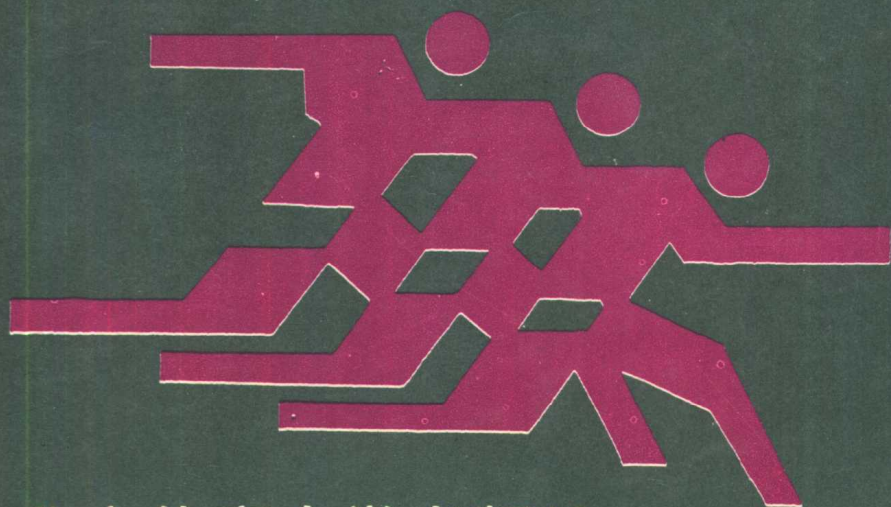


运动生理

主编 宋高晴 姬成茂 王小美



北京体育大学出版社

运 动 生 理

主编 宋高晴 姬成茂 王小美

北京体育大学出版社

〔京〕新登字 146 号

责任编辑：柳之

责任校对：

封面设计：叶莱

图书在版编目 (CIP) 数据

运动生理/宋高晴, 姬成茂等编著。—北京：北京体育大学出版社, 1994
ISBN 7-81003-884-2

I. 运… I. ①宋…②姬… II. 运动生理—高等学校—教材 N. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 07600 号

北京体育大学出版社
(北京西郊圆明园东路)

新华书店总店北京发行所经销
华北石油地质局印刷一厂印刷

开本： 787×1092 毫米 1/16 印张： 15 定价： 8.95 元 (压膜装)
1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷 印数： 3000 册

ISBN 7-81003-884-2/G·683

《运 动 生 理》

主 编：宋高晴 姬成茂 王小美

副主编：王世和 张路萍 张大新

编 委：按姓氏笔划为序

王小美（女）	河南省信阳师范学院
王世和	江苏省徐州师范学院
谷长江	黑龙江省克山师范专科学校
何红霞（女）	河南省信阳师范学院
宋高晴	武汉体育学院
张大新	河南省郑州工学院
张路萍（女）	河南省洛阳师范专科学校
张雁立（女）	武汉体育学院
侯明旭	辽宁省鞍山师范学院
姬成茂	河南省新乡医学院

序

目前高校教师要出版一本科学著作是很难的，出一本大部头的著作就难上加难了。许多学者熬白了头，写出的著作出版不了的事是很常见的。所以，当看到这么一厚本《运动生理》清样堆在桌上时，实在让我感到惊喜。

我衷心赞扬这几位在体育学院、体育系科从事运动生理学教学的年轻教师的奋斗精神。他们利用工作之余，费尽心血，编写了这本书。再经过千辛万苦的过程，最终才使这本书问世。这是一种多么难得的敬业精神。

这本书在体系结构上力求有所创新。如以肌肉活动为主轴，熔传统的人体生理学与运动生理学于一炉。在内容上删去了某些与肌肉活动关系不大的内容，又增添了不少较新的科研成果。当然这本书也许还存在这样和那样的不足之处，但这种勇于改革创新的精神是值得崇扬的，而且我相信在第二版时所存在的问题一定会克服的。

近年来，我国体育事业蓬勃发展，已步入体育强国的行列。即将实施的奥运战略计划与全民健身计划，必将给我国体育带来更加绚丽美好的春天。这两个计划的实施对教练员、体育教师及其他体育工作者的理论素质提出更高的要求。相信这本《运动生理》将增加你的运动生理学知识，从而提高你的工作能力和水平大有裨益。

