，分别表现为神经纤维传导电冲动、肌细胞产生收缩和腺体细胞出现分泌，但它们具有的共同特征就是产生动作电位。机体生活在一个不断变化着的环境之中。环境中各种物质运动产生的变化，有的能被机体感知，这是机体同环境间保持联系的前提条件。凡是能引起机体 (或组织细胞) 发生反应的环境因素变化，均称为刺激 (stimulus)。刺激可分为理化性刺激 (光、声、电、机械和温度、酸和碱等) 和生物性刺激 (病原体) 等种类。这里要强调的是，个体所处社会的政治和生活秩序的变化以及自身的经济地位和文化状况等，这些社会源性的因素也可成为刺激。这些刺激通过对个体精神和心理活动的影响，进而影响其疾病的发生和发展以及治疗的过程。

若要引起机体发生反应，刺激的强度、刺激的持续时间和刺激强度时间变化率三个参数必须达到一定值。在生理学的实验和研究中，通常使用的是电刺激。电刺激的强变可以人为地控制，使用适度的刺激不会对组织造成损伤。在使用电刺激时，刺激强度时间变化率是固定的，只需调节刺激的持续时间 (波宽) 和强度 (电压)。在保持刺激的时间一定时，引起组织细胞发生反应的最小刺激强度称为阈强度 (threshold intensity)，简称阈值 (threshold)。引起组织细胞发生反应的最小强度的刺激，称为阈刺激 (threshold stimulus)。强度小于阈值的刺激为阈下刺激，强度大于阈值的刺激为阈上刺激。对于兴奋性较高的组织细胞，引起兴奋所需的刺激强度较小；反之，兴奋性较低的组织细胞，引起兴奋所需的刺激强度则较大。所以，兴奋性同阈值之间呈反变关系。机体受刺激后，体内的生化代谢和生理功能发生的变化称为反应 (reaction)。机体对刺激发生的反应表现为兴奋和抑制两种形式。机体受刺激后，由相对静止变为活动或活动由弱变强，称为兴奋 (excitation)；机体受刺激后，由活动转为相对静止或活动由强变弱，称为抑制 (inhibition)。从细胞电生理定义，刺激使细胞膜发生去极称为兴奋，只是受刺激的局部去极称为局部兴奋 (local excitation)，刺激使细胞膜出现动作电位的变化称为扩布性兴奋，刺激使细胞膜的去极电位减小或呈超极化电位变化称为抑制。兴奋和抑制是体内功能活动发生和发展过程中所表现出的共同规律。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，抑制反应必须以兴奋为基础。兴奋和抑制两者互为前提，对立统一，相互间可随条件的变化而发生转化。最后要强调的是，在机体功能活动进行的过程中，任何刺激引起的反应都表现为各部分功能活动相互协调和配合的整体性，例如，在手部受到伤害性刺激时，必然会引起屈肌收缩 (兴奋) 和伸肌舒张 (抑制) 以及情绪和内脏活动的变化。

四、适应性

在人类遗传和进化的过程中，机体的结构与功能一方面不断地分化与特殊化，另一方面又不断地加强整体性。人类生存的环境是复杂多变的。机体不同的组织和细胞、器官和系统

在执行其功能的同时，彼此密切配合和协调，以整体功能活动的形式去适应不断变化的环境。机体所具有的完善而精确的适应环境因素变化的能力称为适应性（adaptability）。这种能力表现为机体对环境因素的变化所产生的系列适应性反应。通过这些反应，避免了环境中的不利因素对机体的伤害，进而保持其功能活动的正常进行。例如，在强光下，瞳孔缩小以减少入眼光线，使视网膜得到保护的同时在视网膜上形成清晰的物像。又如，外环境的温度变化时，机体通过体温调节机制，调节产热和散热过程以维持体温的稳定；通过增减衣物和活动量，以及创造人工气候环境（如安装空调设备）等，亦有助于使体温保持相对的稳定。可见，人类不仅能依靠调节生理反应来被动适应环境的变化，还能通过自己的劳动和创造以主动适应其生存和生活的环境。另外，机体长期生活在一个特定的环境中，本身可逐渐形成一种特殊的、适合自身生存的方式，例如，长期居住在高原的人血中的红细胞数明显多于生活在平原地区的人，这样就增加了血液运输 O_2 的能力，避免了高原缺氧给机体带来的损害。几代甚至是十几代都生活在高原环境的个体，在自然选择的压力下，通过遗传和变异已产生了适应于高原和低氧的遗传基因，这些基因控制机体的功能活动，使之与环境间的各种因素产生高度的适应，所以，也就不存在环境低氧等因素对其功能活动的影响。

