

高校体育教育专业试用教材

运动生理学

主编 曹志发

苏州大学出版社

高校体育教育专业试用教材

运 动 生 理 学

主编 曹志发

苏州大学出版社

运动生理学

主编 曹志发

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市十梓街1号 邮编 215006)

江苏省新华书店经销

镇江前进印刷厂照排

丹阳市兴华印刷厂印装

(地址:丹阳市胡桥镇 邮编 212313)

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 370 千

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-81037-317-X/G · 138(课) 定价:16.00 元

总 序

长期以来,江苏省高等院校体育教育专业由于缺乏适用的配套教材,教学的规范化、系统化和人才培养质量的提高受到了一定的影响。

江苏省教委为了推动体育教育专业的教育改革,充分发挥本省在体育师范教育方面的人才优势,促进体育教育专业的教材建设,于1995年成立了“江苏省普通高等学校体育教育专业教学指导委员会”。

在江苏省教委体卫处的直接领导下,经过将近两年的努力,我们终于完成了《人体解剖学》、《运动生理学》、《体育保健学》、《学校体育学》、《运动心理学》、《体育测量与评价》、《田径》、《篮球》、《排球》、《足球》、《武术》和《体操》等12门课程的教材编写工作。

这套教材是按照国家教委关于二年制体育教育专业专科教学计划与大纲的要求,并参照国家教委体育卫生司关于“普通高等学校本科体育教育专业十一门课程基本要求”编写的。从培养目标出发,联系教学实际,吸取已有教材的优点和体育科学的新成果是这套教材的主要特点。为了确保教材编写的质量,编写组采用主编负责制、分工编写和审阅分离的原则,力求新编的教材思想观点正确,科学性强,密切联系体育专业和中学实际,融知识性、科学性和实践性为一体。

这套教材的编写工作,得到了国内同行专家、教授的大力支持。王祖俊、华明、李震中、孙煜明、邵纪森、陈骏良、周土枋、林锡乾、张义盛、范德泓、浦民欣、袁贤群等教授(以姓氏笔划为序)参加了教材审阅工作,在此表示衷心的感谢!

这套教材的编写还得到了苏州大学、南京师范大学、扬州大学、徐州师范大学、南京体育学院、盐城师专、南通师专、淮阴师专等单位领导的关心与支持。教材的出版又得到了苏州大学出版社的热情支持。在此一并表示感谢。

我们计划这套教材出版以后,先经试用,再作补充和修订,最后请全国高校体育教学指导委员会组织同行专家、学者审定,推广应用。

编写教材是一项艰巨的工程,由于时间仓促,经验不足,缺点与错误在所难免,恳请读者及同行批评指正。

江苏省普通高等学校体育教育专业
教学指导委员会

1996年3月

编写说明

江苏省教委体育卫生处于 1994 年 11 月在南京师范大学召开江苏各高等师范学校体育系负责人会议,研究和部署编写高师体育专业主干课程教材事宜,并确定了各课程教材的编写人员。《运动生理学》编写组于 1995 年 7 月在徐州师范大学体育系召开编写会议,对徐州师大体育系主持编写的教学大纲进行了深入细致的讨论,统一了意见,会议还讨论了编写要求和分工。1995 年底在徐师大体育系召开第二次编写统稿会,对各章提出修改意见。修改稿于 1996 年初汇总徐师大体育系,由曹志发统稿后送审。杭州大学体育系华明教授对本书进行了审阅。华教授肯定了本书符合高师专科体育专业教材的基本要求,同时对本书提出了宝贵的修改意见。我们根据华明教授的意见再次修改后,送苏州大学出版社出版。

本教材的编写依据是 1992 年国家教委颁布的《高等师范专科学校体育教育专业教学计划》规定的培养目标和运动生理学课程教学的基本目的,参照了教育部 1984 年 7 月审定的《高等师范专科学校体育专业运动生理学教学大纲》和江苏各高师体育专业的教学条件。本教材的特点是教材内容既覆盖高师专科体育专业学生应掌握的基本理论、基本知识和基本技能,又不拘泥于传统的以“系统”为单位的编写模式;教材内容紧紧围绕肌肉工作的主线,教学内容的选择贯彻“少而精”的原则,注意与体育教学和运动训练的实践相结合,有利于培养学生分析和解决体育运动实际问题的能力;注意用运动生理学领域的最新科研成果充实教材内容;注意本课程教学内容与相关课程的联系,鉴于高师专科体育专业教学计划未设《运动生物化学》课程,本教材适当增加了生物化学的内容;本教材还注意了可接受性,图文并茂,力求通俗易懂。

