

高等师范院校专科体育教育专业课程

运动生理学



主编 李香华

湖南师范大学出版社

高等师范院校专科体育教育专业课程

运 动 生 理 学

编 委 会

主 任：蒋易春

副主任：黄新民 周铁军

委 员：颜寿高 张宏范 米健群

李春成 周希平 李传武

白晋湘 王 湘

主 编：李香华

副主编：詹晓希 李丰黔 雷芬芳

湖南师范大学出版社

【湘】新登字 011 号

高等师范院校专科体育教育专业课程

运 动 生 理 学

主 编 李香华

责任编辑 谭南冬

湖南师范大学出版社出版发行

(长沙市岳麓山)

湖南省新华书店经销 长沙铁道学院印刷厂印刷

787×1092 16 开 11.5 印张 288 千字

1995 年 8 月第 1 版 1997 年 9 月第 2 次印刷

印数:3001—5030 册

ISBN7—81031—454—8/G·186

总定价:107.50 元(本册定价:12.00 元)

编写说明

根据国家教委关于高等师范院校体育教育专科专业实行主辅修制的指示精神,湖南省教育委员会于1992年4月印发了《关于实施主辅修制的意见》和《湖南省师范专科学校三年制体育辅修卫生教育专业教学计划》,具体规定了专业的培养目标和课程设置,并规定从1992年新生入校时开始,全省8个专科体育教育专业办学点全部实行三年主辅修制学制。为保证教学质量,省教委军训体卫处和高等教育处从1992年底开始组织各门课程的教学大纲研制和教材编写,已完成了《基础医学概论》、《预防医学概论》、《学校卫生学》、《学校健康教育学》和《体育测量与评价》等五门课程的教学大纲和教材。今年又完成了《学校体育学》、《体育心理学》、《运动医学》、《人体解剖学》和《运动生理学》等五门课程的教学大纲和教材的编写任务。

这十本教材基本上覆盖了专科体育教育主辅修制教学计划全部学科课程的教学内容,是规范合格专业人才的基础。在这十本教材的教学内容的整体安排上首先保证了主辅修制这个专业教学的完整性,同时兼顾了各门课程自身的完整性;既注意了教材的使用层次和师范教育特点,也注意了知识的深度、广度和论据的权威性。除可作为体育辅修卫生的主辅修专业的教材使用外,还可用于辅修健康教育等相关学科主辅修专业使用,亦可供广大学校健康教育和学校体育教育管理人员参考使用。

本书根据高师专科体育专业培养目标及本专业课程开设的特点,同时为使教材更具有思想性、科学性、系统性和可读性,理论紧密联系实际,突破了已往按正常人体生理和运动生理各成一体的方式,将人体生理知识和运动生理知识有机地融为一体,合编为运动生理学。本书吸取了本学科的研究新成果,反映了本学科的发展方向。由李香华任主编,詹晓希、李丰黔、雷芬芳任副主编。参加编写的有:李香华(第一、五、十二章和实验指导)、刘向辉(第二章)、雷芬芳(第三、四、十一章)、陈日红(第六、七章)、王鸿翔(第九章)、李丰黔(第八、十、十三章)、詹晓希(第十四、十五、十六、十七章)。最后由李香华统一修改定稿,由湖南师范大学王步标教授审稿。

由于编写此类成套教材尚属首次尝试,加之时间仓促,编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免。恳请专家和各校师生在试用过程中提出宝贵意见,以便再版时进一步修改和完善。

编者

1995年8月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 运动生理学研究对象、任务和方法	(1)
第二节 生命的基本特征	(2)
第三节 人体功能的调节	(7)
第二章 呼吸	(10)
第一节 肺通气	(10)
第二节 气体的交换	(15)
第三章 血液	(18)
第一节 概述	(18)
第二节 血液运载 O_2 和 CO_2 的功能	(23)
第四章 血液循环	(27)
第一节 心脏的功能	(27)
第二节 血管的功能	(34)
第三节 心血管活动的调节	(38)
第五章 人体有氧工作能力的评定	(44)
第一节 运动中 O_2 的供需	(44)
第二节 最大吸氧量	(45)
第三节 无氧阈	(47)
第六章 消化与吸收	(50)
第一节 消化	(50)
第二节 吸收	(52)
第七章 肾脏的排泄	(55)
第一节 肾脏的结构与功能概述	(55)
第二节 尿的生成	(56)
第八章 能量代谢与体温	(61)
第一节 概述	(61)
第二节 人体运动时的能量供应	(65)
第三节 体温	(71)
第九章 内分泌与生殖	(74)
第一节 内分泌	(74)