五、生物节律

体内的功能活动常按一定的时间顺序周而复始地发生和变化，由于这种变化具有节律性，故称之为生物节律（biorhythm）。体内的活动按频率的高低可分为高、中和低频三类节律。高频节律的周期小于1天，如心率和呼吸的周期性变化。节律周期大于7天的属于低频节律，如妇女的月经周期。节律周期介于上述两者之间的为中频节律。中频节律常为日周期，如睡眠和觉醒的周期性发生、体温和血压在清晨较傍晚稍低以及某些激素在血中浓度的周期性变化。中频节律是体内最重要的生物节律，例如，清晨体内糖皮质激素的分泌量增多，与该激素结合的受体数量增多，使得个体有旺盛的精力投入新一天的生命活动；在夜间，该激素的分泌量减少，受体结合激素的能力降低，使整体功能活动减弱而有利于体力和脑力疲劳的消除。目前认为，生物节律的控制中枢与下丘脑的视交叉上核以及同其相联系的松果体和垂体等部位有关，它们共同组成松果体-下丘脑-垂体节律系统，负责控制和协调体内功能活动的时序性和节律性。生物节律的存在，使机体对环境因素的变化能产生更为完善的适应。

六、生殖

生长发育成熟的机体具有产生与自己相似子代个体的能力称为生殖（reproduction）。人的生命是指从受精卵到死亡之间人的存在。个体出生后，许多器官的结构和功能还远未发育完善，需经历相当长时期的继续生长和发育才能成熟。机体的生长发育是在遗传因素作用的基础上，通过体内许多激素的调节和出生后机体与环境的互动过程中所进行的生命活动。个体出生后的前3个月生长发育很快，2岁后生长速度渐减慢。至青春期生长速度又加快，直至发育成熟而具有生殖的能力，维持一段时间后继之衰老、死亡。由此可见，生命是一个单向发展和运动的过程。虽然个体的生命是有限的，但由于个体具有繁衍与自身相似子代的能力，故生命现象又是无限的。

七、衰老和死亡

衰老是一切生物体不可避免的自然规律。衰老 (senescence) 是指机体生长发育成熟以后, 随年龄增长而发生的组织结构、生理功能和心理行为上的一系列退化过程, 是个体生命活动过程的最后阶段, 属于生理性的。随着时代的发展, 衰老机制研究产生了一系列新的学说, 包括自由基学说, 自身免疫学说, 端粒酶学说等。例如, 端粒学说由 Olovnikov 提出, 认为端粒是真核生物染色体末端由许多简单重复序列和相关蛋白组成的复合结构, 具有维持染色体结构完整性和解决其末端复制难题的作用。端粒酶是一种逆转录酶, 由 RNA 和蛋白质组成, 是以自身 RNA 为模板, 合成端粒重复序列, 加到新合成 DNA 链末端。正因如此, 细胞每有丝分裂一次, 就有一段端粒序列丢失, 当端粒长度缩短到一定程度, 会使细胞停止分裂, 导致衰老与死亡。但是许多问题用端粒学说还不能解释, 如 Kipling 发现, 鼠的端粒比人类长 5~10 倍, 寿命却比人类短得多。

衰老主要表现为机体大脑的反应力下降; 各种感觉功能减退; 肌力减弱, 骨和关节退行性变, 动作迟缓, 运动过程中整体的协调性降低; 心血管和呼吸的功能减弱, 储备能力下降, 体力劳动或运动时易于发生心累气急; 消化道运动功能减弱, 消化腺分泌减少, 消化能力减退; 肝的合成和解毒等方面的功能减弱; 肾排泄功能和对外尿的浓缩或稀释能力降低; 内分泌功能低下, 整体代谢水平和对外伤及感染的反应能力均减弱; 由于神经和体液调节能力减弱, 维持体内功能活动相对稳定的能力降低, 进一步发展必然使整体对环境因素变化的调节和适应能力更加减弱, 最终导致死亡。

综上所述, 新陈代谢是一切生命活动的基础, 信息传递存在于生命活动的过程, 两者使机体对环境因素的变化具有发生反应和产生适应的能力。同时, 使机体发育成熟后获得创造新生命的能力。生命是一个单向运动的过程, 衰老和死亡是生命活动的最后阶段, 是生命活动发展的必然结果。

