

运动营养学

主 编 袁海平

副主编 左 群

编 者

(以姓氏笔划为序)

史仍飞 左 群 庄 洁

娄淑杰 袁海平

北京体育大学出版社

前 言

运动营养学是一门新兴的学科，它是营养与竞技体育、大众健身、疾病运动康复相结合，随着体育运动的发展而形成的。运动营养是保障运动员身体健康和取得良好运动成绩的基本因素之一。竞技体育的高度发展，最佳运动成绩的取得已经越来越要求运动员发挥自身的体能极限。要想创造一项新的成绩，就必须进行超极限训练。没有充分合理的营养支持，就不能达到预期目标，同时也无法保证训练效果。另外，随着人们生活水平的提高，平均寿命的延长，我国健身活动蓬勃开展，与之不相适应的是由于缺乏合理的营养指导，健身者不知如何采用合理的营养来保证最佳的健身效果。身体健康、营养为本。许多疾病的发生和人体的亚健康状态与营养状况密切相关。如何通过合理营养促进健康，加速疾病康复，是人们迫切的意愿。营养与每个人的日常生活和身体健康密切相关，加强运动营养的教学与研究，是发展全民体育事业的必由之路。

为此，根据我院学科发展和教学改革的需要，我们编写了这本面向体育院校运动人体科学专业、体育教育专业、运动训练专业学生的《运动营养学》教材（另附有运动营养学实验教材）。本教材力求体现现代教材应具备的科学性、先进性、系统性、应用性和可读性，共分16章，内容包括营养学基本理论、营养与健康、营养学知识在体育锻炼和运动训练中的应用以及营养与疾病防治。内容较为广泛，不同专业学生可根据培养目标，将各章节内容确定为掌握、熟悉和了解。本教材可供多专业选用，各专业可根据培养目标，确定不同的教学大纲，这为担任专业课程的教师提供了便利，也为学生提供了较宽泛的营养知识。

本教材为我院首次使用的运动营养学教材，无论是体系还是内容均不够成熟。希望在今后的教学实践中不断修正和补充，从而使本书不断完善。由于编写人员的水平、经验和时间有限，教材中不足之处在所难免，敬请批评指正。

在编写本教材过程中，全体参编人员分工协作，尽职尽责，其中袁海平（绪论、第一章、第二章、第十章），娄淑杰（第三章、第四章），史仍飞（第五章、第八章、第十二章、第十六章），庄洁（第六章、第十五章），左群（第七章、第九章、第十一章、第十三章、第十四章）。学校及运动科学学院领导给予极大的支持和帮助，在此表示衷心感谢！本教材参阅和引用了国内、外许多学者的研究成果和资料，在此一并致谢！

袁海平

2006年7月

目 录

绪 论	(1)
第一章 运动与能量	(6)
第一节 能量单位和能量系数	(6)
第二节 人体的能量消耗	(7)
第三节 人体能量需要及供给	(10)
第二章 运动与糖	(16)
第一节 糖的分类	(16)
第二节 糖类的消化、吸收和代谢	(17)
第三节 糖类的营养功用及其与运动的关系	(19)
第四节 糖类的来源及其在膳食中的地位	(21)
第三章 运动与蛋白质	(23)
第一节 蛋白质和必需氨基酸	(23)
第二节 蛋白质代谢与氮平衡	(26)
第三节 蛋白质的营养学评价	(27)
第四节 运动与蛋白质	(30)
第五节 运动与蛋白质的补充	(31)
第四章 运动与脂类	(35)
第一节 甘油三酯和必需脂肪酸	(35)
第二节 类 脂	(38)
第三节 脂肪的供给量和脂类来源	(40)

第四节	食物脂类的营养学评价	(42)
第五节	运动与脂类代谢	(43)
第六节	运动与脂类补充	(44)
第五章	运动与水、电解质代谢	(47)
第一节	运动与水代谢	(47)
第二节	电解质代谢与酸碱平衡	(49)
第三节	运动员水和电解质代谢的特点	(54)
第六章	维生素	(58)
第一节	脂溶性维生素	(58)
第二节	水溶性维生素	(63)
第三节	运动员维生素的代谢特征及补充	(69)
第七章	各类食物的营养价值	(72)
第一节	食物营养价值的评定及意义	(72)
第二节	谷类的营养价值	(73)
第三节	豆类及其制品的营养价值	(76)
第四节	蔬菜的营养价值	(77)
第五节	水果的营养价值	(79)
第六节	畜、禽肉类的营养价值	(81)
第七节	水产类的营养价值	(82)
第八节	奶类及奶制品的营养价值	(83)
第九节	蛋类的营养价值	(85)
第十节	现代新型食品	(86)
第八章	运动员的合理营养	(90)
第一节	膳食结构与平衡膳食	(90)
第二节	运动员的合理营养	(93)