第二节 生殖	(79)
第十章 骨骼肌	(82)
第一节 肌肉收缩的原理及过程	(82)
第二节 肌肉收缩的形式及力学分析	(87)
第三节 肌纤维类型与运动能力	(91)
第十一章 感觉器官	(94)
第一节 概述	(94)
第二节 视觉器官	(95)
第三节 听觉与位觉器官	(99)
第十二章 中枢神经系统	(103)
第一节 反射及反射中枢的活动规律	(103)
第二节 中枢神经系统的感觉功能	(106)
第三节 中枢神经系统对躯体运动的调节	(108)
第四节 中枢神经系统对内脏活动的调节	(112)
第五节 大脑皮层的高级功能——条件反射	(114)
第十三章 运动技能的形成	(117)
第一节 运动技能形成的两种不同学说	(117)
第二节 运动技能的形成过程及其影响因素	(120)
第十四章 身体素质的生理学基础	(123)
第一节 力量素质	(123)
第二节 耐力素质	(125)
第三节 速度素质	(127)
第四节 灵敏与柔韧素质	(129)
第十五章 运动过程中人体功能的变化规律	(131)
第一节 赛前状态与准备活动	(131)
第二节 进入工作状态和稳定状态	(132)
第三节 运动性疲劳及其恢复过程	(134)
第十六章 体育教学与训练的生理学分析	(137)
第一节 教学训练原则的生理学分析	(137)
第二节 教学训练负荷阈	(140)
第三节 训练方法的生理学分析	(141)
第四节 体育教学与训练效果的评定	(144)
第十七章 年龄、性别和体育运动	(148)
第一节 少年儿童的生理特点与体育运动	(148)
第二节 少年儿童身体素质的发展	(150)
第三节 女子与体育运动	(151)
实验指导	(154)
总论	(154)
实验内容	(154)

实验一	肺通气功能的测定	(154)
实验二	红细胞与血细胞计数	(156)
实验三	血红蛋白的测定和 ABO 血型的鉴别	(158)
实验四	人体心电图的描记	(161)
实验五	最大吸氧量的间接测定	(163)
实验六	人体前庭功能稳定性的测定	(166)
实验七	骨骼肌单收缩、强直收缩的描记与分析	(168)
实验八	反射弧的分析	(169)
实验九	反应时的测定	(170)
实验十	安静和运动时人体脉率和血压的测定	(171)
实验十一	PWC170 的测定	(173)
主要参考书目		(175)

第一章 绪 论

第一节 运动生理学研究对象、任务和方法

一、运动生理学研究对象和任务

运动生理学是生理学的一个分支,是研究正常人体功能活动规律及其在体育锻炼影响下功能活动发展变化规律的一门科学。它对人体合理地从事体育锻炼,科学地组织运动训练和进行卫生健康教育,有着重要的指导意义。

运动生理学是体育专业的一门基础理论课程。学习运动生理学的目的和任务是:①在掌握正常人体功能活动的基本规律及原理的基础上,进一步掌握在体育活动中或在长期的训练影响下,人体功能活动所发生的变化及其适应变化的规律。②掌握体育锻炼和运动训练的基本生理学原理,特别是青少年生理功能的年龄、性别特征与体育锻炼的关系,为科学地从事体育教学和训练及卫生健康教育打下理论基础。③初步掌握评定人体功能能力的基本科学方法,并能运用于体育教学训练及卫生健康教育中。

二、运动生理学的基本方法

运动生理学是一门实验科学。它通过对人体的实验或测试来了解机体功能发展变化的规律。功能的测试和评定,是通过对不同年龄、性别的经常锻炼者和非锻炼者,或不同训练水平,不同运动项目的运动员,在同一条件下(安静,定量负荷,极量负荷时)的各种生理功能及变化进行测定,以了解体育锻炼和运动训练的效果及规律。

对人体的实验和测试,常用的方法有:①运动现场测定法。这种方法是在运动现场对运动者在运动时(包括运动前、运动中、运动后的时刻和恢复期)的某些生理变化进行测定。其优点是符合运动实际情况,即能对运动中某些生理指标直接测定,如遥测运动中的心率等。但这种方法易受运动环境、运动者心理状态等因素的影响,研究条件不易控制,给测试结果的准确性和精确分析造成一定困难。②实验研究方法。这种方法是让受试者按照为研究目的而设计的方案训练,在实验室内进行功能测试,以了解各种锻炼和训练方法的效果及对人体生理功能的特定影响。这种方法的优点是研究条件容易控制,重复性好,对要研究的问题能做较深入的分析,但易受设备的限制而不能普遍使用。某些对机体有损伤的实验,在恰当地估计人和动物区别的前提下,用动物作实验对象也是可行的。动物实验方法一般可分为慢性和急性实验。慢性实验主要是在无菌条件下摘除或破坏健康动物的某一器官,然后在正常生活条件下观察其功能变化,如摘除雄性腺后,观察动物肌肉体积和力量的变化;急性实验又可分为在体和离体两种:在体实验是在麻醉条件下剖开动物,对某个器官的功能进行观察,如观察各种神经、体液因素对动物血压的影响;离体实验是从动物体内取出某一器官或组织,置于适宜环境下,对它的