北京体育大学运动生理学教授

高 强

1994年7月1日

前 言

近年来,我国高等院校体育专科教育发展很快,各省市开办了多种形式的体育专科班,(但可供选用的专科教材却为数极少),为满足需要,我们来自全国各省的中青年教师联合撰写了这本《运动生理》。

我们在撰写过程中,既按照部颁二年制专科教学大纲的要求,又力争尊重学科框架,并从读者认识规律的角度出发,在吸收原有教材的优点和恰当反映新成果的基础上完成了初稿。初稿完成后,进行了交换修改,然后共同讨论定稿,全书由宋高晴负责统稿工作。

在研读了大量资料的基础上,总结了作者多年的教学经验,试图对原有教材体系进行改革、创新、突出主题——“肌肉工作”,坚持以“肌肉工作为核心,紧紧围绕该核心安排内容,如:将肌肉工作的供氧系统的血液、循环和呼吸三氧分别视为:运氧载体、运氧动力和摄氧过程而加以叙述。本书兼顾了教学与自学两方面的需要,除绪论外,其余各章末都写有“小结”,以利于读者及时巩固所学知识。

本书的图、表,除少量作者绘制外,大部分选自如下书籍:

周衍椒、张镜如主编的《生理学》;高师体育专业人体生理学编写组编写的《人体生理学》;高师体育专业运动生理学编写组编写的《运动生理学》;全国体育学院教材委员会运动生理编写组编写的《运动生理学》;萧静宁编著的《脑科学概要》。

对以上各书作者特此致谢!

在编写过程中,得到了成都体育学院杨范昌教授的悉心指导,还得到了北京体育大学高言诚教授和高强教授的大力帮助,在此一并深表谢意。

尽管我们对教材的理解、处理和表达方面作了最大努力,但由于作者水平所限和时间仓促,错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

1994年6月于北京

目 录

1 绪论	(1)
1—1 运动生理学的定义	(1)
1—2 生命的基本特征	(1)
1—2—1 新陈代谢	(1)
1—2—2 应激性、兴奋性和生理应激性	(1)
1—2—3 生殖	(2)
1—2—4 适应性	(2)
1—3 人体功能活动的调节	(2)
1—3—1 神经调节	(3)
1—3—2 体液调节	(3)
1—3—3 自身调节	(4)
1—4 生理功能自幼控制原理	(4)
2 细胞的基本功能	(5)
2—1 细胞膜的一般情况	(5)
2—1—1 液态脂质双层	(5)
2—1—2 环状蛋白质	(5)
2—1—3 细胞膜糖类	(5)
2—2 细胞膜的物质转运功能	(5)
2—2—1 单纯扩散	(6)
2—2—2 易化扩散	(6)
2—2—3 主动转运	(6)
2—2—4 入胞作用和出胞作用	(7)
2—3 细胞膜受体的作用	(7)
2—4 细胞的生物电现象及其产生机制	(7)
2—4—1 细胞的静息电位	(7)
2—4—2 细胞的动作电位	(8)
2—5 刺激与兴奋	(10)
2—5—1 兴奋的刺激条件	(10)
2—5—2 时间——强度曲线	(10)

2—5—3	时值	(11)
2—5—4	动作电位的特点	(11)
2—5—5	细胞产生动作电位时的兴奋性变化	(11)
2—5—6	细胞的局部兴奋	(12)
2—6	兴奋在同一细胞上的传导	(12)
2—6—1	神经的兴奋传导机制	(12)
2—6—2	神经的兴奋传导特点	(13)
2—7	细胞间的相互联系和信息传递	(13)
2—7—1	神经肌肉接点处的兴奋传递	(13)
2—7—2	相邻细胞之间的直接电联系	(14)
2—8	肌细胞的收缩功能	(14)
2—8—1	骨骼肌的结构特征	(15)
2—8—2	骨骼肌的收缩原理	(15)
2—8—3	骨骼肌的兴奋——收缩耦联	(17)
2—9	骨骼肌收缩的外部表现	(17)
2—9—1	等张收缩和等长收缩	(18)
2—9—2	单收缩和单收缩的总和	(18)
3	感受器	(21)
3—1	感受器的分类和作用	(21)
3—2	感受器活动的一般规律	(21)
3—2—1	换能作用	(21)
3—2—2	编码作用	(21)
3—2—3	适宜刺激	(22)
3—2—4	适应	(22)
3—2—5	感受器的反馈控制	(22)
3—3	视觉生理	(23)
3—3—1	物象的形成及其调节	(23)
3—3—2	视网膜的感受换能作用	(24)
3—3—3	其它视觉现象	(25)
3—4	听觉生理	(26)
3—5	位觉生理	(27)
3—5—1	前庭器官的适宜刺激	(27)
3—5—2	前庭器官反射	(29)