第九章 运动员在比赛期的营养	(97)
第一节 运动员赛前营养	(97)
第二节 运动员赛中营养	(103)
第三节 运动员赛后营养	(104)
第十章 运动员控体重的科学方法及营养措施	(110)
第一节 体重的组成及评价标准	(110)
第二节 运动员减体重对健康和运动能力的影响	(112)
第三节 运动员长期控体重对健康和运动能力的影响	(114)
第四节 运动员控体重期的饮食营养措施	(115)
第十一章 特殊环境下运动时的营养	(119)
第一节 高温环境下运动时的营养	(119)
第二节 低温环境下运动时的营养	(122)
第三节 高原环境下运动时的营养	(125)
第十二章 不同项群运动员的营养特点及需求	(132)
第一节 耐力项目运动员的膳食营养特点及需求	(132)
第二节 力量项目运动员的膳食营养特点及需求	(135)
第三节 灵敏、技巧项目运动员的膳食营养特点及需求	(136)
第四节 球类项目运动员的膳食营养特点及需求	(137)
第十三章 儿童和青少年运动员的营养	(140)
第一节 儿童、青少年运动员的生理特点与营养需求	(140)
第二节 儿童、青少年运动员的运动性贫血问题	(148)
第十四章 女性运动与营养	(152)
第一节 女性不同年龄阶段的生理特点和营养需求	(152)
第二节 女运动员的营养问题	(158)

第三节	女运动员的月经问题·····	(161)
第十五章	运动、营养与慢性病防治 ·····	(166)
第一节	膳食结构类型的变迁及调整与慢性病防治·····	(166)
第二节	身体活动、营养和心血管疾病·····	(169)
第三节	运动、营养与糖尿病·····	(174)
第四节	运动营养与骨质疏松症·····	(175)
第五节	肥胖与运动营养·····	(178)
第十六章	运动员营养状况的评定 ·····	(182)
第一节	运动员膳食调查·····	(182)
第二节	身体营养状况检查·····	(186)
第三节	运动营养的生化监控·····	(188)
附录一	中国居民膳食指南 ·····	(195)
附录二	中国居民膳食营养素参考摄入量 (DRIs) ·····	(202)
附录三	常用主食的热能含量及营养成分表 (100 g 可食部的含量) ·····	(206)

绪 论

营养学 (nutriology) 是研究营养与生物健康关系的一门学科, 属生物学分支。人体营养学是研究合理利用食物以满足人体需要, 促进健康, 提高机能的科学, 属预防医学范畴。运动营养学 (sports nutriology) 是营养学的分支, 是一门研究合理营养对运动员竞技能力和健康影响的新兴学科。研究内容主要包括运动员在不同的训练或比赛情况下的营养需要, 饮食和营养干预措施对提高运动员机体机能、运动能力的作用, 营养与体力适应、疲劳恢复、运动性疾病防治以及健康的关系。

学习运动营养学的目的和任务: ①掌握营养学的基础知识和合理营养的基本要求, 认识营养对运动的促进作用及其规律; ②掌握不同项目、不同年龄、不同性别运动员的营养特点及其在比赛期、特殊环境中训练和控制体重等的营养措施; ③了解营养、运动与慢性病防治的关系及其饮食防治方法; ④初步掌握营养调查方法和对人体营养状况进行综合评价, 并提出有效措施, 以达到提高运动员竞技水平、改善人体营养状况、增强体质、防治疾病、增进健康和提高生活质量的目的。

一、运动营养学的相关概念

1. 营养 (nutrition) 从字义上讲, “营”是谋求, “养”是养生, 营养就是谋求养生, 具体是指生物从外界摄入食物, 在人体内经过消化、吸收、代谢以满足其自身生理功能和从事各种活动需要的必要生物学过程。

2. 营养素 (nutrients) 是指食物中可被人体消化吸收、对人体有益的化学物质, 包括糖类、脂类、蛋白质、维生素、矿物质以及水等 6 大类。食物中存在的膳食纤维, 身体不能消化吸收, 但它对人体健康有重要意义, 属于膳食必需成分。营养素有三大基本功能: 提供能量、构建机体和修复组织、调节代谢以维持正常生理功能。

3. 食物 (food) 是生物为了生存和生活所必需摄入体内的营养物质。

4. 膳食 (diet) 即人们日常食用的饮食, 它是由多种食物组成的。食物可视为营养素的载体, 膳食可视为含有多种营养素的多种食物的混合体。

5. 膳食指南 (dietary guideline) 是根据营养学原则, 以科学成果为依据, 针对人群中存在的主要营养问题, 告诉人们科学用餐的重要指导原则。中国营养学会制定了“我国的膳食指南”和“中国居民膳食指南”, 其宗旨是平衡膳食、合理营养、促进健康, 同时设计了“平衡膳食宝塔”, 还制定了“特定人群膳食指南”(附录一)。根据膳食指南的原则并参照平衡膳食宝塔的搭配安排日常饮食是保障身体健康的前提。

6. 膳食营养素参考摄入量 (dietary reference intakes, DRIs) 是中国营养学会 2000 年在推荐膳食摄入量 (recommended dietary allowances, RDAs) 基础上修订的一组每日平均膳食营养素参考摄入量的参考值, 是设计和评价膳食质量的标准, 也是膳食指南的体现, 具体参考值见附录二。它包括以下 4 项指标:

(1) 平均需要量 (estimated average requirement, EAR) 是某一特定性别、年龄及生理状况群体中 50% 个体对某营养需要量的平均值。

(2) 推荐摄入量 (recommended nutrient intake, RNI) 相当于传统的 RDA, 可以满足某一特定群体中绝大多数 (97% - 98%) 个体的需要, 长期摄入 RNI 水平, 可以维持组织中有适当储备。