参加本教材的编写人员有:潘同斌(扬州大学师范学院,绪论、第一篇)、姚为俊(盐城师专,第二篇)、王竹影(副主编,南京师范大学,第三篇)、曹志发(主编,徐州师范大学,第四篇)、王维群(副主编,苏州大学,第五篇)、缪建奇(淮阴师专,第六篇)。

本教材虽经多次讨论和修改,但限于我们的水平,在教材体系和内容上难免有不当和错误,敬请批评指正。

本教材在编写过程中,得到省教委体卫处以及徐师大体育系、苏大体育系、南师大体育系、扬大师范学院体育系、盐师体育系、淮师体育系和苏州大学出版社领导的热情关心和大力支持,在此表示衷心感谢。

《运动生理学》编写组

1997 年 7 月

主要参考资料

1. Astrand 著,杨锡让等译,《运动生理学》,人民体育出版社,1982 年。
2. Brooks[美]著,杨锡让等译,《运动生理学》,北京体育学院出版社,1988 年。
3. 吉村寿人等编著,李维新等译,《医用生理学》,
4. 周衍椒等主编,《生理学》,人民卫生出版社,1984 年。
5. R. M 科查主编,王步标等译,《运动生理学》,湖南师大出版社,1991 年。
6. 石井喜八[日]等著,王超然等译,《运动生理学概论》,人民体育出版社,1988 年。
7. 王步标等,《人体生理学》,高等教育出版社,1992 年。
8. 体育院校《运动生理学》教材编写组编,《运动生理学》,人民体育出版社,1990 年。
9. 佟启良等编,《运动生理学》,北京体育学院出版社,1991 年。
10. 北京体院生理组编,《运动生理学参政资料》,北京体育学院出版社,1985 年。
11. 高师体育系教材编写组编,《运动生物化学》,高等教育出版社,1986 年。
12. 王步标主编,《运动生理学》,高等教育出版社,1987 年。
13. 真岛英信[日]等著,姚承禹等译校,《生理学》,人民卫生出版社,1978 年。
14. Fox, Physiology, Saunders Company, London 1979.
15. Wilmore at al, Physiology of Sport and Exercise, 1994.
16. Vander, Human Physiology, McGraw-Hill Book Company, 1985.
17. Shephard, Physical Activity and Aging, Croom Helm, London, 1978.

目 录

绪 论

第一节 运动生理学的研究对象、任务和方法	(1)
第二节 急性运动的生理反应	(2)
第三节 长期训练的生理适应	(2)
第四节 生理功能的调节	(3)

第一篇 肌肉工作

第一章 细胞的生物电现象

第一节 细胞膜的基本结构和功能	(6)
第二节 生物电现象	(9)
第三节 神经—肌肉接头的兴奋传递	(15)

第二章 骨骼肌与运动

第一节 肌细胞的收缩功能	(18)
第二节 骨骼肌的收缩形式和力学分析	(23)
第三节 肌纤维类型与运动能力	(27)

第二篇 肌肉工作的神经控制

第三章 神经系统的一般生理学

第一节 神经元	(33)
第二节 突触	(34)
第三节 反射中枢	(36)

第四章 感觉

第一节 概述	(39)
第二节 视觉	(42)
第三节 位觉	(45)
第四节 听觉	(46)
第五节 本体感觉和其他感觉简述	(48)
第六节 触觉、压觉和内脏感觉简述	(49)

第五章 中枢神经系统对躯体运动的控制

第一节 脊髓反射	(51)
第二节 脑干对肌紧张和姿势反射的控制	(52)
第三节 高级中枢对肌肉活动的控制	(55)
第四节 随意运动	(58)

第三篇 氧运输系统

第六章 呼吸

- 第一节 肺通气 (62)
- 第二节 呼吸气体的交换 (65)
- 第三节 呼吸运动的调节 (66)

第七章 血液

- 第一节 概述 (71)
- 第二节 血液的功能 (74)