3—5—3 提高前庭功能稳定性的锻炼方法·····	(30)
4 中枢神经系统·····	(32)
4—1 概述·····	(32)
4—1—1 神经系统的组成·····	(32)
4—1—2 神经系统常用术语·····	(32)
4—2 神经元之间传递信息的独特结构——突触·····	(33)
4—2—1 突触与突触传递·····	(33)
4—2—2 突触的结构和分类·····	(33)
4—2—4 突触传递的机理·····	(34)
4—3 中枢神经系统活动的一般规律·····	(34)
4—3—1 反射中枢·····	(34)
4—3—2 中枢传布兴奋的特征·····	(34)
4—3—3 中枢抑制·····	(36)
4—4 神经中枢的感觉分析功能·····	(37)
4—4—1 脊髓的感觉传导功能·····	(37)
4—4—2 丘脑及其投射系统·····	(38)
4—4—3 大脑皮层的感觉分析功能·····	(38)
4—5 神经中枢对躯体运动的调节·····	(40)
4—5—1 脊髓对躯体运动的调节·····	(40)
4—5—2 各级中枢对肌紧张的调节·····	(42)
4—5—3 脑干对姿势的调节(姿势反射)·····	(43)
4—5—4 小脑对躯体运动的调节·····	(45)
4—5—5 大脑皮层对躯体运动的调节·····	(46)
4—5—6 大脑皮层的电活动·····	(48)
5 运动技能的形成·····	(51)
5—1 记忆痕迹与运动构型·····	(51)
5—1—1 信息的来源·····	(51)
5—1—2 记忆痕迹与运动构型的形成·····	(52)
5—1—3 感觉反馈的作用·····	(53)
5—2 运动条件的反射·····	(54)
5—2—1 条件反射·····	(54)
5—2—2 运动技能的生理学本质·····	(57)
5—2—3 运动技能形成的过程·····	(58)

5—3 影响运动技能形成和发展的因素	(60)
5—3—1 大脑皮层兴奋状态	(60)
5—3—2 多通道感觉信息	(60)
6 肌肉的工作	(63)
6—1 肌肉工作的特征	(63)
6—1—1 肌肉工作的形式	(64)
6—1—2 肌肉工作的力学表现及其生理机制	(66)
6—1—3 肌肉的机械功和功率	(70)
6—1—4 肌电图在了解肌肉工作中的作用	(71)
6—2 肌纤维类型与运动能力	(73)
6—2—1 两类肌纤维的形态、功能特征	(73)
6—2—2 人体骨骼肌中两类肌纤维的分配	(75)
6—2—3 肌纤维类型与运动能力	(76)
6—2—4 训练对两类肌纤维的影响	(77)
7 肌肉工作的能量供应	(81)
7—1 肌肉工作的直接能源——ATP	(81)
7—1—1 肌肉工作时 ATP 的再合成	(81)
7—1—2 体育运动与能量的连续统一体	(84)
7—2 肌肉工作的最终能源——糖、脂肪、蛋白质	(87)
7—2—1 物质代谢	(88)
8 能量代谢与体温	(99)
8—1 能量代谢	(99)
8—1—1 测定能量代谢的方法	(99)
8—1—2 影响代谢的因素与基础代谢率	(101)
8—2 体温	(102)
8—2—1 正常人体温度	(102)
8—2—2 产热与散热	(103)
8—2—3 体温调节	(104)
9 肌肉工作的供氧系统 I —— 血液	(109)
9—1 概述	(109)
9—1—1 内环境和自稳态	(109)
9—1—2 血液的总量	(109)
9—1—3 血液的组成	(110)