(3) 适宜摄入量 (adequate intake, AI) 是通过观察或实验获得的健康人群某种营养素的摄入量, 其准确性不如 RNI。

(4) 可耐受最高摄入量 (tolerable upper intake level, UL) 是平均每日可以摄入某营养素的最高限量, 该量对一般人群中几乎所有个体都是安全的, 当从食物、饮水及补充剂中某营养素摄入总量超过 UL 值越多, 损害人体健康的危险性就越大。

二、运动营养学的意义

饮食营养与人的健康关系非常密切。营养素、食物和饮食是维持人体生命和生命活动代谢的最基本条件。合理的运动和营养对促进生长发育、增进健康、提高机能、防治疾病、延缓衰老以及运动员达到优异成绩, 都是不可缺少的重要因素。运动营养学在体育科学、康复医学、预防医学中占有很重要的地位。同时, 它又是一门综合性学科, 与运动生理学、运动生物化学、运动医学、康复医学、体育训练学等有着非常密切的联系。

(一) 营养与生长发育及生理机能

影响生长发育和生理机能的因素是多方面的, 而营养是重要的因素之一。因为营养素是构成机体的物质保证。成年人需要营养素来维持体重及保障机体功能; 儿童、青少年除了维持机体功能外还需要更多营养素满足生长发育的需要; 妊娠和哺乳的妇女需要额外的营养素以保证胎儿及母体相关组织增长和泌乳的需要, 合理的营养可促进婴、幼儿及青少年的生长发育, 而营养不良则可导致体质下降, 智力发育不良, 患病率和死亡率上升。

营养可从神经和体液两个方面影响人体机能。人脑的生长发育在出生后至 2 周岁期间最为重要, 若此时缺乏营养, 会影响脑细胞的数量、大小和神经髓鞘及神经递质的形成, 从而导致脑发育障碍。

生理机能的调节, 是靠体液中的激素、酶、无机盐和维生素等完成。其中的无机盐与维生素及体液中的水就是营养素, 直接由食物中摄取。而激素与酶则需要蛋白质、脂肪、无机盐、维生素等营养素参与合成, 也需从食物中摄取。因此, 营养的好坏对代谢调节物质含量和功能有直接影响。如蛋白质、热能营养不良时, 导致酶系统的缺乏; 脂类营养不良时, 可影响激素的合成; 缺铁则影响血红蛋白的合成, 降低血液的携氧功能等。

(二) 营养与健康长寿及疾病防治

食物对健康和寿命的影响一直是中外学者探究的议题之一。健康长寿, 自古即为世人向往。时至今日, 科学饮食仍以其特有的保健和益寿魅力, 深受人们欢迎, 更被大力提倡和研究。吃是生命活动的表现, 也是健康长寿的保证。“安谷则昌, 绝谷则危。安民之本, 必资于食”。只有健康的身体作保证, 人们才能有所作为、有所贡献。

医学深入而迅猛的发展和医学模式的改变, 人民生活水平不断提高, 传染病发病率及死亡率均显著下降, 人类的平均寿命明显延长, 而退行性疾病已成为死亡的主要原因。当前我国病死率排在前 4 位的是: 恶性肿瘤、脑血管疾病、呼吸系统疾病和心血管疾病。近

50年大量的流行病学调查、临床观察和动物实验研究的资料均表明,不良的饮食习惯、不合理的营养方式是引起退行性病变的重要原因之一。营养不良包括:营养缺乏、营养过剩、营养不平衡,这些都会给健康带来不利的影响。在我国营养缺乏症依然存在,如维生素A缺乏引起干眼病,缺钙引起佝偻病等;但因营养过剩所致的肥胖、高血脂症、冠心病、糖尿病、癌症等疾病发病率在某些地区明显增高。流行病学研究表明,动脉粥样硬化是一种由遗传基因与环境因素相互作用而形成的慢性全身性疾病,其有关危险因素多达10种,但最重要的有3种:高血压、高血脂和糖尿病。而这三大因素均与饮食营养有非常密切的关系。合理的饮食可以预防和治疗疾病,而饮食不合理则可以引起或加重疾病。

营养与疾病相互影响,营养不良,机体抵抗力下降,易患各种疾病,而机体患病时体内代谢改变或食欲不良,容易营养缺乏。所以在疾病的预防和治疗上,营养都有十分重要的作用。各种营养素与健康的关系非常密切,著名营养学家、诺贝尔奖获得者莱纳斯·波林斯断言:“合理营养可以使人的寿命延长20年”。中国有句名言:“药补不如食补”,反映营养对健康的重要意义。

(三) 营养与体育科学

近年来,随着体育科学的迅速发展,运动营养学越来越受到人们的关注与重视,将营养与训练有机地结合,成为运动训练工作中重要的一环,从而促使运动训练效果和运动成绩的迅速提高。

合理营养是运动员健康和运动能力的保证,也是影响身体素质和身体成份的一个关键因素。营养与运动员的训练、机能状态、体力适应、恢复过程以及运动性疾病的发生均有密切的关系。合理营养有助于为运动员提供适宜的能量,发展身体素质和专项竞技能力,提高运动成绩。近年来大量研究结果表明,影响运动能力最主要、最基本的因素是运动时能量的产生、利用及其调节。能量的产生与利用增加,以及调节能力的增强,将促进运动能力的提高。运动员在运动时能量的供给和运动后物质的恢复均与其营养水平有关,营养素既可作为运动时的能源物质,又可参与运动时或运动后物质代谢和能量代谢的调节。运动性疲劳的常见原因有能源物质的消耗、脱水、酸性产物堆积、电解质丢失、维生素和微量元素缺乏或不足,而这些均可通过合理营养得到纠正,从而加速疲劳的恢复。因此,营养条件是运动训练和比赛的一个重要物质基础。运动员采取特殊的营养策略,可以发挥他们的最大运动潜能,不同项目运动员吃什么?吃多少?怎样吃是值得认真研究的重大问题。