第三节 生理功能的调节

人体生理功能的调节是指对内、外环境的变化所产生的适应性反应。其目的是维持人体生理活动的正常进行。人体生理功能的调节主要是维持内环境的稳态和使人体多项生理功能随机体活动的需要而发生相应变化。

内环境的相对稳定是维持人体正常生理功能的必要条件。人体的绝大部分细胞一般不与外界环境发生接触, 而是浸浴在细胞外液 (血浆、淋巴液和组织液) 中。细胞外液是人体细胞所处的内环境 (internal environment)。人体内环境的理化性质是始终维持相对稳定的。在正常情况下, 细胞外液中的氧和二氧化碳分压、渗透压、pH 等, 是处在一种相对稳定的状态, 称之为稳态 (homeostasis)。稳态是细胞行使正常生理功能和机体维持正常生命活动的必要条件。细胞、组织、器官和系统的正常功能又是内环境稳态的重要保证。

内环境理化性质的稳定是相对稳定, 是通过神经调节、体液调节和自身调节而实现的。

一、神经调节

神经调节 (nervous regulation) 是指在神经系统的参与下机体通过反射活动而实现的一

种调节方式。所谓反射(reflex)是指在中枢神经系统参与下,机体对内、外环境变化所做出的规律性应答。完成反射所必需的结构基础称为反射弧(reflex arc)。它由感受器、传入神经纤维、神经中枢、传出神经纤维和效应器五部分组成。神经调节的特点是迅速、精确而短暂。

二、体液调节

体液调节(hormonal regulation)是指内分泌细胞所分泌的激素或组织细胞所产生的某些化学物质或代谢产物,经体液(血液或组织液)运输至全身或某些局部的组织细胞,调节其活动。

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至全身,调节细胞的活动,称为远距分泌(telecrine);有些内分泌细胞分泌的激素只通过局部组织液的扩散,作用于邻近的细胞,称为旁分泌(paracrine);下丘脑内的一些神经内分泌细胞合成的激素,随神经轴突的轴浆流至末梢,再释放入血,调节着相应组织细胞的活动,称为神经分泌(neurocrine)。除激素外,组织细胞的代谢产物,对组织细胞的功能也有调节作用,可认为是局部体液调节。与神经调节相比,体液调节的特点是作用缓慢,历时持久,影响广泛,精确度差。

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控制的。在这种情况下,体液调节就成为神经调节的一个环节,相当于传出通路的延伸部分,因而又称之为神经-体液调节。神经组织本身的代谢过程,同样也需要依赖于体液系统的调节,离开体液调节,神经系统将失去实现其功能活动的基础。近年来发现,免疫细胞分泌的一些化学物质,如细胞因子也参与体液调节,神经系统、内分泌系统和免疫系统间存在复杂的反馈联系。因此,人们更倾向认为,人体功能的调节是神经系统、内分泌系统和免疫系统相互作用的结果。

三、自身调节

自身调节(auto-regulation)是指机体的器官、组织、细胞在内外环境发生变化时,所产生的适应性反应。这种反应不依赖于神经或体液调节。例如,在一定范围内,动脉血压降低,脑血管就舒张,血流阻力减小,使脑血流量不致过少;若动脉血压升高,则脑血管收缩,增加血流阻力,使脑血流量不致过多。这种反应在去除神经支配和体液因素的影响以后仍然存在,故称之为自身调节。它是一种比较简单的、局限的原始调节方式。其特点是调节准确、稳定,调节范围有限,但对生理功能的调节仍有一定的意义。

第四节 生理学的发展史和研究展望

今天的生理学知识,若以1628年Harvey发现血液循环并把生理学确立为科学计算,有近400年的历史。尽管生理学已经历了漫长的发展史,但机体功能活动的发生和机制等尚有许多问题没有阐明。本节仅就生理学发展中的某些历史事件予以简述,并根据目前的研究趋势对其进行展望。