第八章 血液循环

- 第一节 心肌的生理特性与心电图 (78)
- 第二节 心脏的泵血功能 (81)
- 第三节 血管生理 (87)
- 第四节 心血管活动的调节 (91)

第九章 氧运输功能的评价

- 第一节 概述 (99)
- 第二节 最大吸氧量 (101)
- 第三节 无氧阈 (105)

第四篇 肌肉工作的能量供应

第十章 消化与吸收

- 第一节 酶 (109)
- 第二节 消化道的功能解剖 (111)
- 第三节 糖、脂肪和蛋白质的消化与吸收 (114)
- 第四节 运动对消化吸收的影响 (116)

第十一章 物质代谢与能量代谢

- 第一节 物质代谢 (118)
- 第二节 能量代谢 (129)
- 第三节 运动时的能量供应 (133)

第十二章 内环境相对稳定的维持

- 第一节 肾脏的排泄功能 (141)
- 第二节 血液在维持酸碱平衡中的作用 (146)
- 第三节 体温 (147)

第十三章 激素对代谢的调节

- 第一节 概述 (150)
- 第二节 甲状腺激素 (154)
- 第三节 甲状旁腺素和降钙素 (155)
- 第四节 胰岛素和胰高血糖素 (155)
- 第五节 肾上腺皮质激素 (157)

第六节	肾上腺髓质激素·····	(159)
第七节	腺垂体激素·····	(162)
第八节	神经垂体概述·····	(164)

第五篇 体育教学和训练的生理学基础

第十四章 运动技能的学习

第一节	学习和记忆·····	(165)
第二节	运动技能的形成·····	(168)
第三节	影响运动技能形成和发展的因素·····	(171)

第十五章 身体素质

第一节	力量素质·····	(174)
第二节	速度素质·····	(179)
第三节	耐力素质·····	(181)
第四节	灵敏和柔韧素质·····	(184)

第十六章 运动中人体功能变化的规律

第一节	赛前状态和准备活动·····	(186)
第二节	进入工作状态和稳定状态·····	(188)
第三节	运动性疲劳和恢复过程·····	(191)

第十七章 体育教学、训练原则和方法的生理学分析

第一节	教学、训练原则的生理学分析·····	(196)
第二节	教学、训练负荷阈·····	(199)
第三节	训练方法的生理学分析·····	(201)

第十八章 生理机能适应水平的评定

第一节	评定的原则和方法·····	(205)
第二节	几种常用指标在评定适应水平中的应用·····	(207)

第六篇 不同人群的运动生理学

第十九章 儿童少年与体育运动

第一节	生理功能的年龄特征·····	(211)
第二节	动作技能和身体素质的发展·····	(216)

第二十章 女子和体育运动

第一节	女子的运动能力·····	(220)
第二节	月经周期与运动·····	(224)

第二十一章 衰老与运动

第一节	衰老的概述·····	(228)
第二节	老年人形态与功能的主要变化·····	(229)
第三节	老年人的体育锻炼·····	(235)

绪 论

第一节 运动生理学的研究对象、任务和方法

运动生理学是研究人体机能活动规律的科学,其中包括人体在体育运动的影响下机能活动变化的规律,所以运动生理学是体育科学的一门基础理论学科。

一、运动生理学的研究目的和任务

运动生理学是人体生理学的分支,是专门研究人体的运动能力及对运动反应和适应的过程的一门学问,是体育科学中一门重要的基础理论学科。

体育教育专业学生学习运动生理学的目的是:在对人体机能活动规律有了基本认识的基础上,进一步探讨体育运动对人体机能影响的规律及机制,阐明体育教学和运动训练中的生理学原理,研究不同年龄(特别是青少年)、不同性别和不同训练水平的人进行运动时的生理特点,初步掌握评定人体功能能力的基本学科方法,为科学地从事体育教学和青少年业余训练打下理论基础。

二、运动生理学研究的基本方法

运动生理学的研究方法,主要是通过实验,在人工创造的条件下,使一定的生理现象按所要求的空间和时间正常出现,借以观察机能活动变化的过程及分析其因果关系。从生理进化观点看,人同许多动物,特别是哺乳动物,有许多结构和功能是基本相似的。因而在恰当地估计人与实验动物的区别的前提下,用动物实验的资料来间接探讨人体生理功能的变化及其机制是合乎逻辑的,特别是当某些实验需要损伤机体时,常用动物进行实验。