此外,运动员因训练和比赛的需要存在一些特殊的营养问题,例如按体重级别(举重、摔跤、拳击、柔道、跆拳道、轻量级划船等)进行比赛的运动员,在比赛前常存在减体重的问题;体操、跳水等运动员因完成高难度动作的需要,则要求长期控体重。这些问题均涉及运动员的合理营养。营养措施不当,就会带来严重的医学问题,影响运动员的健康和竞技运动能力。总之,合理营养是保证运动员竞技水平和健康的重要基础。

在群众体育运动中,体育运动和合理营养的结合在增强人民体质和健康水平中的作用日益突出。营养是构成机体组织的物质基础,体育运动是增强人体机能的有效手段,两者科学配合,可更有效地促进机体生长,提高健康水平。只注意营养而缺乏体育运动,会使人肌肉松弛、肥胖无力、机能减弱;进行体育健身而缺乏必要的营养,体内消耗的能量物质得不到应有的补偿,也会使人的机能减弱,妨碍生长发育,并发营养缺乏症,有碍身体

健康。所以，适当的运动和合理的营养相结合才是保证健康的重要措施。

三、营养及运动营养学发展概况

人类是在漫长的生活实践中对营养逐渐由感性经验上升到科学认识。我国从 3 000 年前就有食医，认为食养居于术养、药养等养生之首；在《黄帝内经》以及各家医学著作中有对食养、饮食的阐述，指出就食物的功能而言，食用和药用同等重要，“用之充饥则谓之食，以其疗病则谓之药”。此后在历代医书中均有关于饮食营养与健康的论述，在《神农本草》和《本草纲目》等医学著作中，记载了数百种食物的性质及其对人体健康的影响。现代营养学奠基于 18 世纪中叶，期间提出呼吸是氧化燃烧的理论，营养过程是对糖、脂肪、蛋白质的氧化，确定了糖、脂肪、蛋白质的氧化系数。19 世纪到 20 世纪中叶，陆续发现了各种营养素，如 1810 年发现了第一种氨基酸，1838 年蛋白质作为一种科学术语而被命名，1844 年发现了血糖，1881 年对无机盐有了较多研究，1920 年正式命名维生素，1929 年证明亚油酸为人体必需脂肪酸，1938 年提出 8 种必需氨基酸，1934 年美国营养学会成立后承认营养学为一门独立的学科。1943 年，美国首次提出各社会人体膳食营养素供给量的建议，此后许多国家也提出了自己的营养素供给量建议，作为合理营养的科学依据。

我国在 20 世纪初进行了食品营养成分和营养状况的调查研究，在此基础上，中华医学会 1939 年提出了我国第一个营养素供给量的建议。1945 年正式成立了中国营养学会。1952 年我国出版了第 1 版《食物成分表》，1956 年创刊了《营养学报》，1959 年对全国 26 个省市的 50 万人进行了四季膳食调查，1962 年提出了建国后第一个营养素供给量建议，1982 年和 1992 年又进行了第二次、第三次全国性营养调查。1988 年中国营养学会修订了每人每日膳食营养素供给量。1989 年中国营养学会提出我国居民膳食指南。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高及膳食结构的改变，又于 1997 年修订了膳食指南。1998 年中国营养学会为了配合国务院制订的《中国营养改善行动计划》又发布了《中国居民平衡膳食宝塔》，把我国食物分类的概念和每人每日各类食物合理摄入范围，以形象、量化和直观的形式展现出来，这对普及营养知识、指导居民合理膳食，具有重要的实际意义。2000 年 10 月 17 日中国营养学会在第 8 次全国营养学术会议上又公布了我国第一部“膳食营养素参考摄入量”，这标志着我国营养学界在理论研究和实践运用的结合方面又迈出了新的一步。同时以分子营养学的研究手段阐述各种营养相关疾病的发病机制，探讨营养素与基因的相互作用，并从分子水平利用营养素预防和控制与营养相关的疾病，已成为 21 世纪营养学的又一研究热点。

运动营养学是营养学中一个新的分支，也是运动医学中起步较晚的一项内容。我国运动营养学的研究始于 20 世纪 50 年代后期，最初的研究多为运动员膳食营养调查，个别运动项目运动员的能量消耗，以及维生素 C、维生素 B₁ 需要量的研究。20 世纪 70 年代，特别是 20 世纪 80 年代以来，随着运动训练和比赛的需要以及体育科学的发展，运动营养得到重视，因而有了较快的发展。如今，不仅在体育界，而且在医药卫生界，也开展了运动营养的研究。近年运动营养研究的主要内容大致为：我国优秀运动员营养素需要量的制订；各种营养素代谢与运动能力的关系；运动员长期控制体重与急性减体重的营养问题；营养对运动员体成分的影响；运动员的水盐代谢；提高运动能力及消除疲劳的营养措施；