一、生理学的发展史

(一) 古代对生理学的认识

1. 我国对生理学的认识

《内经》是我国在2000多年前(前403—前221年)的医学经典。该著作在对人体的功能活动进行的描述中,指出心主血脉,肺主气司呼吸,肾主水、主骨等;有关“心主血脉”,气血循行体内“如环之无端,莫知其继,周而复始”的叙述,提示了血液循环的概念;在“心为君主之官”和“怒伤肝,喜伤心,思伤脾,忧伤肺,恐伤肾”等的解释中,表明神经系统在整体中的主导地位,以及人的情感和意志等对体内多种功能活动的影响;尤其认为“经络”遍布全身,统率脏腑,联络肢体,通表达里,沟通上下,是机体同环境之间的联系通路。若经络失常、气血不和,则导致机体功能紊乱,表明了人体是一个统一的整体,人体与环境间有着密切的联系。通过进一步的发展,建立了独特而完整的传统医学理论体系。传统医学认为,精气是构成人体和维持生命功能的物质基础。维持生命活动的精气分为阴、阳两个方面,两者既对立又统一,相互消长转化是体内各种功能发生变化的根本原因。阴阳平衡时,整体生命活动正常;阴阳失调则表现为疾病。

2. 国外对生理学的认识

古代希腊医学家Hippocrates(前459—前377年)提出人体中存在着水、火、土和气四种元素,与之对应的有黑胆汁、血液、黏液和黄胆汁四种液体,这些液体的比例正常,人体处于健康状态,否则导致疾病。Galen(130—201年)继承了Hippocrates的主要理论并加以发展,提出的“三元气”学说,认为生命的基本要素是元气。他把人体的生长、运动和思维三大功能归之于自然灵气、活力灵气和理性灵气这三种非物质的“灵气”作用,疾病则是因灵气的改变所致。

(二) 近代生理学的发展

1. 实验生理学的发展

以实验为特征的近代生理学始于17世纪。1628年,英国医生Harvey(William Harvey, 1578—1657年)发表了有关血液循环的名著《心与血的运动》一书,这是人类历史上第一次通过对多种动物进行活体解剖和生理实验,结合在人体内的观察和分析。以实验的方法证实了人和高级动物的血液是从左心室射出,通过体循环的动脉血管流向全身组织,然后汇集于静脉血管回到右心房,再经过肺循环进入左心房。因此,心脏被认为是血液循环的中心。Harvey的功绩不仅在于证明了血液循环的基本规律,更重要的是开创了“活体解剖”的研究方法,为生理学开辟了实验研究的道路。因为,只有通过实验研究,才可能阐明人体生命活动的发生过程和影响因素,才可能对各种生理功能的发生机制进行深刻的分析。恩格斯曾高度评价Harvey的工作,他说:“血液循环的发现把生理学确立为科学。”但当时关于动脉与静脉之间的连接只能依靠臆测,他认为动脉血是穿过组织的空隙通往静脉的。直至1661年,即在Harvey逝世后第四年,意大利解剖学家Malpighi(Marcello Malpighi, 1628—1694年)将GalileO(Galileo Galilei, 1564—1642年)发明的望远镜改制成显微镜,并用它发现了毛细血管,这才真正将血液循环的全部路径搞清楚,并确立了循环生理的基本规律。因此,研

