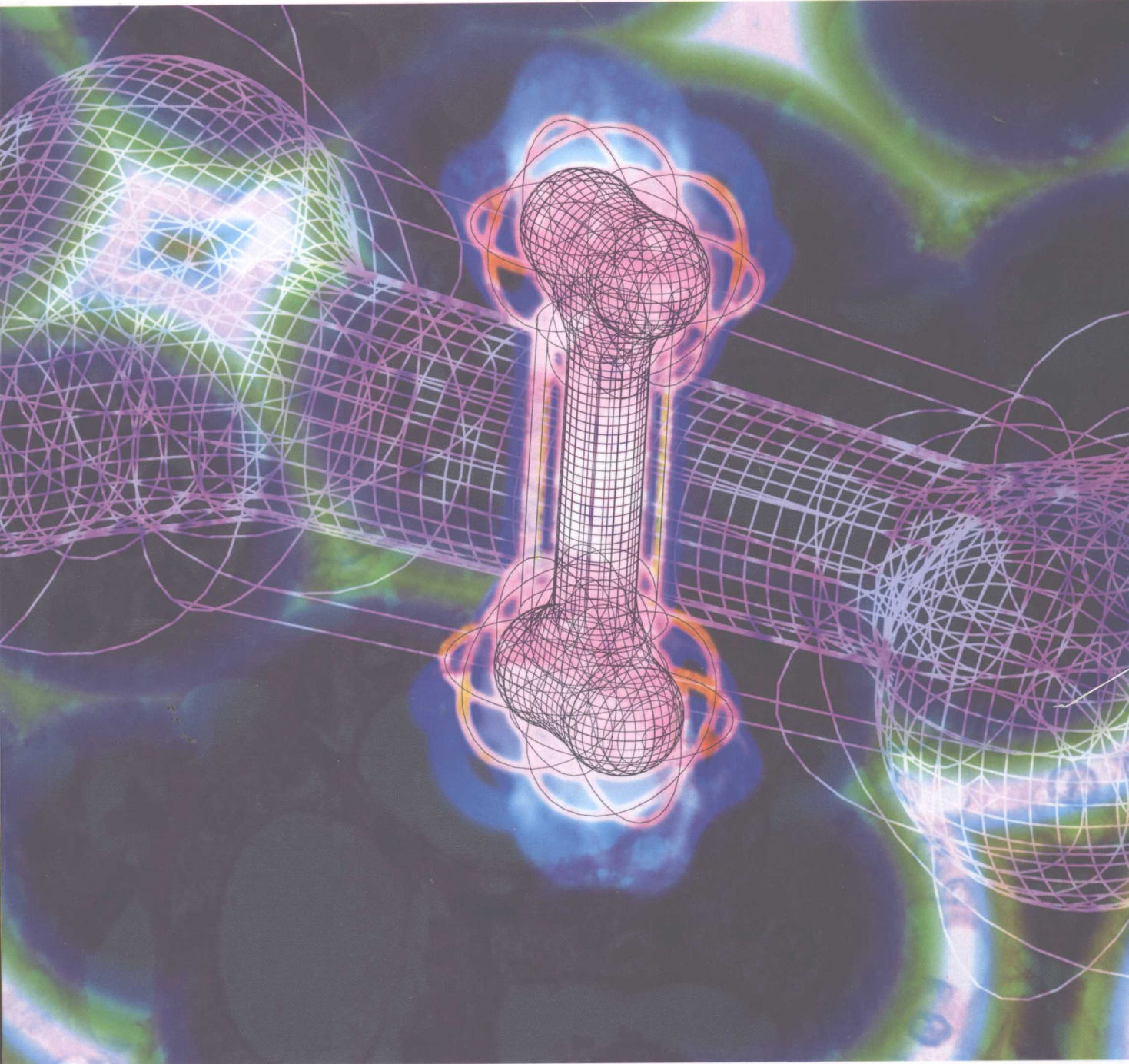


实用运动生理学

◎ 杨锡让 主编



北京体育大学出版社

实用运动生理学

(三) 肥厚性梗阻性心肌病 (NHSS)