合理膳食营养和特殊营养品补充在训练和比赛中的应用；运动饮料、运动食品与营养补剂的研制以及加强其它科学技术在运动营养学领域的应用。

总之，运动营养科学事业是关系到我国体育运动走向世界强国的大业。科学合理的营养，必将增强运动员身体素质，使之能够承受高强度、快节奏的运动方式，并提高运动员所必需的适应力、拼搏力、耐受力、爆发力和运动技术水平。

复习思考题：

1. 何谓营养素？人体需要的营养素有哪几类？
2. 膳食、食物、营养、营养素的概念分别是什么？它们有何关系？
3. 何谓 DRIs？有何意义？
4. 简述营养与健康，营养与运动能力的关系。

第一章 运动与能量

[提要] 能量是维持正常生命活动的基础，亦是维持人体运动能力的重要前提。本章主要介绍热能的基本概念，人体的能量消耗、需要量及供给。运动中的能量供应及其与运动能力的关系。

能量代谢是人体一切生命活动的基本特征，能量代谢停止，生命也就终止，所以能量需要是运动营养学首先要考虑的问题。人体所需的能量来自食物中的宏量营养素，包括碳水化合物、脂类和蛋白质三大物质。这些物质在体内生物氧化释放的能量一部分用于维持体温和转化为热能向外环境中散发；另一部分形成三磷酸腺苷（adenosine triphosphate, ATP）储存于高能磷酸键中。ATP在生理条件下释放出能量供机体各种生命活动需要。人体运动时骨骼肌能量消耗迅速增加，但不同的运动方式、不同的运动负荷量其能量需求及消耗特点不一样。因此，对运动员及健身者来说，了解能量及人体对能量的需求是极为重要的。

第一节 能量单位和能量系数

人体不仅在活动时需要能量，在安静状态时也需要能量以维持体温、心跳、呼吸等各项基本生命活动。营养学上常以能量单位与能量系数表示能量供给量及消耗量。

一、能量单位

能量单位以“千卡”或“焦耳”表示，1千卡（kcal）就等于1kg纯水从15℃升高到16℃所吸收的能量，即纯水每升高1℃所吸收的能量。1焦耳（joule, J）即用1牛顿的力度使1kg的物体移动1m的距离所消耗的能量。目前国际上通用焦耳作为能量单位，营养学上使用最多的是其1000倍或10万倍的单位即千焦（kJ）或兆焦（MJ）。其换算关系为：

$$\begin{aligned} 1 \text{ kcal} &= 4.184 \text{ kJ} & 1 \text{ kJ} &= 0.239 \text{ kcal} \\ 1000 \text{ kcal} &= 4.184 \text{ MJ} & 1 \text{ MJ} &= 239 \text{ kcal} \end{aligned}$$

二、能量系数

每克碳水化合物、蛋白质、脂肪3种产能营养素在体外燃烧时分别释放17.15 kJ（4.10 kcal）、23.64 kJ（5.65 kcal）、39.54 kJ（9.45 kcal）的能量，碳水化合物、脂肪在体外燃烧与体内完全氧化所产生的能量相近。而蛋白质体内氧化释放的能量只为体外燃烧释放能量的77%。这是因为体内蛋白质不能完全氧化，代谢废物中还有尿素、尿酸等含氮有机

物,如果把1g蛋白质的这些代谢产物在测热器中燃烧,则可放出5.44 kJ (1.3 kcal) 能量。所以1g蛋白质在体内燃烧只能放出18.2 kJ (4.35 kcal) 能量。

每克碳水化合物、蛋白质、脂肪在体内氧化产生的能量值称为能量系数。食物中的营养素在人体的消化道内不能被完全消化吸收,一般混合食物中碳水化合物、蛋白质、脂肪三者的吸收率分别为98%、92%、95%,故三种产能营养素的能量系数分别为:

$$1 \text{ g 碳水化合物: } 17.15 \text{ kJ} \times 98\% = 16.84 \text{ kJ (4 kcal)}$$

$$1 \text{ g 蛋白质: } (23.64 \text{ kJ} - 5.44 \text{ kJ}) \times 92\% = 16.74 \text{ kJ (4 kcal)}$$

$$1 \text{ g 脂肪: } 39.54 \text{ kJ} \times 95\% = 37.56 \text{ kJ (9 kcal)}$$

第二节 人体的能量消耗

人体的能量消耗包括基础代谢、体力活动和食物的热效应三个方面。为了达到能量的平衡,人体每天摄入的能量应恰好能满足这三个方面的需要,这样才能有健康的体质和良好的工作效率。运动员的能量消耗比普通人高,其能量代谢具有强度大、消耗率高和伴有不同程度氧债等特点,若以相对代谢率比较,运动时肌肉中的代谢可比静止状态高两至三倍甚至百倍以上。

一、基础代谢

基础代谢(basal metabolism, BM)是指维持生命的最低能量消耗,即人体在清晨而又极端安静的状态下,不受精神紧张、肌肉活动、食物和环境温度等因素影响时的能量代谢。一般在室温18-25℃,禁食12h后,静卧、放松而又清醒时测量。此时能量仅用于维持体温和呼吸、血液循环及其它器官的生理需要。在此状态下测得的能量消耗比一般休息时低,但比熟睡时高10%,因此计算24h的能量消耗时应扣除睡眠时少消耗的这部分热能。