9—1—4 血液的主要机能	(110)
9—2 血浆的化学成分	(111)
9—2—1 血浆的化学成分	(111)
9—2—2 血浆的理化特性	(112)
9—3 血细胞	(115)
9—3—1 红细胞	(115)
9—3—2 白细胞	(116)
9—3—3 血小板	(117)
9—4 血型	(119)
9—4—1 红细胞凝集	(119)
9—4—2 ABO 血型	(119)
9—4—3 ABO 血型与输血	(119)
9—5 体育运动对血液的影响	(120)
9—5—1 安静状态	(120)
9—5—2 运动后	(120)
9—5—3 运动对血浆化学成分及理化特性的影响	(121)
10 肌肉工作的供氧系统 I —— 循环	(124)
10—1 心脏	(124)
10—1—1 心肌细胞的生物电现象	(124)
10—1—2 心肌的生理特性	(125)
10—1—3 心电图	(127)
10—1—4 心脏的泵血功能	(128)
10—2 血管	(134)
10—2—1 动脉血压	(134)
10—2—2 脉搏	(135)
10—2—3 微循环	(136)
10—2—4 静脉	(136)
10—3 心血管活动的调节	(137)
10—3—1 神经调节	(137)
10—3—2 体液调节	(138)
10—3—3 自身调节	(141)
10—4 肌肉工作时血液循环机能的变化及其调节	(141)
10—4—1 心输出量的增加	(142)

10—4—2	血流量的重新分配·····	(142)
10—4—3	动脉血压的反应·····	(143)
11	肌肉工作的供氧系统Ⅲ——呼吸·····	(143)
11—1	肺通气·····	(148)
11—1—1	肺通气的动力和肺内压力的变化·····	(148)
11—1—2	胸内压·····	(148)
11—1—3	肺的容量·····	(149)
11—1—4	肺的通气量·····	(150)
11—2	呼吸气体的交换和运输·····	(150)
11—2—1	呼吸气体的交换·····	(151)
11—2—2	气体在血液中的运输·····	(151)
11—3	呼吸运动的调节·····	(152)
11—3—1	呼吸中枢与呼吸节律·····	(156)
11—3—2	呼吸的反射性调节·····	(156)
11—4	运动中氧的供需·····	(156)
11—4—1	需氧量、吸氧量和耗氧量·····	(157)
11—4—2	氧债·····	(157)
11—4—3	最大摄氧量·····	(158)
11—4—4	无氧阈·····	(159)
12	肌肉工作时人体机能的阶段性变化·····	(162)
12—1	赛前状态·····	(168)
12—1—1	赛前状态的生理表现及生理机制·····	(168)
12—1—2	赛前状态的两面性·····	(168)
12—1—3	赛前状态的调整·····	(168)
12—2	准备活动·····	(169)
12—2—1	准备活动的生理作用·····	(169)
12—2—2	准备活动的生理机制·····	(169)
12—2—3	准备活动的分类·····	(170)
12—2—4	影响准备活动生理效应的主要因素·····	(170)
12—3	进入工作状态·····	(170)
12—3—1	产生进入工作状态的原因·····	(171)
12—3—2	影响进入工作状态的主要因素·····	(171)
12—3—3	“极点”和“第二次呼吸”·····	(172)

12—4	稳定状态	(172)
12—4—1	真稳定状态	(173)
12—4—2	假稳定状态	(173)
12—5	疲劳	(173)
12—5—1	疲劳学说简介	(174)
12—5—2	疲劳的年龄特征	(174)
12—5—3	疲劳的判断	(175)
12—6	恢复过程	(175)
12—6—1	能量物质恢复过程的一般规律	(176)
12—6—2	生理功能恢复过程的一般规律	(176)
12—6—3	恢复过程的年龄特征	(178)
12—6—4	促进恢复的几种措施	(178)
13	体育运动能力的生理学基础	(179)
13—1	力量	(183)
13—1—1	力量的分类	(183)
13—1—2	力量训练的一般规律	(183)
13—1—3	力量训练的几种方法	(183)
13—1—4	儿童少年的力量训练	(185)
13—1—5	力量训练的生理效果	(187)
13—2	速度	(188)
13—2—1	速度的分类及其生理基础	(188)
13—2—2	速度的训练	(190)
13—2—3	速度训练的生理效果	(190)
13—3	耐力	(191)
13—3—1	耐力的分类	(191)
13—3—2	有氧耐力	(191)
13—3—3	无氧耐力	(197)
13—3—4	有氧供能和无氧供能的关系	(199)
13—4	灵敏与柔韧	(199)
13—4—1	灵敏	(199)
13—4—2	柔韧	(200)
14	体育教学训练的生理学基础	(203)
14—1	儿童少年的生理特点	(203)