究工具的进步和许多新的技术应用,使生理学的研究日益深入。

2. 分析和整合生理学的发展

“内环境恒定”的概念的提出是分析和综合生理学发展的重要里程碑。法国生理学家 Bernard (Claude Bernard, 1813—1878年) 在他晚年经过逻辑推理而概括出这一概念。在分析和归纳人体内复杂的生化反应时, Bernard 提出了内环境的概念, 指出机体各部分功能活动是相互联系和彼此制约的整体作用过程。他认为, 机体生存在两个环境中, 一个是不断变化着的外环境, 另一个是比较稳定的内环境。因而机体在外环境不断变化的情况下仍能很好地生存。例如, 人可在空气干燥时 120℃ 室温下停留 15 分钟, 并无不良反应, 体温仍可保持相对稳定。但在此温度下, 只需 13 分钟即可将一盘牛肉烤熟, 可见人维持体温的能力是极强的。但若在湿度饱和的空气中, 空气温度虽然只有 48℃ ~ 50℃, 人也只能很短时间耐受, 这是因为汗液不能有效蒸发的缘故。他还观察到, 高等动物机体许多特性保持恒定的程度高于低等动物, 因而认为这种差异是由于在进化中发展了内环境的缘故。所以, 他总结为一句话: 内环境的相对稳定是机体能自由和独立生存的首要条件。这句话被认为是 Bernard 对生命现象高度概括的具有丰富内涵的一句名言。美国生理学家 Cannon (Walter B. Cannon, 1871—1945年) 在 Bernard 工作的基础上, 提出了内稳态的概念。在 Bernard 提出的内环境和 Cannon 提出的内稳态概念的基础上, 数学家 Wiener (Norbert Wiener, 1894—1964年) 于 1947 年创立了控制论, 随即反馈自动控制理论用于阐述机体功能活动的调节及内稳态的维持机制。俄罗斯生理学家巴甫洛夫 (1849—1936年) 创立了保持机体完整性的慢性实验方法, 为动态、综合地研究动物整体功能活动开辟了新的途径。他对消化、循环和脑的高级神经活动进行了研究, 尤其是提出了条件反射和大脑皮质的两个信号系统的学说, 表明大脑皮质是神经调节的最高级中枢。1902 年, Bayliss 和 Starling 发现促胰液素, 建立了激素对机体功能调节的新概念。德国生理学家 Ludwig 在 1847 年设计制造的记纹鼓, 其作用发挥了一个多世纪。记纹鼓的出现, 使一些生理活动及变化 (如肌的收缩、血压和呼吸运动等) 得以记录和保存。Ling 在 1948 年研制出尖端直径小于 1μm 的玻璃微电极, Hodgkin 等随即将其用于细胞内记录并发现神经纤维的动作电位和超射, 同时提出膜电位的钠离子学说。Neher 等在 1976 年建立了测定单通道离子流的膜片钳技术, 为不同离子通道的开、闭特征和作用等的研究提供了条件。20 世纪以来, 科学技术的飞速发展和各自然学科知识的相互交叉和渗透, 为生理学的研究提供了新的理论和技术。分子生物学和计算机等技术在生理学研究中的应用, 阐明了生命的物质基础是以核酸和蛋白质等生物大分子物质为主构成的复合体系。1990 年, 美国进入“脑的十年”, 各国神经科学家把工作的重心投入对脑的研究。2000 年, 历时 10 年的人类基因组测序工作完成, 生命科学进入了后基因组时代, 使人们能从 DNA 链及其变化中去探索生命活动发生的信息和疾病的产生机制。在 20 世纪末, 国内外的一些资深生理学家认为, 在对生命活动进行微观分析研究的同时, 必须重视整体功能活动的发生及其调节机制的研究, 由此提出现代生理学应走整合生理学研究的道路, 这就为生理学的发展指明了方向。

3. 我国生理学的发展

我国近代生理学的研究自 20 世纪 20 年代才开始发展。中国生理学会成立于 1926 年, 是由当时的北京协和医学院生理学系主任林可胜教授发起创建的, 至今已走过了 85 年的历程。翌年创刊《中国生理学杂志》, 1949 年后, 改称为《生理学报》。中国生理学家在这个刊物上发表了不少很有价值的研究论文, 受到国际同行的重视。1926 年至今, 我国科学家在神经、细胞、血液、循环、呼吸、消化、内分泌和生殖生理的研究中, 均获得许多创新性的成

果，为生理学的发展做出了重要贡献。在我国对生理学发展做出的贡献中，许多都是老一辈生理学家的开创性工作。老一辈生理学家是一个优秀的群体，如林可胜教授不但发起组织了中国生理学会，而且还系统地研究了胃黏膜的组织结构和功能的相互关系，首先发现组胺具有刺激胃酸分泌的作用和肠抑胃素及其作用。蔡翘教授在研究视神经和视觉中枢结构时，发现在间脑和中脑之间有一个未被描述过的以小细胞为主的神经核团，这一核团具有参与视觉和其他功能活动的作用，被国际文献称为“蔡氏区”。张锡钧教授在20世纪30年代和同事合作首创用蛙腹直肌进行乙酰胆碱生物测定的方法，为证明乙酰胆碱是神经递质起到了重大作用，他还与同事们创立了“迷走神经-神经垂体后叶反射”理论，开辟了神经对垂体内分泌调节作用研究的新途径。冯德培教授发现静息骨骼肌在拉长时代谢增加的现象，被国际生理学术界称为“冯氏效应”；他还证明 Ca^{2+} 对神经肌接头兴奋传递具有重要作用。张香桐教授首先研究树突的功能，提出中枢神经系统有细胞体和树突上的两种突触兴奋的理论；他发现光线照射视网膜可提高大脑兴奋性的现象，被国际学术界称为“张氏效应”。杨雄理教授对视信息在视网膜神经回路中传递、调节及机制等方面进行了系统的研究，首先报道视杆细胞-视锥细胞间的电耦合因背景光而增强，发现视觉信息在暗处受压抑等现象。但是，我国生理学研究的总体水平，同国际先进水平比较还存在较大的差距，我国生命科学研究中还没有理论和方法学方面的重大突破和创新。