某些功能进行观察,如在蛙体中分离出坐骨神经腓肠肌标本,以观察肌肉的收缩功能。

第二节 生命的基本特征

生物和非生物的根本区别是:只有生物才具有生命活动。生命的基本特征有新陈代谢、兴奋性、生殖等。生殖将在本书第九章中讲述。这里仅就前二者加以阐述。

一、新陈代谢

新陈代谢是生命的基本特征,是生物体在不断与环境进行物质和能量交换中实现自我更新的过程。一方面,生物体不断从外界环境中摄取营养物质合成自身的组成成分和贮存能源;另一方面,又不断地将已衰老的组成成分和能源物质进行分解,放出能量以供机体各种生命活动的需要,并把分解产物排放到外环境中。新陈代谢一旦停止,生命也就结束。

人体内新陈代谢的场所是细胞。而机体内绝大多数细胞并不直接与外环境接触,细胞只有以内环境为中介,才能与外环境进行物质交换。

(一)内环境

机体内的液体称为体液,其总量约占体重的60%。其中细胞内液约占体重的40%,细胞外液(包括组织间液、血浆)约占体重的20%(图1—1)。

细胞因浴浸在细胞外液中,所以,细胞外液构成了体内细胞生活的液体环境,这个液体环境叫做人体的内环境。内环境是体内细胞与外环境进行物质交换的桥梁,机体摄入的各种营养物质和 O_2 ,必须通过细胞外液,最后才能进入细胞;而细胞的代谢产物(如 CO_2),也必须通过细胞外液才能排出体外,从而实现生命活动的基本特征——新陈代谢。

(二)细胞与内环境之间物质交换的形式

细胞与内环境之间,隔有一层细胞膜。细胞膜以脂质双分子层为基架,其中镶嵌着许多球形蛋白质。要使新陈代谢正常进行,就必须通过细胞膜有选择地在细胞与内环境之间不断地进行各种物质转运。常见的各种物质转运方式有:

1. 单纯扩散 它是一种不耗能的被动的物理过程,是指被选择的物质(脂溶性物质、 O_2 和 CO_2 等气体)从高浓度一侧通过细胞膜向低浓度一侧扩散。其扩散量与细胞膜两侧该物质的浓度差——浓度梯度成正比,浓度梯度愈大,扩散量愈大。

2. 易化扩散 它是指一些不溶于脂或亲水性物质(如 K^+ 、 Na^+ 、葡萄糖、氨基酸等),在细胞膜蛋白的帮助下,由膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散或转运。这也是一个不耗能的被动过程。一般认为,膜蛋白把这些物质转运出入细胞的方式,至少可分为两种类型:

一种是以“载体”为中介的易化扩散。即细胞膜中存在着各种载体(膜蛋白),它首先在膜的一侧与某种特异性物质结合成复合体,然后从膜的一侧运动到膜的另一侧,再与此物质解离,从而将此物质转运过细胞膜,如葡萄糖的转运就属于这种类型。在这种易化扩散中,载体具有

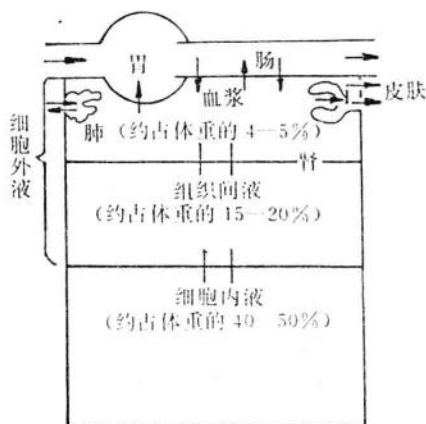


图1—1 体液分布及其物质交换示意图

高度的特异性,一定的载体只能运载一定的物质;

一种是以“通道”为中介的易化扩散。细胞膜中一些贯穿膜内外的蛋白质,犹如一个厚壁的管道,其分子中有沟通细胞膜内外的专属通道,允许某一种或某一类物质或离子通过,故称通道蛋白或通道,如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等由膜的高浓度一侧向低浓度一侧移动,就与“通道”有关。通道蛋白可在某些化学物质作用下或膜电位改变的情况下改变构型,使通道开放或关闭,从而改变膜对某种物质的通透性。通道虽然也有特异性,但不如载体那样严格。

3. 主动转运 是指物质从膜的低浓度一侧向高浓度的一侧转运。此过程要耗能,其能量由细胞膜上的ATP提供。这就象引水上山需要消耗能量一样,所以,有人提出了“泵”的概念来解释主动转运过程,“泵”即为膜上的特殊镶嵌蛋白质。

人体细胞中存在着不同功能的“泵”,但在细胞主动转运中,最普遍的是“钾——钠泵”(简称钠泵)对 K^+ 、 Na^+ 的主动转运。人和动物的各种细胞内、外虽只有一膜之隔,但膜内外各种物质的浓度差别却很大。例如正常时,膜内的 K^+ 浓度约为膜外的20—40倍,膜外的 Na^+ 浓度约为膜内的7~12倍。现已知道这种浓度差的形成和保持,是靠细胞膜上存在的“钠泵”主动转运来实现的。钠泵不断地逆浓度差把细胞内的 Na^+ 运出膜外,而把细胞外的 K^+ 泵入膜内,从而保持了细胞内外的 K^+ 和 Na^+ 的正常浓度差。这种浓度差的维持,是细胞产生兴奋的物质基础。