动物实验的方法可分为急性实验和慢性实验两大类。急性动物实验可分为离体实验法和在体实验法。离体实验法是把要研究的器官(如心脏)或组织(如肌肉、神经)从活的或刚死去的动物身上取出,放在人工环境中,使它在一定时间内保持生理功能,进行研究。在体实验法是先将动物麻醉,然后进行手术,暴露要研究的器官,在机体上进行实验观察。

慢性动物实验法是在无菌条件下对健康动物进行手术,暴露要研究的器官,或摘除、破坏某一器官,然后尽可能在接近正常生活条件下,观察所暴露器官的某些功能或摘除、破坏某一器官后所产生的功能紊乱。这种动物可在较长时间内用于实验,故称慢性实验。

对人体的实验和测定常用的方法有:1) 运动现场测定法。这种方法是在运动现场直接对运动者运动时(包括运动前、运动中、运动后即刻和恢复期,或运动中完成某项练习后)某些生理变化进行测定。这种测定方法的特点是符合运动的实际情况,且随着遥测仪器的使用,已能在运动过程中直接对某些生理指标进行测定,如心率。但这种方法易受运动环境、运动者的心理状态等因素的影响,研究条件不易控制,影响测量的准确性,对正确的分析也造成一定的困难。2) 实验研究法。包括模拟训练和功能的测试评定两个步骤。模拟训练是按照一定的研究目的而设计的实验训练方案,受试者在实验室内利用一定的训练器械如跑台、

自行车功量计、各种力量训练装置等进行实验性训练,并在训练前后或训练中,对所要研究的生理功能进行测定并比较、分析,以了解各种锻炼和训练方法(如不同训练方式,不同强度,不同间歇时间等)的训练效果及其对人体某些生理功能的特定影响。这种方法研究的条件容易控制,重复性好,对要研究的问题能作较深入的分析,但易受设备的限制而不能广泛开展。

功能的测定和评定,包括横向研究和纵向研究两种方式。横向研究是同时通过对不同年龄、不同性别、不同训练水平、不同运动项目的人群,进行一次性实验测定,从中获得某些生理功能变化规律。纵向研究是对同一组或同一个受试者进行较长时间的甚至多年的连续追踪研究,以了解体育锻炼和运动训练对提高人体各种生理功能的作用并探索其规律。

目前,由于新的研究方法的建立和新的科学仪器的使用,如肌组织活检法的创立,微量、超微量分析和遥测技术(如遥测心电、肌电等)以及超声波的采用(如超声心动图机等),使得运动生理学的研究在广度和深度上都日益发展。特别是分子生物学出现后,运动生理学在继续进行宏观研究的同时(如对心肺功能的研究),也开始微观的分子水平的研究(如运动训练与两类肌纤维功能特性的关系的研究)。

第二节 急性运动的生理反应

研究在不同运动条件下,人体功能的反应特征及其规律,是人体生理学的主要任务之一。人们把人体在一次练习或一次体育课或训练课所引起的暂时性功能变化称为反应。这些变化在运动停止后的短时期内便消失。锻炼和训练引起的机体的反应,必须具备一定的条件,包括练习的强度、持续时间和频率,并受运动形式、环境条件以及个体的生理状态等因素影响。就运动强度而言,一般可分为四个等级:即极量强度、亚极量强度、中等强度和小强度。由于运动的强度与能耗量成正相关,而能耗量又与吸氧量成正相关,故在运动生理的实验研究中,目前多以单位时间内的吸氧量来评定运动程度的大小。而吸氧量则通常用本人最大吸氧量($\dot{V}_{O_{2max}}$)的百分比来表示,以便于比较分析。一般认为,运动时,其吸氧量等于或低于本人最大吸氧量 50% 的强度属小强度;相当于本人最大吸氧量 55~65% 的强度称中等强度;相当于本人最大吸氧量 70~80% 的强度属亚极量强度;相当于本人最大吸氧量 95~100% 以上的强度属极量强度。