二、生理学研究的展望

生理学的研究已进入整体、系统和器官、细胞和分子三个水平以及功能基因组学的时代。在不同水平以及各个基因和蛋白质之间，都存在着复杂的相互作用和有机的联系，构成多层次的统一整体。人体是一个复杂的巨大系统，即使作为人体生命活动最基本单元的细胞也是一个复杂系统。医学界和生理学越来越重视不同水平研究之间的交叉、转化和结合，即研究如何把细胞、分子水平的研究成果更快地用于解决医学和改善人类健康方面的问题，同时也把在医学和人类健康方面发现的问题从器官、细胞、分子等各个水平上进行深入的基础研究。目前，这类研究被称为转化性研究（translational research），转化或转换医学（translational medicine）是近几年国际医学建素领域出现的新概念，同个性化医学、可预测性医学等一同构成系统医学体系。例如，在药物的研发过程中，转化医学的典型含义是将生理学等基础研究的成果转化成为实际患者提供的真正治疗手段，看重的是从实验室到病床旁的过程。在21世纪，整合生理学就是在分子生物学、细胞生物学等基础学科和健康学科、临床学科之间构成连接，把目前属于不同学科和不同研究水平的知识和技术整合起来，从而实现对人体各种功能整体的认识，更好地解决医学和人类健康中的问题。生理学最终要阐明各种感觉和运动、语言、计算、学习和记忆、情绪和意识等人脑的高级活动。脑的重要功能是多层次的整合。脑的研究虽然已取得某些进展，但基本上还是一个黑箱。1997年开始的国际性科研计划——人类脑计划（human brain project），将在21世纪得到进一步的实施和发展。对于有志于从事神经科学研究的青年学生而言，最具有挑战性的工作就是探索脑功能活动的奥秘所在。目前使用的无创性脑成像技术，如正电子发射断层扫描技术（PET）和功能性磁共振成像（fMRI）等技术，对了解1~4mm的脑区在不同状态下的血流和代谢等功能活动的变化提供了条件。随着研究脑功能的新技术的不断问世和发展完善，期望21世纪能在脑功能的研究方面取得新的突破。



第五节 中医学的整体观念与机体稳态的调控机制

一、中医学对人体生理的主要认识

中医学对人体生理功能的认识是在生活和医疗实践中逐步积累而形成、发展起来的。首先,是对尸体的解剖分析,不仅能观测内脏的形态大小,还能推测它们的部分生理功能,如肺主气司呼吸、肠胃主受纳水谷等知识。其次,人们在日常生活过程中,逐步观察到某些组织器官的生理现象,如目能视物、耳能听音。此外,通过临床实践中对某些生理活动的病理改变反复观察、探讨,逐渐认识到一些较复杂的生理机制。如肉眼见不到人体的气,但当患者出现某些症状时,可以诊断为气虚证,运用补气法治疗可获痊愈,从而确认在生理情况下,人体存在着“气”这种物质。由此可知,在解剖学的基础上,通过病理、临床实践反证生理,经过一个长期而反复的认识过程,最终形成了中医学特有的生理系统知识。