14—1—1	运动系统·····	(203)
14—1—2	氧运输系统·····	(204)
14—1—3	供能系统·····	(206)
14—1—4	神经系统·····	(206)
14—2	儿童少年的训练原则·····	(208)
14—2—1	全面身体发展·····	(208)
14—2—2	循序渐进·····	(209)
14—2—3	区别对待·····	(209)
14—3	常用训练方法的生理学分析·····	(211)
14—3—1	重复训练法·····	(211)
14—3—2	间歇训练法·····	(212)
14—3—3	持续训练法·····	(213)
14—3—4	循环训练法·····	(214)
14—3—5	比赛训练法·····	(215)
14—4	体育运动效果的评定指标·····	(215)
14—4—1	脉率·····	(215)
14—4—2	血压·····	(217)
14—4—3	W_{170} 试验·····	(218)
14—4—4	心电图·····	(218)
14—4—5	血红蛋白·····	(218)
14—4—6	肺活量·····	(219)
14—4—7	尿蛋白·····	(219)
14—5	体育运动效果的评定方法·····	(219)
14—5—1	定量运动负荷后若干生理功能变化的特点·····	(219)
14—5—2	极量运动负荷后若干生理功能变化的特点·····	(221)

1 绪 论

1—1 运动生理学定义

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在体育运动影响下，人体功能发展变化规律的一门科学。它将指导体育教师、教练员合理地安排体育教学，科学地组织运动训练，它将帮助体育爱好者有效地从事体育锻炼，为增强体质，提高竞技水平服务。

1—2 生命的基本特征

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，生殖，以及适应性。

1—2—1 新陈代谢

新陈代谢是生命最基本特征。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特征。也是生命活动的基础。一旦新陈代谢停止，生命也就终止。

1—2—2 应激性、兴奋性和生理应激

〈1〉**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。

〈2〉**兴奋和兴奋性** 兴奋是指活组织在刺激作用下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，使它抑制。

〈3〉**生理应激** 本世纪三十年代，加拿大内分泌学家汉斯塞里（Hansselye）基于人体的深入研究，给“应激”下了一个广义的定义：“应激是机体应付任何需要时的非特异性反应”。如创伤，机械力（应激源）作用于机体后就会产生应激。

塞里（H·Selye）曾提出：人在其生命的每一刻都在同各种应激作斗争，而人所受到的应激是多种多样的：细菌与病毒、冷与热，精神冲突与不安，营养不良，睡眠不足，污染，噪音以及运动训练等。

剧烈的身体训练是作用在运动员身上的许多应激因素之一，运动员和教练员如果很好地控制这种应激的强度，就能有效地运用这种应激来增强体质和提高运动成绩，因为剧烈的肌肉活动或练习汇成一种强烈的“应激”刺激，这种刺激起着急性和慢性的安抚作用，有人用肌电图证实仅仅 15 分钟的中等强度的练习，可降低神经紧张至少相当于一小时的休息。长期的身体训练会使人体某些器官、系统的神经紧张水平降低，虽然运动时消耗了很多能量，但在休息时应激刺激很少，在人体生理应激的状态下就可以得到代偿性的恢复。塞里提出人类很少死于年迈，不是死于虚弱就是某器官或系统不相称损耗。因此他提出人体任何一部分的局部应激与全身应激之比的重要性，即：

$$\text{应激商} = \frac{\text{任何一部分的局部应激}}{\text{全身应激}}$$

通过长期训练，人体既产生局部或全身应激，人类一切日常生活比较鲜见的强烈刺激所引起的反应以及恢复过程特征之总称（不包括病理过程）生理应激。

生理应激的整个过程大约可分三个阶段：

第一阶段是对刺激的直接反应及代偿性反应，如在运动中立即反应出呼吸频率加快，血压增高，心率加快以及血液化学成分的变化。

第二阶段是对刺激部分出现全适应，如在运动中身体适应了这种训练的应激，细胞活动加强，自我感觉良好，对训练应激的抵抗力增强。

第三阶段是刺激停止以后的恢复过程，指应激反应以及适应反应之逐渐消失，恢复了体内环境到未被刺激前的情况。

这三个阶段是互相制约、相互联系的，在某种情况下是不容易划分的，因为在刺激没有停止时机体即已恢复，从恢复到适应就很难清楚地分开。

应激学说应用于运动训练是一新课题，还需要在体育实践中不断总结，充实与完善。

1—2—3 生殖

生物体生长发育到成熟以后，能够产生与自己相似的子代个体，这种功能称为生殖。在单细胞生物，生殖过程是通过亲代细胞的分裂实现的，即由一个细胞通过简单的分裂或较复杂的有丝分裂而分成两个子代细胞。高等动物的生殖过程是通过雄性和雌性个体的生殖细胞结合而生成子代个体。