这种罕见的疾病是引起猝死的重要原因。它是一种遗传性疾病，特点为左心室舒张，但原因不明。患者多无症状，可与运动员的心脏增大相区别。当室间隔厚度达15毫米或以上，即为肥厚性梗阻性心肌病。这一变化往往要到成年后期，才可看出来。可以证明，在运动中，约有一半左右的人死于猝死。这类患者，即使赛前

主 编 杨锡让

副主编 张问礼

王蕴红

五、运动性心脏猝死的原因

林焯-李取主-限主限益.重...第 II...卷 I

人体在进行强度较大的体育锻炼或激烈的比赛和运动时，体内代谢速率加快，心输出量增加，心率显著增高，血液流速加快，冠状动脉血流受阻。心肌代谢产物堆积，微结构因运动应激亦发生变化，心肌缺血如超过30分钟就会导致坏死。冠状动脉痉挛、研究说明，运动时心肌钙离子浓度的变化，可引起心肌的代谢性坏死；血中儿茶酚胺浓度的增高亦可诱发心律失常和心肌缺血，而因运动引起严重的心律失常，会引起心脏骤停或心肌梗死，使冠状动脉猝死。此外，运动后立即洗热水澡或淋浴或吸烟，都会使心脏发生异常的心律失常和心肌代谢的紊乱。

四、运动性心脏猝死及其他原因猝死

运动中发生脑血管意外，主要为脑血管畸形、动脉瘤、高血压、脑血管痉挛所致。少数还可见到的是脑血栓、脑栓塞。

其他原因如支气管炎肺炎、先天性单侧肾上腺发育不全、肾上腺机能不全、因进食不当导致呕吐，导致食物进入气管而引起窒息等。运动中发生猝死的原因，除上述因素外，近十年来虽因运动训练的强度增加，但猝死发生率减少，这可能与心脏性猝死的另一个原因，并且尚有发生，所以在热环境中运动，尤其是在长跑和短跑项目（尤其是长跑和短跑项目），由于长时间剧烈运动，导致死亡。最近的研究完全健康的人群中，Murphy (1984) 报告：美国运动医学协会10年内，因中暑死亡者中，该警惕的情况是，有时由于参赛者求胜心切，在气候由近日渐近闷热，或突然降温了一些中暑的先兆症状而发生中暑，甚至死亡。

责任编辑 冯唐工作室
审稿编辑 熊西北
责任校对 冯唐工作室
责任印制 陈莎

图书在版编目(CIP)数据

实用运动生理学/杨锡让主编. - 北京:北京体育大学出版社,2007.7

ISBN 978 - 7 - 81100 - 538 - 7

I. 实… II. 杨… III. 运动生理 - 生理学 - 教材
IV. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 074005 号

实用运动生理学

杨锡让 主编

出版 北京体育大学出版社
地址 北京海淀区中关村北大街
网址 www.bsup.cn
邮编 100084
发行 新华书店总店北京发行所经销
印刷 北京市昌平阳坊精工印刷厂
开本 850 × 1168 毫米 1/16
印张 21

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 2300 册

定价 55.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

实用运动生理学编写成员

(以姓氏笔划为序)

王蕴红 博士·首都体育学院副教授

张问礼 北京体育大学教授

聂金雷 博士

范炬明 成都体育学院教授

杨锡让 北京体育大学教授

编者的话

本书的作者有三位是五十年代的老运动生理工作者，有两位是在教学和科研一线的年轻教师，我们坐到一起，反思从事运动生理教学的经历，扪心自问，总是感到有所困惑，有所遗憾。究其原因，就是我们以前所写的教材内容与运动实际有较大差距。

20多年来，我们也作过一些努力，例如：杨锡让同志在1983年就出版过一本“应用运动生理”的小书，还特别冠以“应用”二字。范炬明同志在80年代根据自己运动实践的体会，也编写了自选教材。在1986年杨锡让又与张问礼等同事一起编写了《实用运动生理学》，我们认为这本书相对的有所进步，比较受欢迎，一直沿用到九十年代末期，还作为考研究生的参考教材，但是反思冠以“实用”，其实距离真正的用，还很遥远。