第三节 长期训练的生理适应

体育锻炼和运动训练的效果,要通过训练前后的适应水平的变化来评价。所谓适应,即长时间反复多次进行练习(即训练)所导致的持久的功能和形态的变化。这些适应变化的出现,使人体的功能能力得到提高,从而在运动中能更好地保持机体的稳态,更容易地完成某些练习,或提高运动成绩。例如,通过长期的耐力训练,使心脏产生了一系列适应变化,比如静息心率下降,心室腔容积增加,从而在运动时能泵出更多的血液,以运输更多的氧供机体利用,使内环境中的酸碱度、氧含量等稳态不致在运动时变化过大,从而使耐力得以提高。通过长期训练所引起的适应变化,在一次练习或少数几次的重复练习内不会发生。例如,系统耐力训练所导致的静息心率下降,单次或经几次练习是不会引起的。

要得到良好的适应还应注意以下几个方面:1) 个体性原理。在设计训练计划时必须考虑个体差异,不同的人对某一训练计划会作出不同的反应和适应。2) 特异性原理。训练必须针对某人所从事的特殊运动项目,以期达到最大效果。比如,一个从事大强度(如举重)运动的运动员,不要期望带来耐力跑的好成绩。3) “用进废退”原理。如果训练不持续进行,或减少得太快、太突然,训练所获得的效果就会降低或丧失。因此,所有的训练计划必须包括一个维持计划。4) 递增负荷原理。训练必须使得机体(肌肉、心血管系统等)的工作负荷高于正常水平,随着机体的适应,训练的工作负荷应不断提高,以期更好地适应。

第四节 生理功能的调节

无论是急性运动的反应,还是长期训练引起的适应都是为了与环境的变化相适应,与变化了的环境保持新的动态平衡。这是由于体内存在调节机制发挥调节作用的结果,通过调节,一方面使运动系统按一定的途径、强度和顺序进行一系列活动;另一方面使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。这些调节由三种调节机制来完成。

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。反射是指在中枢神经系统参与下,机体对内、外环境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。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,经传入神经到中枢;中枢分析、处理传入信息,并发出信息(指令)由传出神经传至效应器(骨骼肌和内脏系统),使之产生适应性反应。

按照上述过程,神经信息传到效应器,反射过程即告结束,所以反射弧是一种开放回路。但实际上,体内各种效应器上也都分布有特殊的感受器,能够将效应器活动情况的信息随时传回中枢,从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。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。

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、比较固定的反射,是一种较低级的神经活动。条件反射是在非条件反射基础上形成的,是人或高等动物在生活过程中根据个体所处的生活条件而建立起来的,是后天获得的一种高级神经活动。

二、体液调节

如果说神经调节是一种快速、精确的调节方式,那么体液调节则是一种缓慢、作用范围广泛且持久的调节。体液调节主要是通过人体内分泌细胞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而起作用的,故称为体液调节。

在体液调节中,一部分内分泌腺或内分泌细胞,可以感受内环境中某种理化性质和成分的变化,直接作出相应的反应,但不少内分泌腺是直接或间接受中枢神经系统控制的。在这种情况下,体液调节成了神经调节的一个环节,相当于反射弧传出通路的一个延伸部分(如下丘脑—交感神经—肾上腺髓质),故称为神经—体液调节。

除激素外,某些组织细胞所产生的一些化学物质或代谢产物,可以在局部组织液内扩散。例如,当组织细胞的酸性代谢产物增加时,可使局部的血管舒张,血流量增加,从而使蓄积的酸性代谢产物较快地被消除,这就是一种局部性体液调节。局部体液调节的作用,主要是使局部与全身功能活动相互配合、协调一致。

三、自身调节

自身调节是指内外环境变化时,器官、组织、细胞不依赖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,收缩时产生的力量愈大。因此,当心室中充盈的血量增多时,心室肌纤维即被拉长,收缩力因而加大,搏出的血量增多,使心容量相对恒定。一般说来,自身调节的幅度较小,也不十分灵敏,但对于生理功能的调节仍有一定的意义。

四、反馈在调节中的作用

在实现反射的过程中,反射中枢不断向效应器传出信息,以触发、控制效应器的活动,效应器也不断有信息送回反射中枢,以便反射中枢根据效应器的具体情况纠正和调整对效应器的影响。这种由效应器回输到反射中枢的过程叫做反馈,回输的信息称反馈信息。