基础代谢一般以每小时每平方米体表面积的产热量为单位,传统以kcal/m²h表示,现国际单位则以kJ/m²h表示。基础代谢的能量消耗常根据体表面积、体重、基础代谢率计算。粗略估计BMR的方法是成人男性按每公斤体重每小时1 kcal (4.18 kJ)、女性按0.95 kcal (3.97 kJ),和体重相乘直接计算。

表 1-1 WHO 建议的计算基础代谢公式 (kcal/d)

年 龄 (岁)	公 式 (男)	公 式 (女)
0-3	$(60.9 \times w) - 54$	$(61.0 \times w) - 51$
3-10	$(22.7 \times w) + 495$	$(22.5 \times w) + 499$
10-18	$(17.5 \times w) + 651$	$(12.2 \times w) + 746$
18-30	$(15.3 \times w) + 679$	$(14.7 \times w) + 496$
30-60	$(11.6 \times w) + 879$	$(8.7 \times w) + 829$
>60	$(13.5 \times w) + 487$	$(10.5 \times w) + 596$

注: w 为体重 (kg)。引自《Technical Report Serie》, Geneva, WHO, 1985: 724

单位时间内的基础代谢称为基础代谢率(basal metabolic rate, BMR),指人体处于基础代谢状态下,每小时每平方米体表面积的的能量消耗,单位为kJ/(m²·h)或kcal/

运动营养学

($\text{m}^2 \cdot \text{h}$)。根据基础代谢率可计算出每天基础代谢的能量消耗 (basic energy expenditure, BEE)。

现代测定基础代谢的仪器已发展为轻便型,可在床旁操作,通常测定 6 min 内的 O_2 耗量并以每升 O_2 氧的热价为 4.825 kcal 计算,以求出总的能量消耗。

WHO 于 1985 年推荐使用 Schofield 公式 (表 1-1),计算 1 天的基础代谢能量消耗。我国儿童和青少年的基础代谢参考值按表 1-1 公式计算,18 岁以上人群的基础代谢按公式计算的结果减去 5%。

赵松山于 1984 年提出一个相对适合中国人的体表面积计算公式:

$$\text{体表面积} (\text{m}^2) = 0.00659 \times \text{身高} (\text{cm}) + 0.0126 \times \text{体重} (\text{kg}) - 0.1603$$

根据这个公式先计算体表面积,再按年龄、性别在表 1-2 中查出相应的 BMR,就可计算出 24 h 的基础代谢水平。表 1-2 是 1-80 岁不同年龄段的人体基础代谢率。

表 1-2 人体基础代谢率

年 龄 (岁)	男		女		年 龄 (岁)	男		女	
	kJ/m^2	kcal/m^2	kJ/m^2	kcal/m^2		kJ/m^2	kcal/m^2	kJ/m^2	kcal/m^2
1	221.8	53.0	221.8	53.0	30	154.0	36.8	146.9	35.1
3	214.6	51.3	214.2	51.2	35	152.7	36.5	146.4	35.0
5	206.3	49.3	202.5	48.4	40	151.9	36.3	146.0	34.9
7	197.7	47.3	200.0	45.4	45	151.5	36.2	144.3	34.5
9	189.9	45.2	179.1	42.8	50	149.8	35.8	139.7	33.9
11	179.9	43.0	175.7	42.0	55	148.1	35.4	139.3	33.3
13	177.0	42.3	168.6	40.3	60	146.0	34.9	136.8	32.7
15	174.9	41.8	158.8	37.9	65	143.9	34.4	134.7	32.2
17	170.7	40.8	151.9	36.3	70	141.4	33.8	132.6	31.7
19	164.0	39.2	148.5	35.5	75	138.9	33.2	131.0	31.3
20	161.5	38.6	147.7	35.3	80	138.1	33.0	129.3	30.9
25	156.9	37.5	147.3	35.2					

注:引自《营养与食品卫生学》(第 5 版),2003:31

1985 年 WHO 提出用静息代谢率 (resting metabolic rate, RMR) 代替 BMR。测定时全身处于休息状态,禁食仅需 4 h。因此, RMR 的值一定略高于 BMR (表 1-3)。RMR 一般占总能量消耗的 60% - 70%。

人体的基础代谢不仅个体之间存在差异,自身的基础代谢也常有变化,其影响因素主要有以下几方面:

(1) 年龄:婴幼儿基础代谢率非常高,青春期出现一个代谢活跃阶段,以后随年龄增长基础代谢水平不断下降,30 岁以后每 10 年降低约 2%,60 岁以后下降更多。但如注意加强体育锻炼,这种降低相对缓慢得多。

(2) 性别:在同一年龄、同一体表面积的情况下,女性的基础代谢率低于男性 5% - 10%。

(3) 体型:体表面积大者散发能量也多,所以同等体重情况下瘦高者基础代谢高于矮胖者。

(4) 不同生理、病理状况的影响:孕妇的基础代谢相对较高。生病发热、甲状腺素、去甲肾上腺素等有关激素水平异常时可改变基础代谢的能量消耗。

(5) 其它因素的影响：炎热或寒冷、过多摄食、应急状态、精神紧张时、运动强度高者均可以使基础代谢水平升高，也有人把这一部分的能量消耗称为适应性生热作用 (adaptive thermogenesis)。另外，在禁食、饥饿或少食时基础代谢水平也相应降低。