近些年，在科学技术飞跃发展的今天，为了让使用者有更多的选择余地，我们的同事最近出版了不同特色的运动生理学，确实值得可喜可贺。在大好形势下，我们希望通过我们的努力，使这本教材真正能做到三能三有（三能：教师能教；学生能懂；读者能用。三有：有理论；有实践；有突破），从而对运动技术学科的研究生，真正能起到对运动生理的理论学习，对本专业的实践起到桥梁和指导作用。尽管我们有良好的愿望，但是限于我们的水平，在编写过程中，不足之处在所难免，祈望给予指正。

编者

2005年3月1日

目 录

第一篇 运动生理学是科学训练的重要内涵	(1)
第一章 运动训练与运动生理	(2)
第一节 运动活动的最终执行者是肌肉	(2)
第二节 运动活动的能量供应与心肺功能	(3)
第二章 运动训练对人体作用的生理规律	(6)
第一节 科学训练必须遵循人体运动时的一般规律	(6)
第二节 运动训练中的过度训练	(8)
第三章 科学训练的实施	(10)
第一节 科学训练目标的确立	(10)
第二节 科学训练的原理	(11)
第三节 训练效果的评定方法	(16)
第二篇 运动员的选材	(20)
第一章 运动员的专项选材年龄	(21)
第一节 不同专项的选材年龄和选材阶段	(21)
第二节 选材的方法和阶段	(24)
第二章 身体素质遗传性的实验研究以及专项选材必测项目	(26)
第一节 对某些身体素质遗传性的实验研究	(26)
第二节 不同专项选材时的必测项目	(30)
第三篇 运动训练状态	(34)
第一章 运动训练与生理应激	(35)
第一节 概 述	(35)
第二节 近代生理学对生理应激的解释及机制的研究	(36)
第三节 应激与适应	(37)
第二章 训练或比赛的生理反应和准备活动	(40)
第一节 比赛前静止状态下的生理反应	(40)
第二节 训练或比赛前的准备	(41)
第三章 训练或比赛开始后人体机能的动员和适应过程	(44)
第一节 运动的快速反应	(44)
第二节 对运动的长期生理适应	(47)
第四章 运动性疲劳	(51)

第一节	运动性疲劳的发生机制	(51)
第二节	运动性疲劳的判断	(54)
第四篇	运动训练辅助手段	(59)
第一章	运动训练辅助手段	(60)
第一节	机械学和生物力学辅助手段	(60)
第二节	营养学辅助手段	(65)
第三节	生理和物理学辅助手段	(70)
第四节	心理学辅助手段	(72)
第五节	药理学辅助手段	(74)
第二章	补充碳水化合物对运动训练作用的再认识	(81)
第一节	碳水化合物在运动训练和恢复中的作用	(81)
第二节	运动与碳水化合物的补充	(85)
第五篇	运动训练的恢复	(92)
第一章	运动训练与恢复的基本理论	(93)
第一节	训练与恢复的基本理论	(93)
第二节	运动员恢复适应的评定概述	(96)
第三节	运动员恢复状况的评定	(98)
第二章	根据恢复情况决定训练	(102)
第一节	运动量的评定	(102)
第二节	根据运动员恢复状况进行训练的应用举例	(104)
第三节	营养物质补充对运动后恢复的促进作用	(105)
第六篇	运动员的停训和比赛前的调整	(109)
第一章	停 训	(110)
第一节	停训对运动能力的影响	(110)
第二节	停训对心肺功能的影响	(112)
第二章	赛前的训练减量	(115)
第一节	训练减量对身体机能运动能力的影响	(115)
第二节	训练减量的原则	(116)
第七篇	运动员的身体成分与运动成绩	(120)
第一章	运动员身体成分的特点	(121)
第一节	运动员身体成分的特点	(121)
第二节	运动员身体成分的测定方法	(123)
第二章	运动员体重控制	(129)
第一节	运动员体重控制的分类与方法	(129)
第二节	运动员快速减体重时机体的变化和快速减重的原则	(130)
第三节	运动员长期控制体重	(132)