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的影响,称为正反馈。正反馈使原来反应变得更强烈,如排尿反射,当排尿一旦开始,来自膀胱的反馈信息就使排尿过程逐步加强,直至完成排尿。人体内负反馈,即反馈的信息减弱反射中枢对效应器的影响,例如,人体中正常动脉血压的保持,就是通过负反馈机制而实现的。当体内血压升高时,大动脉中的压力感受器把这一信息反馈到心血管调节中枢,从而使其减弱对增高血压的影响,血压降低;反之,通过相似的途径,使血压回升,从而使血压经常稳定在一定水平上。

负反馈调节虽是维持稳态的重要途径,但这种调节方式是有缺点的。因此,只有在外界干扰使受控的生理活动出现偏差以后,负反馈调节才发生作用,所以有滞后的特点。而前馈则能在一定程度上弥补这一缺陷。所谓前馈,是指干扰信息在作用于效应器某一生理活动的同时,还可通过感受器直接作用于中枢部分,使中枢对可能出现的偏差预先发出纠正信号,对效应器进行纠正。这是在某一生理活动将出现偏差而引起负反馈调节之前进行的信息馈送和纠正,故称前馈。

实际上,前馈控制和反馈控制相结合,才能提高控制的质量,既能防止反馈的滞后现象,又能防止前馈的粗略特点。例如,运动员临近比赛或训练时,虽然此时肌肉活动尚未开始,但心跳、呼吸等内脏功能活动已加快、加强。这是由于环境中产生的有关刺激,作用于眼、耳等感觉器官,通过条件反射(前馈)对内脏功能发生调节的结果,从而使具有一定惰性的内脏功能提前动员,当肌肉活动开始后,就能迅速与之相协调,而使内脏活动不致过于滞后于肌肉活动,然后,再根据来自肌肉、内脏器官中的反馈信息作进一步调整,进行较精确的反馈调节。

复 习 思 考 题

1. 名词解释：神经调节 体液调节 自身调节？
2. 简述体育专业学生学习运动生理学的目的。
3. 何谓反应与适应？试用这两个概念来解释体育锻炼为何能增强体质。
4. 生理学是如何划分运动强度的？其原理是什么？

第一篇 肌肉工作

人体中的肌肉共分三类：骨骼肌、平滑肌和心肌。其中骨骼肌的数量最大，平均约占体重的40~45%，躯体运动是由骨骼肌的收缩和舒张实现的。本篇仅介绍骨骼肌的活动。

第一章 细胞的生物电现象

第一节 细胞膜的基本结构和功能

细胞膜是包被在细胞外面的一层薄膜，它是细胞的屏障，又是物质出入细胞必须通过的结构。一方面，细胞膜使细胞内容物和细胞的周围环境分隔开，保证细胞内容物不致流失和细胞内化学成分的恒定，从而为维持细胞的正常生命活动提供了条件；另一方面，细胞在新陈代谢过程中，又需要同外界进行物质交换，如摄入氧和营养物质，排出代谢产物。同时，细胞膜是细胞接受外界影响的门户，作用于细胞的各种物理性刺激和化学性刺激（如激素、药物），都是首先作用于细胞膜，然后再影响细胞内各种生理过程的。此外，细胞的运动、分裂、繁殖等功能，亦均与细胞膜有密切关系。

一、细胞膜的分子结构

细胞膜的分子结构，近年来已为人们广泛接受的是“流体镶嵌模型”学说，即细胞膜分子结构是以液态脂质双分子层为基架，其中镶嵌着具有各种生理功能的球形蛋白质（图1-1）。而细胞膜的化学成分主要为蛋白质和类脂，还有少量糖类。

（一）脂质双层

组成细胞膜基架的脂质分子，70%为磷脂（包括脑磷脂），30%为胆固醇。其分子结构为具有“一头两尾”的长杆状，头为磷酸和带正电荷的易溶于水的极性基团，通称亲水端；尾为不溶于水而易溶于脂肪溶剂的无极性基团，通称疏水端。细胞膜就是由两层这样的脂质分子构成的，故称脂质双层。两层脂质分子的亲水端都分别朝向膜的内、外表面；而两层脂质分子的疏水端则面对面地朝向双层分子的中央，借分子引力互相吸引。由于组成细胞膜的脂质分子所含的脂肪酸大多是不饱和的，其熔点低于体温，故呈液态，因而具有一定程度的流动性。细胞膜的这种脂质双层结构使它具有很低的通透性，水溶性物质很难通过它，所以是很好的区域化隔膜，在实现细胞膜的屏障功能中起着主要的作用。