(6) 尼古丁和咖啡因可以刺激基础代谢水平升高。

表 1-3 人体 24 h 静息代谢参考值 (kcal)

年 龄 (y)	体 重 (kg)								
	40	50	57	64	70	77	84	91	100
男 性									
10-18	1351	1526	1648	1771	1876	1998	2121	2243	2401
18-30	1291	1444	1551	1658	1750	1857	1964	2071	2209
30-60	1343	1459	1540	1621	1691	1772	1853	1935	2039
>60	1027	1162	1256	1351	1423	1526	1621	1716	1837
女 性									
10-18	1234	1356	1441	1527	1600	1685	1771	1856	1966
18-30	1084	1231	1334	1437	1525	1628	1731	1833	1966
30-60	1177	1264	1325	1386	1438	1499	1560	1621	1699
>60	1016	1121	1195	1268	1331	1404	1478	1552	1646

注：引自《Nutrition science and applications》(第2版)，1997：190

二、体力活动

体力活动的能量消耗又称生热效应 (thermic effect of exercise, TEE)。一般情况下人体各种体力活动所消耗的能量约占总能量消耗的 15% - 30%，是影响人体能量消耗的主要因素，也是人体能量消耗中变化最大的一部分，因此是人体控制能量消耗、保持能量平衡、维持健康最重要的部分。其消耗能量的多少主要与以下因素有关：①去脂肪组织含量 (瘦体重) 越高者，活动时消耗能量越多，因为去脂组织是代谢活性组织，脂肪组织则是相对惰性的组织；②体重越重者，做相同的运动所消耗的能量也越多；③活动时间越长、强度越大，消耗能量越多。因此，运动员体力活动的能量消耗因运动量 (包括运动强度、密度、运动持续时间) 的不同有很大差异，最大无氧运动的能量消耗是睡眠时的 20 倍以上。多数项目运动员在训练时间内的能量消耗均相当于或超出重体力、极重体力劳动强度的消耗量。

2001 年中国营养学会将我国居民活动强度由以前的 5 级调整为 3 级：即轻、中、重体力活动 (表 1-4)，表中体力活动水平 (physical activity level, PAL) 指一人一天 24 h 消耗的总能量与其基础代谢能量之比值 (又称为体力活动水平系数)，最好能达到 1.75 以上。成人能量的推荐摄入量用 BMR 乘以不同的体力活动水平系数进行计算。

表 1-4 中国营养学会建议的我国成人活动水平分级

活动水平	工作内容 举 例	PAL	
		男	女
轻	办公室工作、修理电器钟表、售货员、酒店服务员、化学实验操作、讲课等	1.55	1.56
中	学生日常活动、机动车驾驶、电工安装、车床操作、金工切割等	1.78	1.64
重	体育运动、非机械化农业劳动、炼钢、舞蹈、装卸、采矿等	2.10	1.82

注：引自《中国居民膳食营养素参考摄入量》(简要本，第1版)，2001：15

三、食物热效应

食物热效应 (thermic effect of food, TEF) 是指由于进餐后几小时内发生的超过 RMR 的能量消耗, 过去称食物特殊动力作用 (specific dynamic action, SDA)。人体在摄食过程中, 由于要对食物中营养素进行消化、吸收、代谢、转化等, 需要额外消耗能量, 同时引起体温升高和散发能量。食物特殊动力作用在进食后即可出现, 2 h 后达最高点, 3-4 h 基本恢复至进餐前的水平。

不同的产能营养素其食物热效应不等。脂肪的食物热效应约消耗本身产生能量的 4% - 5%。碳水化合物为 5% - 6%, 而蛋白质特别高, 可达 30%。一般混合食物引起的额外能量消耗为 150 - 200 kcal, 相当于总能量的 10%。出现食物特殊动力作用的原因目前仍不清楚, 一般认为有以下几方面: ①各营养素消化吸收后转化 ATP 贮存的量不一样, 蛋白为 32% - 34%, 低于脂肪和碳水化合物的 38% - 40%, 而其余的则变成热量; ②食物热应与食物营养成分、进食量和进食频率有关。一般来说, 含蛋白质丰富的食物最高, 其次是富含碳水化合物的食物, 最后才是富含脂肪的食物。③混合性食物的热效应占其基础代谢能量的 10%; 运动员的蛋白质摄入量较高, 其食物特殊动力作用高于常人, 一般按 15% 计, 吃得越多, 能量消耗也越多; ④进食快比进食慢者食物热效应高, 进食快时中枢神经系统更活跃, 激素和酶的分泌速度更快、量更多, 吸收和贮存的速率更高, 其能量消耗也相对更多。⑤消化液的分泌, 胃肠道蠕动消耗的能量也属于食物特殊动力作用。

第三节 人体能量需要及供给

一、能量需要量的测定

人体能量的需要量实际就是能量的消耗量, 通常是测定人体能量消耗的方法。主要有以下几种:

1. 直接测热法 (direct calorimetry)