第八篇 运动训练的生理监控	(136)
第一章 运动训练生理监控的原则及设计思路	(137)
第二章 心率指标在运动训练监控中的应用	(139)
第一节 心率监测的历史发展过程	(139)
第二节 利用心率指标进行运动训练监控的具体方法	(139)
第三节 影响心率指标监控准确性的因素	(143)
第四节 心率指标监控过度训练	(145)
第三章 血乳酸指标在运动训练监控中的应用	(146)
第一节 概 念	(146)
第二节 乳酸阈值在运动实践中的意义	(147)
第三节 血乳酸反应曲线的测定	(148)
第四节 利用血乳酸指标对训练监测的示例	(150)
第五节 基于血乳酸数据的训练计划	(150)
第四章 尿蛋白测定在运动训练监控中的应用	(157)
第一节 运动性尿蛋白的概念	(157)
第二节 影响运动性尿蛋白的因素	(158)
第三节 蛋白尿等指标在运动训练监控中的应用	(160)
第五章 最大摄氧量指标的间接测定及其应用	(161)
第一节 最大摄氧量指标的意义及其影响因素	(161)
第二节 最大摄氧量指标的间接测定及其应用	(162)
第六章 运动训练负荷监控的其他指标简介	(163)
第七章 运动训练生理监控的实例分析	(166)
第九篇 运动训练与特殊环境	(172)
第一章 运动训练与特殊环境	(173)
第一节 人与环境概述	(173)
第二节 体温调节、环境和运动	(174)
第三节 在热环境中运动	(178)
第四节 在冷环境中运动	(181)
第五节 环境污染与运动	(184)
第二章 生物钟与运动	(186)
第一节 生物钟节律与运动能力	(186)
第二节 人体体能的近似生物钟昼夜节律特征	(187)
第十篇 运动体适能的生理学分析之一	(191)
第一章 运动技能与身体素质的关系	(192)
第二章 力 量	(193)
第一节 力量的概念和分类	(193)
第二节 与力量有关的运动生理学基本理论	(195)
第三节 影响力量发展的生物学因素	(199)
第四节 发展肌肉力量的训练方法	(201)
第五节 力量训练计划的制定	(204)

第三章 爆发力	(206)
第一节 爆发力概念和影响爆发力的生理因素	(206)
第二节 爆发力测验方式	(207)
第十一篇 运动体适能的生理学分析之二	(209)
第一章 长距离耐力训练的生理学分析	(210)
第一节 无氧耐力的生物学基础	(210)
第二节 有氧耐力的生物学基础	(211)
第三节 发展一般耐力和专项耐力的方法	(213)
第四节 有氧与无氧耐力训练的生理学分析	(215)
第五节 耐力素质的评价方法	(217)
第二章 速度训练的生理学分析	(220)
第一节 速度素质的概念及分类	(220)
第二节 速度素质训练的生化生理特点	(221)
第三节 反应速度的影响因素及训练方法	(223)
第四节 动作速度的影响因素及训练方法	(224)
第五节 周期性运动中的位移速度	(225)
第六节 速度与力量的关系及训练方法	(226)
第七节 速度素质的测验与评定	(227)
第八节 提高速度素质训练的原则及训练方法	(228)
第十二篇 运动体适能的生理学分析之三	(233)
第一章 柔韧素质	(234)
第一节 关节结构的生物学基础	(234)
第二节 发展柔韧素质的训练方法	(235)
第三节 柔韧素质的评价方法	(236)
第二章 灵敏	(238)
第一节 灵敏素质的生物学基础	(238)
第二节 发展灵敏素质的训练方法	(239)
第三节 灵敏素质的测试方法	(240)
第三章 平衡	(243)
第一节 平衡的概念和分类	(243)
第二节 维持平衡的器官	(243)
第三节 平衡能力的评估	(245)
第四节 提高平衡能力的训练方法	(246)
第四章 协调	(247)
第一节 协调的概念和影响协调素质的因素	(247)
第二节 提高协调素质的方法	(248)
第三节 协调素质的测试方法	(248)
第五章 反应	(250)