近年来,大量的实验证明:钠泵是镶嵌在细胞膜上的一种特殊蛋白质,它本身具有ATP酶活性,可分解ATP以获得能量,使 K^+ 、 Na^+ 逆浓度梯度转运。故钠泵又称为“ Na^+K^+ 依赖式ATP酶”。除钠泵外,人体中还有许多重要的泵,如钙泵、碘泵等。

4. 出胞和入胞 某些大分子物质和物质团块出入细胞,则分别称之为出胞和入胞。出胞是指这类物质从细胞内排出,如外分泌腺分泌某些酶原颗粒,内分泌细胞分泌激素,以及神经末梢释放递质等,都是出胞的表现形式。当进行出胞时,细胞内含有上述分泌物的囊泡向细胞膜移动,最后与细胞膜接触并融合,然后在融合处出现裂口,将囊泡内容物一次排出胞外。

入胞和出胞相反,指细胞外某物质团块(如进入体内的细菌、病毒或血浆中的大蛋白分子)进入细胞的过程。若进入者为固体物,称为吞噬;若进入者为流体,则称之为吞饮。内吞时,首先是细胞膜伸出伪足,将异物包绕,然后,发生膜的融合和断裂,于是,异物和包绕它的一部分细胞膜进入细胞,再由细胞内溶酶体中的酶将吞入物质消化。

二、兴奋性

(一)兴奋和兴奋性

当机体生活环境发生变化时,细胞、组织和机体的内部代谢和外部表现都将发生相应的改变,这种改变称为反应。环境中各种能引起机体发生反应的变化称为刺激。

实验发现,当各种组织受到刺激时,虽然其外部表现可能不同,如肌细胞表现为机械收缩,腺细胞表现为分泌活动等,但它们都有一个共同的最先出现的反应,这就是受到刺激处的细胞膜两侧,产生一次电位变化,称作动作电位。各种细胞所出现的上述特有的外部表现,都是由动作电位触发或引起的。因此,在生理学中,将组织受到刺激后产生的动作电位的过程或动作电位本身称为兴奋。组织这种受刺激后产生兴奋的能力则称为兴奋性。实际上所有的活组织都具有一定的兴奋性,但由于神经、肌肉和某些腺细胞的兴奋性较高,故生理学中将这些细胞称为可兴奋细胞。

兴奋性也是一切生物体具有的基本功能。它能使生物体对环境作出适当的反应,以适应环

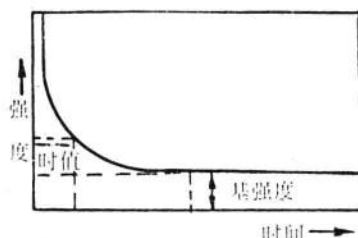
境的变化。

(二)刺激引起兴奋的条件

实验表明:任何刺激要引起组织兴奋,必须具备三个条件,即一定的强度,一定的持续时间以及一定的强度—时间变化率。这三个条件的参数不是固定不变的,并可相互影响。如果其中一个或二个的值变化了,其它的值也会发生相应的改变。在生理学实验中,常用电刺激作为人工刺激,因电刺激的强度、持续时间和强度—时间变化率比较容易控制和改变。

1. 阈刺激和阈强度 在实验中,如果我们用电刺激神经—肌肉标本,并固定每一刺激的时间和强度—时间变化率,仅改变刺激的强度,当刺激强度过低时,没有反应;逐步增加强度可找到一个可以刚刚引起收缩反应(即兴奋)所必须的最小强度,称为阈强度,或称阈值。具有这种临界强度的刺激,称阈刺激。强度小于阈值的刺激,为阈下刺激。组织阈值的大小,可近似地反映它们兴奋性的高低,引起组织兴奋的阈值愈小,说明该组织的兴奋性愈高;反之,则愈低。

2. 强度—时间曲线 在上述实验中,若使电刺激强度—时间变化率固定不变,只改变刺激的强度和作用时间,则发现,引起组织兴奋所需的阈强度和刺激持续时间呈反比关系。即当刺激强度较强时,只需较短的作用时间就可引起组织兴奋;而当刺激强度较弱时,就需较长的作用时间才能引起组织兴奋。如果我们用能够引起组织兴奋的各个不同强度为纵坐标,而以和它们相对应的作用时间为横坐标,制成坐标图,可得到一条近似等边双曲线的曲线,称为强度—时间曲线(图 1—2)。其特点是它的两边到接近某一点时即分别成为横坐标和纵坐标的平行线。曲线右侧的这个点表明,当刺激强度减弱到低于这一点的纵坐标所表示的强度时,无论刺激时间怎样延长,也不能引起组织兴奋,因而把这个强度称为基强度。曲线左侧的另一个点表明,当刺激作用时间短于这一点的横坐标所表示的时间时,即使大大增加刺激强度,也同样不能引起组织兴奋。只有在这两点之间的范围内,才存在上述的反变关系。