任何生物体的寿命都是有限的，只有通过生殖，种系才能延续，所以生殖也是生命的基本特征。

1—2—4 适应性

适应性是指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。

人体通过体育锻炼和运动训练，导致组织、器官在形态结构和机能上发生的改变，都有助于保持内环境的相对稳定性，以达到机体不受损害，并进一步提高机能水平。这种适应性变化正是体育运动的生理基础。

1—3 人体功能活动的调节

人体生理活动十分复杂，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。这种功能活动的完整与统一,在生理学中称为“整合”。

人体生活在周围环境中,当环境发生变化时,人体也将产生相应的反应,使自己的功能活动与环境的变化相适应,以与变化了的环境保持新的动态平衡。

总的来说,整体反应包括两个方面:一方面是运动系统按一定的途径、强度和顺序进行一系列活动,另一方面是内脏系统活动作相应的调整,以保证能量的供应和维持内环境的稳态。所以,在人类发生适应性反应时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定状态,这些调节是由体内三种调节机制来完成的。

1—3—1 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。反射是指在中枢神经系统的参与下,机体对内、外环境的变化产生的应答性反应。实现反射所必须的结构基础称反射弧。反射弧包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分,缺一不可。感受器接受内、外环境的变化(即刺激)。并将它转换成神经冲动,经传入神经传到神经中枢。神经中枢分析处理传入的信息,并发出传出信息(指令),由传出神经传至效应器(骨骼肌和内脏系统),使之产生应答性反应。例如起跑,首先是枪声刺激了听觉感受器,激发它产生神经冲动,通过传入神经到中枢神经系统的运动中枢,经分析处理后,再发出神经冲动,由传出神经传送到有关的肌肉,产生摆臂、伸髋、伸膝、屈踝的起跑动作。

按照上述过程,神经信息传到效应器,反射过程即告结束,因而反射弧是一种开放回路。但实际上,体内各种效应器上也分布有特殊的感受细胞或感受器,能够将效应器活动的信息随时传回中枢,因而能适时调整所发出的神经冲动,使各效应器的活动能够准确、协调。例如:起跑时上、下肢的动作常能协调一致,而且训练有素的运动员在蹬离起跑器时,身体纵轴亦能和地面形成一定角度的夹角,尽量增大后蹬时所产生的水平分力,减小垂直分力。之所以能够这样,就是由于运动时,刺激了分布在肌肉、关节上的本体感受器,并形成神经信息传送到相应中枢,中枢则可根据此随时调整效应器的活动。因此,在实际反射过程中,神经调节是通过一种闭合回路来完成的。(图 1—1)

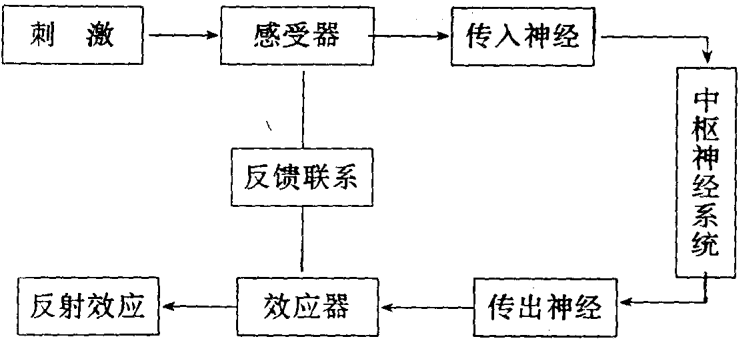


图 1—1 神经调节闭合回路示意图

1—3—2 体液调节

体液调节是通过人体内分泌腺分泌的各种激素来完成的。这些激素进入血液后,经血液循环运送到全身,主要调节人体的新陈代谢、生长、发育、生殖等重要功能。因为激素通常是通过血液运输到身体各部位而起作用,故称体液调节。

在体液调节中,一部分内分泌腺可以感受内环境中某种理化性质和成分的变化,直接做出相应的反应。但不少内分泌