第十三篇 运动训练方法的生理学分析	(253)
第一章 特殊环境训练法	(254)
第一节 高住低练训练法	(254)
第二节 间歇性低氧训练法	(255)
第二章 运动训练法的传统分类	(256)
第一节 间歇训练法	(256)
第二节 持续训练法与重复训练法	(257)
第三章 改变运动技术难度的训练法	(259)
第一节 降低技术难度训练法	(259)
第二节 相似技术训练法	(260)
第四章 其他训练方法	(261)
第一节 运动训练的心理学说方法	(261)
第二节 反馈训练法	(262)
第三节 模拟训练法	(263)
第十四篇 儿童少年运动训练的生理学	(266)
第一章 儿童少年的生长发育	(267)
第一节 儿童少年生长发育的一般规律	(267)
第二节 影响生长发育的因素	(269)
第三节 青春期生长发育的特点	(272)
第四节 儿童少年发育程度的评定和发育类型	(274)
第五节 儿童少年结构、功能特征和运动训练	(279)
第二章 儿童少年的性别差异与运动能力	(285)
第一节 运动能力的性别差异	(285)
第二节 女子月经周期问题	(287)
第十五篇 健康体适能的生理学基础	(291)
第一章 身体活动与健康体适能	(292)
第一节 身体活动与健康	(292)
第二节 运动锻炼的潜在危险及其预防	(297)
第二章 健身运动的一般原则以及训练计划的制定	(303)
第一节 健身运动的训练原则	(303)
第二节 提高心肺功能的训练原则	(305)
第三节 柔韧性和肌肉力量的训练原则	(312)
第十六篇 运动中几个需要关注的问题	(317)
第一节 运动瘾	(318)
第二节 延迟性肌肉酸痛的防治新进展	(318)
第三节 过度训练新解	(320)
第四节 运动性猝死	(323)

第 1 篇

运动生理学是科学训练的重要内涵

内容概述：

科学训练、科学选材和科学管理是当前影响竞技运动提高的三大要素，运动实践证明，只有将运动生理学与科学训练密切结合，才可能在竞技体育中，达到世界先进水平。运动生理学与科学训练的相关之处可以概括为以下几个方面：1. 运动生理学是科学训练的生物学基础；2. 研究运动员的生理极限和潜能；3. 为教练员提供科学训练方法的理论依据；4. 监控运动员在最大强度训练时的生理反应；5. 评价运动员的体能和训练水平；6. 提供科学选材的生理学方法；7. 阐明在特殊环境下运动员的生理反应和提供相应对策。

第一章 运动训练与运动生理

教练员的工作对象是运动员，了解运动员人体的一般生理机能，是对教练员的基本要求。从竞技运动的视角出发，学习生理学知识，更深层次地提出一些新的认识，是实用运动生理学发展的方向。

第一节 运动活动的最终执行者是肌肉

一、肌肉力量

一般来说，肌肉体积越大，力量就越大，但两者的关系却并不成正比。有的人肌肉很发达，运动起来却使不上劲，而有的人看起来较瘦，却力量较大，这是因为不同的力量训练会造成不同的训练的结果。所谓肌肉发达，实际上是肌细胞数量多、体积大，每块肌肉中含有一定数量的肌纤维。肌肉收缩就是靠这些肌纤维的相互滑动实现的。每个肌节中含有两种类型的肌原纤维，分别是粗肌丝和细肌丝。粗肌丝在肌节的中间，保持不动，细肌丝固定在肌节的两端。在肌肉收缩时，即肌肉的长度缩短时，两种肌原纤维的长度都保持不变，是细肌丝向粗肌丝内滑行，于是整个肌节的长度就缩短了，由于各个肌节的缩短，整块肌肉也缩短了。当细肌丝滑到粗肌丝的中间时，就再也无法移动，肌肉收缩也就达到了最大幅度。因此，一块肌肉不能无限缩短。

人体的肌肉力量是可以控制的，当全力以赴参加运动时，就可以动员足够多的肌细胞和细胞中的肌原纤维收缩。每个肌细胞的活动都严格受神经控制，当神经的冲动传来时，神经末梢释放一种叫乙酰胆碱的化学物质，后者作用到肌细胞膜，使肌细胞也产生一种与神经冲动类似的电信号，这种电信号进入肌细胞内部，使内部一些贮存钙离子的钙库释放钙离子。正是这些钙离子作用于细肌丝，使细肌丝向粗肌丝中央滑动，产生收缩缩短肌节。同时钙离子的结合使细胞内贮存能量的能量物质 ATP（三磷酸腺苷）分解，释放的能量一部分转化为收缩的机械能，另一部分作为热能释放出来，后者就是我们活动时身体发热的原因，所以准备活动又叫做热身运动（warm-up）。如果一个运动员在赛前特别紧张，还没有等到比赛开始就已经以产热的方式把能量消耗掉了，就等于他是在一定疲劳状态下参加比赛的。科学训练就是为了让运动员通过热身活动，使身体在赛前处于最佳温度的环境中进行运动，这就大大节省了能量。