(三)组织发生兴奋后兴奋性的变化

组织受到一次刺激而发生兴奋后的一个较短时 图 1—2 可兴奋组织的强度—时间曲线
间内,其兴奋性会发生一系列变化:紧接在兴奋后,其兴奋性立即降低至零。此时无论多强的刺激都不能引起反应,故称为绝对不应期;继而出现兴奋性恢复的相对不应期,在此期内比正常阈值较强的刺激可引起其兴奋;随后兴奋性继续上升,并超出正常兴奋性的水平,称超常期;然后兴奋性又降低,称低常期,其持续时间较长;最后,兴奋性恢复正常。兴奋性的一系列变化发生在不到 1/10s 的短时间内,但不同组织,以上各期的持续时间不同。

绝对不应期的存在使兴奋过程不致隔合,每次相继的兴奋之间必定有一个时间间隔,因而使兴奋的发生和传导呈脉冲式,一般把神经上传播的兴奋称为神经冲动或冲动。不应期的长短还决定组织发生兴奋或冲动的最高频率。例如,哺乳动物神经的绝对不应期一般为 1ms。因此,它每秒最多只能发放或传导 1000 次冲动。但实际上,神经纤维在体内传导的冲动频率远低于这个值。

(四)兴奋的电学本质

如前述,动作电位是细胞兴奋的标志或兴奋的本身。那么,细胞为何会产生动作电位呢?实

验证明,动作电位是在静息电位的基础上产生的。

1. 静息电位 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,如果把连在阴极示波器上的两个测量电极的一个,放在浸泡有单条神经纤维的溶液中,另一个连接一个尖端直径不到 $1\mu\text{m}$ 的微细探测电极,当微电极尚在细胞膜的外面时,示波器上的光点在 0mv 外扫描或一直线(图 1—3A),表明两电极之间没有电位差存在,亦即膜外各点间无电位差存在。一旦微电极刺破细胞膜,进入细胞质内,光点立即下降到 -90mv 扫描(图 1—3B),表明膜内外两侧存在 -90mv 的电位差,且细胞膜外是正电位,膜内是负电位。如果规定膜外的电位为零,则膜内的电位为 -90mv 。由于这一电位差是存在于细胞膜两侧的,故称跨膜静息电位,简称静息电位或膜电位。细胞静息时,膜内外电位稳定于某一数值的这种状态,也叫做极化状态。

静息电位的成因是由于细胞膜内外 Na^+ 、 K^+ 分布不均和细胞膜具有的选择透过性。在静息状态下,由于膜内 K^+ 浓度比膜外的大 20—40 倍,膜外的 Na^+ 浓度比膜内大 7—12 倍,故在膜两侧存在着 Na^+ 、 K^+ 的浓度梯度。这一浓度梯度驱使 K^+ 有顺浓度梯度向膜外扩散, Na^+ 顺浓度梯度向膜内扩散的可能。但是在安静时,细胞膜对 K^+ 有一定的通透性(虽然很低),而对 Na^+ 基本不通透,从而使少量的 K^+ 通过细胞膜扩散到膜外,而 Na^+ 则不能扩散到膜内。同时,细胞内负离子大多是大分子的有机磷酸离子和带负电的蛋白质,不能随 K^+ 一道通过细胞膜而留在膜内。这样,细胞膜外侧就有较多的正离子,细胞膜内侧则有较多的负离子。因而使膜外电位变成正,膜内电位变成负,使膜内外产生了外正内负的跨膜电位差。可见这种跨膜电位是由于膜内的 K^+ 向膜外扩散而形成的。当由 K^+ 外流形成的外正内负的电位差,即电位梯度出现后,就形成一种阻止 K^+ 继续向外扩散的力量。因此,当由于浓度梯度而使 K^+ 向外扩散的力量和电位梯度阻止 K^+ 向外扩散的力量相等时,即两种力量达到平衡时, K^+ 就不继续向外扩散;膜两侧的电位差就稳定于某一固定数值。这就是静息电位。

各种动物细胞都有外正内负的静息电位,但由于各类细胞膜内外 K^+ 浓度梯度或膜对 K^+ 的通透性不同,因而其静息电位值也不同。例如,哺乳动物的心肌、骨骼肌和神经细胞的静息电位为 $-70\sim-90\text{mv}$,平滑肌为 $-50\sim-60\text{mv}$ 。