（二）球状膜蛋白质

在细胞膜的脂质双层基架中，镶嵌着多种球状膜蛋白质，细胞膜的多种功能就是靠这些

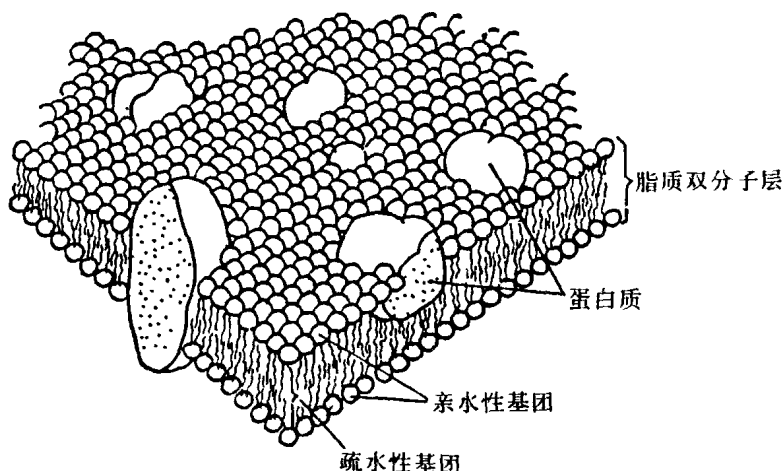


图 1-1 单位膜的液态镶嵌式模型

(注意膜外侧蛋白质和脂质分子上可能存在的糖链未画出)

膜蛋白来完成的。膜蛋白质有的是椭圆形,分子较长,贯穿整个脂质双层;有的分子较小,只以一定深度嵌入脂质双层中附着在膜的內表面。

各种膜蛋白质,具有其特殊的功能。例如,有的是结构蛋白;有的执行“泵”的功能,能将某些离子(如 K^+ 、 Na^+ 等)主动泵过细胞膜;有的是某些物质(如葡萄糖、氨基酸等)在膜上的专属通道,通过蛋白质构形的改变,可使该通道开放或关闭,从而将该物质转运过膜;有的即是细胞的受体,它能接受相应的激素、神经递质的作用,转而引起细胞功能发生变化;有的与细胞免疫机能有关;有的是促进在膜表面进行反应的酶等。由于膜内脂质是流动的,所以镶嵌在膜内的球形蛋白质并不一定固定在某一点。各种细胞都有它特有的膜蛋白质,这是决定其功能特异性的一个重要因素。

(三) 细胞膜糖类

细胞膜中含有一些多糖,但这些多糖并不是独立的,而是与膜内的脂质与蛋白质结合形成糖脂或糖蛋白,其糖链则伸展到细胞膜的外侧表面。这些糖蛋白的糖链由于化学结构上的特异性,因此成为细胞的“标记”,便于某一特定的化学物质识别而与之结合,如有些糖蛋白就是膜受体的“识别”部分,可以特异性地与某种激素或递质分子相结合。有些则作为抗原物质,载有各种免疫信息,如红细胞表面的血型物质。

二、细胞膜的物质转运功能

细胞内新陈代谢的不断地进行,有赖于细胞膜有选择地在细胞内、外不断地进行各种物质交换。目前已知的细胞膜常见的物质转运形式有如下几种:

(一) 单纯扩散

扩散是一种不耗能的被动物理过程,是分子或离子从浓度高的一侧通过细胞膜向低浓度的一侧运动。通过细胞膜扩散的物质的量,用“通量”(flux)表示。即某种物质在每秒钟内通过每平方厘米平面的摩尔(或毫摩尔)数。扩散通量与细胞膜两侧该物质的分子浓度差梯度成正比,浓度梯度愈大,扩散率愈大。但由于细胞膜是脂质膜,因而只有能溶于脂质的物质分子才有可能由膜的高浓度一侧向低浓度一侧运动,故扩散通量还取决于膜对该物质通过的阻力或难易程度,即通透性。根据目前的研究,人体内依靠单纯扩散而通过细胞膜的物质