人体的肌细胞在每次训练时并不能全部动员起来，有多少肌细胞参与到收缩中去，决定于中枢来的神经冲动的强弱和多少。实验证明，当采用频率高、强度大的电流刺激一块肌肉，可以产生相当大的收缩力量，而这一力量在平时是根本无法达到的。人的潜在力量是相当大的，如果我们能在正常状态下把每一个肌细胞都调动起来，把每根肌纤维都动员起来，那将产生巨大的力量。

二、肌肉的协调性

肌肉的协调性是指人体能够准确、灵活、全身各部分配合协调地完成动作的能力。一般用笨手笨脚来形容动作不协调、不准确、不灵活的人，用心心灵手巧、动作优美来形容动作精确协调的人。人体的肌肉到底有多精巧？有的运动员跳跃起来可在空中完成很多动作，美国篮球运动员约翰逊能使手中的篮球变幻莫测，故有魔术师之雅号；体操运动员可以灵巧地在平衡木、高低杠间飞跃翻腾；射击运动员能够指挥手指扣动扳机准确命中 10 环；艺术体操运动员能够高难度地抛接彩带、球、火棒、绳、圈，并以舞蹈形式完成比赛，通常把舞蹈又称为形体语言，这再形象不过了。这都是肌肉协调性的具体表现。

肌肉收缩是由大脑支配的，但并不是像一根电缆一样从大脑皮层连到肌肉，大脑皮层的运动神经元支配的只是脊髓中的专管运动的神经元，后者才是肌肉的直接支配者。这些神经元也并非全权管理，而是每个神经元都固定地支配一定数量的肌细胞，我们习惯上把一个运动神经元和它支配的一组肌细胞称为一个运动单位。不同部位运动单位的大小是不同的，眼球上的肌肉一个神经元支配 10 个肌细胞，而在小腿上的肌肉中一个神经元支配 1000 个肌细胞。当一个神经元兴奋时，它所支配的所有肌细胞都收缩。当轻微用力时，只有少数的神经元兴奋，如果一块肌肉的所有运动单位都万众一心，参与收缩，其力量是惊人的。究竟哪些运动神经元在什么时候兴奋，是有规律的，这个规律叫体积原则。脊髓中的运动神经元体积有大小不同，小神经元最容易被调动，因此最先使用和最常使用。而大的神经元只在急需时才被调用，且最少使用，或者在最大用力时才使用，可以说任何动作的协调性都是在中枢神经系统指挥下，通过复杂的反射，最后由肌肉完成的，也是神经支配作用肌和拮抗肌协调收缩的结果。

在运动训练中协调性分为一般协调性和专项协调性，一般协调性是人体完成简单动作时所需要的基本能力，而专项协调性是完成专项运动动作的专项协调能力，具体表现为能快速、准确、省力、流畅地做动作，可以说一般协调性是专项协调性的基础。评定协调性好坏，可以从三个方面考虑：动作的难度（对非周期性难度大的动作掌握好，则协调性好）；动作的准确性（用力时间、角度都恰到好处、动作省力又准确、则协调性好）和掌握动作的时间（学习动作掌握快，则协调性好）。

第二节 运动活动的能量供应与心肺功能

一、能量供应

肌肉活动需要能量，ATP 是肌肉收缩产生运动的直接能源。

平时肌细胞中就产生了一部分 ATP 贮存在那儿，一旦运动开始，马上就可以分解使用，这样就保证了身体随时都可以立即进入运动状态（图 1-1）。

ATP 的贮备量并不大，但由于供应即时快速，可保证大量肌纤维的即刻同时需要。因此，它能使运动员随时产生巨大的爆发力和快速的运动，如短距离跑步和游泳时，发令枪一响，所有运动员如离弦之箭冲出去，以取得最大的初速度。当运动时间延长时，库存 ATP 就不够用了，必须由糖原分解生成新的 ATP。在心肺还没有来得及动员起来为肌肉送来充分的氧气之前，无氧酵解过程很快就发生了。虽然酵解产生的能量不多，但发生得非常快，在短时间产生足够的 ATP，以补充消耗。但是伴随无氧酵解随之而来的是大量的乳酸累积，乳酸的累积反过来抑制糖原的进一步分解。因此，这种能量供应也是十分有限的。运动时间再延长时，则需要充分的氧气供应。这时人体心跳已经加