2. 动作电位 是指细胞受到刺激时,在受到刺激处的细胞膜两侧所发生的一次短而可逆的可扩布性电位波动。如图 1—3C 可见,在神经纤维的左侧给予一个短而有足够强度的刺激时,就可在示波器上观察到一次电位波动,即动作电位。此时,膜内原存在的负电位迅速消失并进而变成正电位,由原来的 -90mv 迅速升高到 $+30\text{mv}$ 左右,即出现膜电位的倒转,由静息电位时的外正内负转变为外负内正,膜内电位由 -90mv 上升到 0mv ,膜内负电位的消失称为除极化;再由 0mv 上升到 $+30\text{mv}$ 左右称为超射。整个膜内外电位变化的总范围是 120mv 左右,这也是动作电位的幅度,并构成了动作电位的上升支,也叫除极化时相。当上升支迅速达到高峰后,立即迅速下降到原来的静息电位水平,这就构成了动作电位的下降支,也叫复极化时

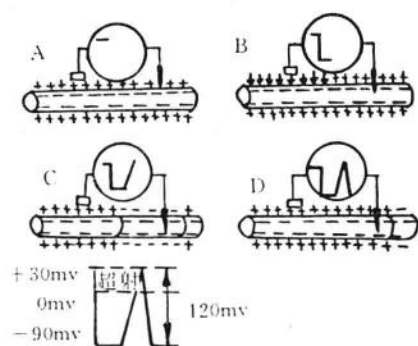


图 1—3 静息电位与动作电位

相。动作电位曲线很象一个尖峰,故又叫锋电位。在用高倍放大和慢扫描所得的记录上,在锋电位之后还常可看到一个振幅很低的但持续时间很长的后电位(图 1—4)。

锋电位在刺激之后立即出现,潜伏期不超过 0.06ms,锋电位的持续时间约为 0.5ms。每一刺激引起一个锋电位,锋电位的传播速度和神经冲动的传播速度相等,故锋电位就是兴奋过程或冲动。继锋电位而出现的后电位则与兴奋后的恢复过程有关。

动作电位的成因,概括地说,是在刺激的作用下,细胞膜保持的极化状态逐步被毁除,称为除极。当除极化达到临界水平时,即膜电位下降到 -50—-70mv 水平时,就触发了动作电位。这个能触发动作电位的膜电位叫阈电位。引起阈电位的最小刺激是阈刺激,其强度就是阈值。

当膜电位降低到阈电位时,为何就会触发动作电位呢?这是由于膜电位降低到阈电位水平时,细胞膜的通透性突然改变,即膜对 Na^+ 的通透性突然增大,大大超过了对 K^+ 的通透性。 Na^+ 由于浓度梯度(膜外 Na^+ 比膜内高 12 倍)的推动和膜内负离子的吸引而迅速内流,使膜内正电荷迅速增加,从而引起膜电位由安静时的外正内负倒转为内正外负,也就形成了动作电位的上升支,即除极化时相。但膜对 Na^+ 的通透性的增加只是暂时的,当除极化达到顶点时,即 Na^+ 内流所形成的膜内正电位足以阻止 Na^+ 不再流入时,膜对 Na^+ 的通透性回降,而对 K^+ 的通透性增高,这时膜又几乎只对 K^+ 有通透性,于是膜内的 K^+ 由于浓度梯度和正电位的推动而迅速外流,使膜电位又回到了原来的外正内负的状态,形成动作电位的下降支,即复极化时相。由此可见,动作电位的上升支是膜外 Na^+ 迅速内流的结果,但当 Na^+ 内流所形成的膜内正电位所产生的电位梯度与推动 Na^+ 内流的浓度梯度相平衡时, Na^+ 就停止继续流入,除极化达到顶点,这时膜两侧的电位差就是动作电位的高度。

根据动作电位的成因分析,可以说明各类兴奋性细胞动作电位的某些共同特性,例如,无论使用何种性质的刺激,只要达到一定的强度,它们在同一细胞所引起的动作电位的波形和变化过程都是一样的,并且在刺激强度超过阈刺激后,即使再增加刺激强度,也不能使动作电位的高度进一步加大,这个现象,称作“全或无”现象。这是因为,动作电位所能达到的大小,主要决定于当时膜内外 Na^+ 、 K^+ 的浓度差,而不决定于刺激的强度。

3. 动作电位的传播 动作电位的特征之一就是它的可传导性,即细胞膜任何一处所产生的动作电位,可传播到整个细胞。其机制是:当膜某一点受到刺激而产生动作电位时,该点的膜电位倒转为外负内正,而和它相邻的静息部位的膜电位为外正内负,于是兴奋部分与未兴奋部分之间产生了电位差,进而导致局部电流(图 1—5)。这一局部电流构成了对未兴奋部位的刺激,使之产生兴