基本原理是在隔热条件下, 将人体在整个能量代谢过程中散发出的所有能量统一予以测量, 其中包括人体从辐射、传导、对流以及蒸发 4 个方面散发的能量。在测定时, 使被测者进入一间隔热良好的小室中, 小室四周被水包围, 在室内做不同强度的各类活动所产生的能量被水吸收, 通过仪表可准确测量出一定时间内水的温度变化, 计算水吸收的能量, 即为人体释放的能量。该方法设备投资大, 实际工作中很少用。

2. 间接测热法 (indirect calorimetry)

(1) 呼吸商: 机体依靠呼吸功能从外界摄取氧, 以供各种物质氧化的需要, 同时也将代谢终产物 CO_2 呼出体外, 一定时间内机体的 CO_2 产量与耗 O_2 量的比值称为呼吸商 (respiratory quotient, RQ), 即: 呼吸商 = $\frac{\text{产生的 } \text{CO}_2 \text{ (ml/min)}}{\text{消耗的 } \text{O}_2 \text{ (ml/min)}}$

碳水化合物、蛋白质、脂肪氧化时, 它们的 CO_2 产量和耗 O_2 量各不相同, 三者的呼吸商也不一样, 分别为 1.0, 0.8, 0.7。在日常生活中, 人体摄入的均为混合膳食, 呼吸商在 0.7 - 1.0 之间, 若摄入食物主要是碳水化合物, 则 RQ 接近于 1.0; 若主要是脂肪,

则接近于 0.7。

(2) 食物的氧热价 (thermal equivalent of oxygen): 通常将某种营养物质氧化时, 消耗 1 L 氧所产生的能量称为该物质的氧热价, 氧热价在能量代谢方面具有重要意义。表 1-5 列出了三大产能物质的氧热价、呼吸商等指标。

表 1-5 3 种营养素的氧热价和呼吸商

营养物	耗氧量 (L/g)	CO ₂ 产量 (L/g)	氧热价 (kJ/L)	呼吸商 (RQ)
碳水化合物	0.83	0.83	21.0	1.00
蛋白质	0.95	0.76	18.8	0.80
脂肪	2.03	1.43	19.7	0.71

注: 引自《生理学》(第 4 版), 1996

间接测热法的基本原理是测定机体在一定时间内的 O₂ 耗量和 CO₂ 的产生量推算呼吸商, 根据相应的氧热价间接计算此段时间内机体的能量消耗。实际应用中, 因受试者食用的是混合膳食, 此时呼吸商相应的氧热价 (即消耗 1 L O₂ 产生的能量) 为 20.2 kJ (4.83 kcal), 只要测出一定时间内氧的消耗量即可计算出受试者在该时间内的产能量。

$$\text{产能量} = 20.2 \text{ (kJ/L)} \times \text{O}_2 \text{ (L)}$$

间接测热方法包括开放式和闭合式两种。开放式适用于测定运动时的能量消耗。具体步骤是, 先用气袋收集受试者运动过程中的呼出气, 分析其中 O₂ 和 CO₂ 的容积百分比, 从而计算出受试者单位时间内的耗 O₂ 量和 CO₂ 产生量, 求出呼吸商 (RQ), 根据呼吸商查出相应的氧热价, 将该氧热价乘以单位时间内的耗氧量, 得出产热量。某项运动的净耗能量应等于运动过程中 (运动时间和恢复期时间) 的总耗能量减去相应时间的静息耗能量。

凡运动时间极短 (几秒钟), 运动当时基本上处于闭气状态的运动项目, 在测定热能消耗时, 可以不收集运动时的呼出气体, 运动的热能完全以恢复期所消耗的能量计算。

闭合式适用于测定 BMR 和 RMR。具体步骤是, 受试者从闭合装置中摄取氧, 根据闭合装置中氧量减少的情况得出受试者单位时间内的耗 O₂ 量, 将耗 O₂ 量与 4.825 (kcal) (人体在静息状态下消耗的食物为混合食物, 其呼吸商一般为 0.82, 氧热价为 4.825 kcal) 相乘即得出 BMR 或 RMR。

3. 双标记水法 (doubly labeled water, DLW)

此法是一种测定人体在日常生活和工作环境中自由进行各种活动的总能量消耗量的测量方法。它不干扰受试者的一切正常活动。

原理: 受试者摄入一定量的双标记水 (²H¹⁸O) 后, 机体被这 2 种稳定同位素所标记。当它们在体内达到平衡时, ²H 参加 H₂O 的代谢, 其速率常数 (rate constant) KD 反映 H₂O 的代谢率; ¹⁸O 参与 H₂O 和 CO₂ 的代谢, 在 H₂O 和 CO₂ 的反应平衡时, ¹⁸O 速率常数 KO 反映 H₂O 和 CO₂ 的代谢率。KO - KD 可算出 CO₂ 的生成率。通过呼吸商 (RQ) 可计算出 CO₂ 产生量, 就可用 Weir 公式计算单位时间内平均能量消耗量 (图 1-1)。

DLW 法的优点是可测定自由活动人体一段时间 (7-15 d) 内的能量消耗量。样本收集和测定过程很简便, 实验前收集受试者少量尿样 (约 1ml) 作本底值, 喝入少量双标记水 (婴儿剂量 0.3 g/kg 体重), 约 6 h 后收集一次尿样, 然后每 1-2 d 收集一次尿样, 连续收集 8-15 d。用同位素质谱仪测定尿样 ²H 和 ¹⁸O 的丰度 (enrichment), 根据 ²H 和 ¹⁸O