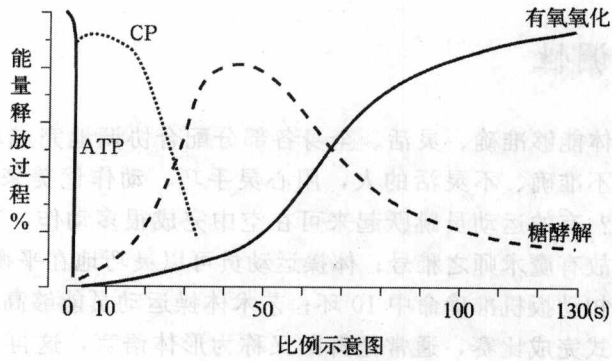


图 1-1 运动时三个供能系统供能百分比与时间的关系

(引自 Kuel 1972)

快，呼吸又深又急。继消耗贮存的 ATP 和糖原无氧酵解后，人体能量的供应靠有氧氧化提供。有氧氧化可以持续地产生大量的能量，以支持长久的运动需要。平时的活动都是靠有氧氧化来供能，作为有氧氧化供能最典型的例子是心脏和大脑。心脏从出生到死亡不停地跳动，就是靠有氧代谢供给能量，冠心病患者的冠状动脉发生狭窄时，血氧供应不足，会立即发生心绞痛。理论上讲，有氧代谢可以产生大量的 ATP，只要有足够多的氧气和糖，就可以长久维持高强度的运动。库存的 ATP 效能强大，却数量有限，有氧的氧化能量虽多，却效率有限（表 1-1、1-2）。

表 1-1 不同运动时间无氧和有氧的功能所占比例 (%)

全力运动的时间	无氧代谢供能%	有氧代谢供能%
10 秒	87	13
1 分	60	40
2 分	40	60
5 分	20	80
10 分	9	91
30 分	3	97
60 分	1	99

(引自 Gollnick 1973)

表 1-2 竞赛运动的能量分配百分数

项目	时间 (分: 秒)	磷酸原%	磷酸原%+糖酵解%	有氧代谢%
马拉松	135:00-180:00	—	5	95
10000m	30:00-50:00	5	15	80
5000m	15:00-25:00	10	20	70
3000m	10:00-16:00	20	40	40
1500m	4:00-6:00	20	55	25
800m	2:00-3:00	30	65	5
400m	1:00-1:30	80	15	5
200m	0:22-0:35	98	2	—
100m	0:10-0:15	98	2	—

(引自 Fox 1989)

二、心肺机能

影响运动的另一个因素是心肺机能。当人们在短跑运动时想跑快却跑不快，是因为肌肉缺乏锻

炼，不太听使唤，跑步后有些酸痛；在长跑时还能够跑却不想跑，因为上气不接下气，憋得受不了。当全身大量肌肉都动员做功时，对血液和氧气需求几十倍地增加，对于习惯于每分钟跳 76 次的心脏来说，增加一倍是 152 次，增加两倍就是 200 多次。呼吸也一样，正常情况下每分钟呼吸 16 次，增加 3 倍是 48 次，人体就会感到难受和痛苦。显然，在心跳和呼吸的频率上挖掘运动的潜力十分有限，而决定心输出量和呼吸空气体积的另两个重要因素——每搏输出量和肺活量，此时就发挥出其重要的作用。每搏输出量指心脏每收缩一次时一侧心室射向血管的血液量。肺活量指最大用力吸气后再尽可能呼出的气体量，实际上就是最大呼吸深度。每搏输出量与心率的乘积就是每分钟输出量，这个指标可以很好地反应心脏的工作能力。呼吸的计算稍复杂一些，因为气体必须吸进肺中才能把氧气交给血液，也才算有效，而有一部分新鲜空气虽然进了鼻孔，却停留在气管中，没有发挥作用。同样，当呼气时，最后呼出是肺深部的废气，是缺乏氧气的废气，这部分气体最终停留在气管中不能排出，当再次吸气时，又最先进入肺中。这部分空气始终在总的呼吸气体中占一个固定数量。如果呼吸深，这部分气体的相对数量就减小，有效呼吸气体就增多；相反，如果呼吸浅，这部分气体的相对数量就增大，有效呼吸气体量就减小。显然，深而慢的呼吸比浅而快呼吸来得经济实惠，又深又快的呼吸非常有效，又浅又快的呼吸就是浪费。如果呼吸浅到只能将呼气时气管中残留的废气吸入，虽然表面上看呼吸仍在进行，实际上已经完全无效。不过不用担心，我们的机体绝不会容许这样的事情发生。身体对心跳和呼吸有一系列相当复杂而精巧的控制机制。