中医学理论体系的一个基本特点就是整体观念,其内涵包括人体本身在结构和功能上的整体性以及人与自然、社会的整体性。整体观念是古代唯物论和辩证法的哲学思想在中医学中的体现,贯穿于中医学生理、病理、诊断、辨证、治疗等各个方面,宏观地阐释了人体的各种生命现象和调控机制。人体由许多组织器官组成,各有其不同的生理功能,但它们之间不是孤立的,而是相互联系的。中医学以五脏为中心,通过经络系统“内属于脏腑,外络于肢节”的沟通和联系,将六腑、五体、五官、九窍以及四肢百骸等全身各种组织器官紧密地联结成一个有机的整体,并通过运行于周身的气血、津液等,充分地发挥其生理功能。人体本身的整体性不仅体现在组织结构的整体性,而且在生理功能活动中,也是相互依存、相互制约和相互为用的,构成协调平衡的一个整体,如食物的消化、吸收与排泄,要依靠胃的腐熟、脾的运化和大肠的传化。而脾的运化,还有赖于心血的濡养、肾气及肾阴和肾阳的资助调节、肝气的疏泄;大肠的传化糟粕,与小肠的泌别清浊、胃气的通降、肺气的肃降、脾气的运化、肾气的推动和固摄作用有关。即饮食入胃,经胃腐熟而成食糜,下传小肠;小肠泌别清浊,清者(水谷精微)由脾传输以养全身,浊者(食物残渣)下传大肠以排泄。此外,人类生活在自然与社会中,自然与社会环境相当于人体的外环境,它们的变化必然直接或间接地影响着人体的生理活动。《灵枢·邪客》说:“此人与天地相应者也。”人体的生理活动,必须随着外界环境的变迁而进行不断的调节,以适应环境并维持体内生理活动的协调平衡。如《素问·四气调神大论》说:“所以圣人春夏养阳,秋冬养阴,以从其根,故与万物沉浮于生长之门。逆其根,则伐其本,坏其真矣。”由此可知,中医学的整体观念与西医生理学的整合概念是一致的。维持人体各生理功能协调平衡的整体性,在中医学理论中表现为人体阴阳之间通过对立制约、互根互用、消长转化等实现阴阳之间的动态平衡。中医学的阴阳学说认为,人体的组织结构、生理功能、病理变化以及疾病的诊断防治等都具有阴阳这一既对立又统一的属性,阴阳之间的动态平衡,是阴阳双方相互对立、相互制约的结果。阳气能推动和促进机体的生命活动,阴气能调控和抑制机体的代谢和生命活动,阴阳双方既对立又统一,两者相互制约、协调平衡才能维持人体正常的生命活动。如《素问·生气通天论》所说:“阴平阳秘,精神乃治。”如果人体的阴阳失去了这种平衡关系,就称为“阴阳失衡”或

“阴阳失调”，便属于病理状态。“阴阳平衡”理论与现代生理学的内环境稳态概念，都是对人体生命活动过程中协调平衡规律的表述，有着异曲同工之妙。

生命体是由多种结构和功能组成的复杂统一体，其特点是各个部分之间能高度协调。显然，这些高度协调和密切相关的功能活动只有通过交换信息才能实现。西医学在研究上较注重物质的实体，而中医学更注重它们之间的关系，即体内各种功能部分之间的相关性和相对性及协调作用，通过调节人体各种功能的关系和平衡，使机体恢复稳态。

二、对阴阳学说的现代研究

当代中西医结合研究的一个热点是通过现代生物学的实验研究证明中医学对人体生命活动与调控机制的理论，并发现其客观的物质基础。阴阳学说是中医学理论的核心之一，精辟地描述了人体生理功能活动的规律。阴阳学说被用来阐述各种生理功能调节和病理变化的规律，以及生物体内稳态的维持，已被运用到神经、内分泌、免疫、细胞、蛋白与基因等方面。

1. 阴阳学说与神经系统

有学者认为，脏腑之阴阳平衡，即交感神经和副交感神经之间的动态平衡关系，这种平衡关系是脏腑阴阳学说的解剖生理学基础。与阴阳相似，交感和副交感神经系统也存在着相互对立、相对消长、相互转换等关系。对于脑退行性病变中发病率最高的两种疾病——阿尔茨海默病和帕金森病，有学者提出，可基于阴阳学说和系统论，对兴奋性递质谷氨酸和抑制性递质 γ -氨基丁酸功能上的对立制约属性和代谢上的互根互用属性进行研究，或可为中医药防治脑老化疾病的异病同证理论提供实验室依据。在阿尔茨海默病的发生发展过程中，补体也具有阴阳两方面的作用。一方面，可诱导和促进局部免疫炎症形成，产生大量具有生物学活性的蛋白质和神经元损伤变形；另一方面，又可以通过促进神经元毒性清除及神经生长因子分泌，防治炎症反应扩大和促进神经再生。

2. 阴阳学说与内分泌系统

人体内大量的激素具有对立统一的关系，并通过多种调控机制维持动态平衡。如瘦素和脑肠肽在保持体重稳态中各自发挥“阳”和“阴”的作用。瘦素能促进能量消耗，抑制摄食；而脑肠肽是很有效的进食刺激剂，是能量不足的分子信号。两者如同阴阳一样相互依存，彼此协调，通过相应的调控来平衡能量和摄取食物，维持体重的稳态。