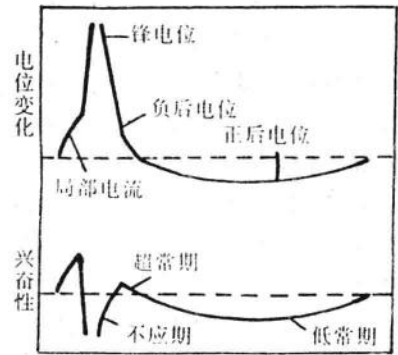


图 1—4 神经细胞兴奋时,兴奋性的变化与动作电位变化的关系

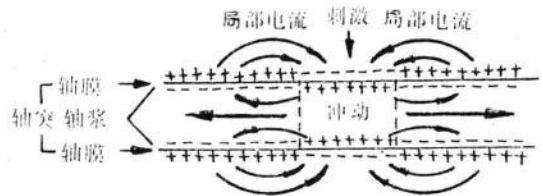


图 1—5 动作电位传播原理示意图

奋,就象外加刺激使受刺激部位产生兴奋一样,这个过程在膜上连续进行下去,表现为动作电位不断向前传播,直至传遍整个细胞。

兴奋在同一细胞内传导的距离和速度不决定于最初的刺激强度,动作电位的大小也不会因传导距离的增大而有所减弱。刺激细胞的某一部位,由此而产生的动作电位可同时向两端传导,这是由于局部电流可以向两侧传导的缘故。至于发生在中枢神经元处的兴奋,及兴奋在神经元之间、神经元与效应器之间的传递,起作用的除锋电位外,还有更复杂的化学过程参与。

第三节 人体功能的调节

一、稳态、反应和适应

内环境中含有许多化学成分,故它具有一定的理化性质,如酸碱度、渗透压、粘滞性和比重等。在正常情况下,由于这些化学成分保持相对稳定,所以,内环境的理化性质也相对稳定。但内环境的理化性质的相对稳定并不是一种凝固状态,而是各种物质在不停的转换中达到的平衡状态,即动态平衡,我们称这类平衡状态叫稳态。实际上在细胞、器官、系统乃至整个人体中,它们的功能活动通常也都是在变化着的内、外环境中保持着动态平衡,只在一定的范围内波动,这些也是稳态的表现。例如,在正常的情况下,人体中的动脉血压、体温均保持相对稳定。对整个机体来说,稳态的维持是体内各细胞、器官进行正常功能活动的基础。例如体温过高过低,酸碱度过酸过碱,都影响机体的正常功能。严重时,机体的正常功能如新陈代谢不能正常进行,甚至会危及生命。

但是,人生活的内外环境都是不断变化的。如外环境中的气温,有时高达 40°C ,有时低达 0°C 或更低,而这时人的体温仍能保持相对稳定。人体对内外环境的变化能产生暂时的相应的变化,以维持与环境的变化相平衡,这种变化称之为反应。在某种环境变化的长期影响下,人体的功能和形态发生了相应的持久变化,从而使之具有更高的适应环境变化的能力,这种变化则称之为适应。机体对环境变化所产生的反应和适应,是由于体内调节机制促使内脏系统的活动发生相应变化所致,它能使内环境不致过分偏移,并保持相对稳定。

体育锻炼或运动训练对人体的影响同样如此。人们把人体在一次练习或一次体育课或训练课所出现的暂时性功能变化称为反应。例如,运动时会出现心率加快、呼吸加速等,这些变化在运动停止后的短时期内便可消失。由长时间地(几周,几月或几年)、反复地、多次地进行同样的练习(即训练)所引起的机体持久的功能和形态的变化,称为适应。例如长期系统的耐力训练,可使心肌的收缩力加强,搏出量增加等,这些就是机体对耐力训练产生适应的结果。其意义在于提高机体耐力运动的能力,以维持更长的运动时间。显然机体对运动所产生的适应性变化,使人的功能能力得到了提高,这也是体育锻炼能增强体质根本所在。

二、生理功能的调节方式

运动时和环境发生变化时,人体产生相应的反应和适应,这是人体内调节机制发挥作用的结果。人体生理功能的调节方式有神经调节、体液调节和自身调节三种。

(一)神经调节

神经调节是人体内最重要的调节机制,其基本活动方式是反射。所谓反射,是指在中枢神经系统的参与下,机体对内外环境变化产生的适应性反应。完成反射的结构基础是反射弧,它包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经、效应器五个环节,缺一不可。每一种反射都有一定

的反射弧。所以,一定的刺激便引起一定的反应。例如听枪声起跑这个反射活动的实现,首先是枪声刺激了听感受器,激发它产生神经冲动,经传入神经传到有关中枢,经中枢分析处理后,再发出信息(指令),沿传出神经传送到有关骨骼肌和内脏器官,引起有关骨骼肌有规律的活动,产生起跑动作。同时,呼吸、循环等内脏器官也进行相应的协调活动,如心率加快等。

反射活动可分为非条件反射和条件反射两个类型。非条件反射是生来就有的反射,是一种较低级的神经活动。条件反射是在非条件反射的基础上形成的,是人和高等动物个体在生命的过程中建立起来的,是后天获得的一种高级的神经活动。