是较少的,只有 O_2 和 CO_2 等气体分子。

(二) 易化扩散

易化扩散是指一些不溶于脂质的物质或亲水的物质,如钾离子、钠离子、葡萄糖、氨基酸等小分子物质,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。这一过程也是顺浓度梯度进行的,故不耗能。膜蛋白质“帮助”物质转运、出入细胞的方式,至少有以下两种类型:

一种以“载体(carrier mediated)”为中介的易化扩散,即细胞膜中存在的各种载体首先在膜的一侧与某种特异性物质结合成复合体,而后从膜的这一侧运动(摆渡)或旋转(翻筋斗)到膜的另一侧,再与此种物质解离,从而将此物质转运过细胞膜,即载体像渡船一样,往返于膜两侧,完成物质转运。如细胞外液中高浓度的葡萄糖可以容易地通过细胞膜进入细胞内就是这种类型。载体扩散的特点:① 具有高度的特异性。例如,对红细胞膜来说,在同样的浓度梯度情况下,D-型葡萄糖比 L-型葡萄糖更容易通过细胞膜。② 载体扩散有饱和现象,即扩散通量一般与浓度梯度的大小成正比,但当浓度梯度增大到一定限度时,扩散通量就不再增加。③ 载体扩散表现竞争性抑制,即如果载体对 A 和 B 两种结构类似之物质有转运能力,那么在环境中加入 B 物质,将会减弱载体对 A 物质的转运,这是因为一定数量的结合位点竞争性地被 B 占据的结果。

另一种是以“通道(channel mediated)”为中介的易化扩散,它们常与一些离子如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等由膜的高浓度一侧向低浓度一侧的移动有关。所谓通道,是指细胞膜中一些贯穿膜内、外的蛋白质,其分子中有沟通细胞膜内、外的专属通道,允许某种离子或某种物质顺浓度梯度扩散通过,它好像是一个厚壁的管道,故称通道蛋白质或简称通道。但应指出,专属通道对转运的物质也有特异性,但不像载体那样严格。此外,通道转运某种离子或物质的能力,决定于它所在的膜两侧的电位差或膜是否受到某些特殊化学信号(如神经递质)的作用。由于蛋白质的构型是易于改变的,当膜两侧电位差的变化达到某一特定数值时,或膜受到特定的神经递质作用时,通道蛋白质的构形突然改变,通道开放,膜对某种离子或物质的通透性突然增大,允许它迅速顺浓度差移动过膜。由于构型变化极为迅速,通道可以在数毫秒或数十毫秒之间的极短时间内形成,而后又迅速关闭,从而使细胞膜迅速改变物质的通过量。

(三) 主动转运

上述两种扩散,物质分子或离子都只能作顺浓度梯度的净移动,并无能量消耗,故属被动转运过程。但应该指出,被动转运并非与能量转换无关,只不过这时物质移动所需的能量来自高浓度溶液本身所包含的势能。而主动转运是被称为“泵”的膜蛋白将某种物质逆浓度梯度的转运过程。这是一种消耗能量的过程,此能量由细胞膜上的 ATP 提供。

在细胞膜的主动转运中,重要而且研究得最充分的是关于“钾钠泵”(简称“钠泵”)对 K^+ 、 Na^+ 的主动转运。人体(或动物)各种细胞的内、外虽只有一膜之隔,但膜内、外 K^+ 、 Na^+ 浓度差别却很大。这种浓度差的形成和保持,是靠细胞膜上存在的“泵”对 Na^+ 、 K^+ 主动转运来实现的。即依靠泵的经常活动,不断地逆浓度梯度把进入细胞的 Na^+ 泵出膜外,而把细胞外的 K^+ 泵入膜内,从而保持细胞内、外 Na^+ 、 K^+ 的正常浓度差。

近年来大量实验证明,钠泵是镶嵌在细胞膜上的一种特殊蛋白质,它本身具有 ATP 酶的活性,可分解 ATP 以获得能量,并利用此能量将膜内的 Na^+ 移出膜外,将膜外的 K^+ 移入膜内。故又将钠泵称为“ Na^+ - K^+ 依赖式 ATP 酶”。钠泵的酶活性可被 Na^+ 、 K^+ 所激活,受