3. 阴阳学说与免疫系统

人体免疫系统组成复杂，各成分彼此协调才能达成免疫功能的动态平衡。研究发现，T细胞的阴阳调节作用在维持机体免疫平衡方面发挥重要的作用。在抗原识别过程中，T细胞表面的抗原受体既有高度特异性的一面，可以敏锐地区分其中的特异性抗体；又表现出T细胞识别的简并性一面，可和许多不同的多肽组织相容性复合体起反应。又如干扰素（IFN- γ ）在炎症反应和免疫应答过程中表现出的阴阳对立转化的双重性。当炎症发生时，IFN- γ 诱导出一些促炎症细胞因子，但过量时又会诱导产生一些消炎的基因。因此，IFN- γ 对免疫系统平衡起了重要的作用。

4. 阴阳学说与细胞功能的调节

美国生物学家Goldberg于1973年提出“阴阳学说与环磷酸腺苷（cAMP）和环磷酸鸟苷（cGMP）双向调节关系”的假说，根据这一对环核苷酸对生物细胞调节功能的相互对抗、相互制约，推论cAMP与cGMP的双向控制系统能统一许多不同生物调节现象的原理，就是中

医学阴阳学说的物质基础。Goldberg认为,一般情况下,cAMP升高为阳;而在特殊情况下,则以cGMP升高为阳。1975年,Ellott更直接提出cAMP即“阳”,cGMP即“阴”。此外,又如细胞内p53和c-Myc这一对基因,两者作用相反,相互依存,在细胞体内保持着动态平衡,调控细胞的生长、增殖。有学者将p53的肿瘤抑制作用比作“阴”,致癌基因c-Myc的肿瘤发生作用比作“阳”。譬如果这种阴阳平衡被逐渐破坏,将导致肿瘤的发生。研究还发现,p53对癌细胞具有双向调控作用,即p53自身又兼具阴阳属性。当DNA受损时,p53表达急剧增加,阻止DNA复制,以提供足够的时间使损伤DNA修复;当修复失败时,p53引发细胞凋亡;如果p53基因发生突变,对细胞的增殖失去控制,将导致细胞癌变。现代研究已证实,人体从整体、系统到器官、组织、细胞,甚至基因,各层水平都存在着阴与阳这样一种对立制约又相互关联、保持动态平衡的关系。

第六节 体育教学

一、可训练性原则与可逆性原则

可训练性原则指人体的形态结构、生理机能和身体素质等可通过体育锻炼或运动训练获得某些积极的适应性改变。生物机体能对外界环境刺激产生适应的能力是可训练性原则的生物学基础。体育课和业余训练增强机体各器官功能的过程,本质上就是这种积极的生理适应过程。在适宜生理负荷的刺激作用下,人体各器官生理功能可产生一系列适应性变化。从器官水平看,优秀运动员最大吸氧量、最大每搏量、动静脉氧差等均大于常人;从细胞、分子水平看,训练能引起线粒体数目及代谢过程等产生良好的适应性变化。

可逆性原则指通过训练使机体获得的良好适应性变化,在训练中止后会逐步消失。赛尔廷等对一些40~69岁的中老年人进行纵向观察,他们年轻时都是越野赛跑的运动员,当年的最大吸氧量没有明显差别。进入中老年后,一部分人仍坚持运动和比赛,另一部分人则几乎终止了运动,比较发现,终止运动者最大吸氧量、心脏容积等均明显下降,说明因锻炼而获得的机能适应性增强可因终止训练而发生可逆性变化。研究表明,这种可逆性变化即使在短时间停止运动后也会有明显表现。同时,运动技能的可消退性也提示训练的可逆性。

二、全面身体锻炼原则

儿童少年时期是生长发育的旺盛时期,中学体育教学和业余训练的主要任务,在于促进学生的生长发育及全面增强学生各器官功能。然而,任何一种运动对身体的影响都有一定的局限性。如速度练习对神经肌肉的影响较大,耐力性练习则重在发展心肺功能等。所以应采用多种训练内容来进行练习,以达到身体全面发展的目的。

全面身体练习有利于建立多种运动条件反射。从生长发育的规律看,各器官系统中以神经系统发育最快,中、小学阶段是学习运动技术、发展能力、掌握技能的最好时期。运动技能是在中枢神经系统的统一支配下所建立的一种“暂时性神经联系”。现已证明,各运动技能具有相互转移的作用,即大脑皮层所建立的“暂时性神经联系”越多越巩固,建立新的“暂时性神经联系”就越容易。