(二)体液调节

体液调节主要是指人体内分泌细胞分泌的激素,通过血液循环,选择性地作用于有关器官(靶器官),从而调节人体的功能活动。因为激素通常是通过血液运输而发挥作用的,所以将这种方式叫作体液调节。在体液调节中,一部分内分泌腺或内分泌细胞,可以感受到内环境中某种理化性质和成分的变化,而直接做出相应的反应。但不少内分泌腺是直接或间接受中枢神经系统控制。在这种情况下,体液调节成了神经调节的一个环节,相当于反射弧上传出道路的一个延伸部分,可称为神经-体液调节。除此以外,组织的代谢产物(如乳酸、 CO_2 、 H^+),可使局部血管扩张,通透性增加,有利于代谢产物的清除,这称为局部性体液调节。

(三)自身调节

自身调节是指内外环境变化时,细胞、组织、器官自身不依赖于神经或体液调节而产生的适应性反应。例如,心肌收缩产生的力量在一定范围内与收缩前心肌纤维的长度成正比,即收缩前心肌纤维愈长,则收缩产生的力量愈大。自身调节是一种比较简单,有局限性的原始调节方式,其调节幅度较小,但仍有一定的生理意义。

三、调节中的反馈作用

人体各种功能调节机构都是自动控制系统,在自动控制系统中,控制部分(反射中枢)与受控部分(效应器)之间存在着往返的双向联系:反射中枢不断地向效应器发出信息,控制效应器的活动;效应器的活动又作为信息送回到反射中枢,以修正和调节反射中枢对效应器的影响。由效应器回输到反射中枢的信息,称为反馈信息,回输过程即称为反馈。效应器的反馈信息对反射中枢活动的调节称为反馈调节。

反馈按其所起作用可分为两类。若反馈信息的作用是增强反射中枢对效应器影响的即为正反馈,如排尿反射;若反馈信息的作用是减弱反射中枢对效应器影响的,称为负反馈。在人体内,负反馈调节不仅是大量的,而且是维持稳态的主要调节途径。例如,人体中正常血压的维持,就是通过负反馈机制实现的。当体内血压升高时,主动脉中的压力感受器把这一信息反馈到心血管调节中枢,这些中枢传出信息,使心脏、血管的活动发生相应改变,从而使血压降低;反之,当血压降低时,又可通过反馈联系,减弱血压调节中枢对降低血压的影响,血压又复升高。所以,血压在正常情况下,经常稳定在一定水平。

复习思考题

1. 名词解释

运动生理学	内环境	单纯扩散
易化扩散	主动转运	兴奋与兴奋性

时值 静息电位和动作电位

神经冲动 稳态 反馈调节

2. 学习运动生理学的目的、任务是什么？
3. 刺激引起组织兴奋所需的条件有哪些？组织兴奋后兴奋性有何改变？
4. 分析静息电位、动作电位的特征和产生的原因。
5. 人体功能的调节方式有哪些？试举例说明。

第二章 呼 吸

人体在新陈代谢过程中不断地从环境中摄取 O_2 并排出 CO_2 , 这种机体与环境之间的气体交换过程称为呼吸。整个呼吸过程由以下三个相互衔接的环节组成。

1. 外呼吸 指外界环境与血液在肺部进行的气体交换, 包括肺通气(肺与外界环境的气体交换)和肺换气(肺泡与血液之间的气体交换)。

2. 气体在血液中的运输。

3. 内呼吸 指血液或组织液与组织细胞之间的气体交换, 故又称组织呼吸。有时将细胞内的氧化过程也包括在内。

可见呼吸过程不单靠呼吸系统来完成, 还需要血液循环系统的配合, 这种协调配合以及它们与代谢水平的适应, 又都受神经和体液因素的调节。本章重点阐述外呼吸(即肺通气和肺换气)及其调节。

第一节 肺通气

肺通气是指肺与外界环境的气体交换过程。实现肺通气的结构包括呼吸道、肺泡、胸廓和胸膜腔等。呼吸道是气体流经的通道, 肺泡是气体交换的场所, 而胸廓的节律性呼吸运动是实现肺通气的动力。

一、肺容量

肺容量是指肺容纳的气体量。在呼吸过程中, 肺容量随进出肺的气体量而改变。

(一)潮气量

平静呼吸时, 每次吸入或呼出的气体量, 似潮汐的涨落, 故名潮气量。正常成人约 500ml 左右, 其大小与年龄、性别、体表面积、运动强度以及情绪因素等有关。

(二)补吸气量与补呼气量

1. 补吸气量 平静吸气末, 再尽力吸气所能吸入的气体量, 称为补吸气量。它是潮气量增加时可利用的贮备气量。正常成人约 1500~2000ml。补吸气量与潮气量之和称为深吸气量, 它是衡量最大通气潜能的一个重要指标。胸廓的形态与呼吸肌的发达程度是影响深吸气量的重要因素。体育训练可使呼吸肌发达而增大深吸气量, 从而提高肺通气的功能。

2. 补呼气量 平静呼气末, 再尽力呼气所能呼出的气体量, 称为补呼气量。正常成人约 900~1200ml。

(三)余气量和功能余气量

1. 余气量 最大呼气末, 肺内所余留的气体量, 称为余气量。正常成人男性约 1500ml, 女性约 1000ml。余气量随性别、年龄、健康状况而异, 老年人大于青壮年。