首先是神经因素，大脑的兴奋会刺激心跳、呼吸加快，大脑的运动意识会刺激延髓的呼吸中枢和心血管中枢，让它们预先活动起来，使其同时加入运动，但这不是主要因素。主要因素是化学控制。运动时肌肉酵解产生的乳酸会很快进入血液，肌肉氧化时产生的二氧化碳使血液中二氧化碳浓度迅速攀升，氧气的消耗也使血液中氧气下降，这三个因素加在一起，刺激动脉血管壁上的化学感受器兴奋通过神经传到脑内的呼吸中枢和心血管中枢，再从中枢发出兴奋信号，经神经传到心肌和呼吸肌，加强其收缩力量，加快其活动节奏。血液中二氧化碳的浓度和乳酸的浓度越高，其刺激作用越大。至于氧气浓度的影响并不大，因为其它机制足以维持血中氧气的浓度不发生大的变化。

这里很容易产生一种误导，以为体内的二氧化碳是代谢的废物，用力呼气把它尽可能地排出去不是很好吗？实际上这种想法是错误的。正常呼吸的维持，恰恰依赖于血液中一定量的二氧化碳的刺激。如果没有了这种刺激作用，呼吸就不会进行了。你可以试验一下，用力吸气后再用力呼气，尽可能长、尽可能深地呼气，然后会发生什么呢？用力呼气后本应立即吸气，可是呼吸却停顿了一下才恢复下一次的呼吸！这就是因为体内二氧化碳的浓度太低，要等到新的二氧化碳产生出来，提高了血液中的浓度时，才能刺激下一次的呼吸。运动中的这种配合就是如此的精妙绝伦。

第二章 运动训练对人体作用的生理规律

运动训练对人体良性作用的生理学本质，主要是以“超量补偿”原理为依据。

第一节 科学训练必须遵循人体运动时的一般规律

运动训练实际上是一个反复进行的身体结构与机能的破坏和重建过程。通过身体活动负荷，消耗大量物质，引起微细结构产生某种程度损伤以及造成内环境紊乱等。然后在恢复期，利用机体所具有的适应性特点，进行结构与机能的重建，使得运动能力得到一定改善，再次接受同样刺激时身体反应会变小。但身体活动后结构与机能的重建需要一定的时间过程。若在恢复不完全情况下进行下一次身体活动，这时机体尚未完成重建过程，不仅不会提高运动能力，还会加重微细结构的损伤程度，使运动能力进一步下降，甚至导致过度训练。如果有足够的恢复时间，身体则可以得到超量补偿，这才是科学训练的目的。

一般来说运动员在训练时要经过六个阶段：负荷刺激—耐受—疲劳—恢复—超量补偿—消退。

一、疲劳 (fatigue)

随着身体活动持续进行，机能能力会逐渐降低，即出现疲劳现象。锻炼者在身体活动过程中达到何种疲劳程度，完全取决于身体活动的强度、量和时间。因为惟有机体达到一定程度的疲劳，在恢复期才能发生结构与机能的重建，运动能力才能不断提高。

疲劳程度主要取决于：第一、身体机能从上次训练后的恢复情况：恢复越充分，疲劳出现得越晚，疲劳程度也相对较浅，反之亦然；第二、身体活动安排的强度与密度：强度越大，密度越大，疲劳出现得相对较早，疲劳程度也相对较深；第三、身体活动安排的负荷总量和负荷类型等：负荷总量一般与疲劳程度成比例，复杂活动负荷较之简单活动负荷疲劳程度一般相对较深。

运动训练有着不同种类的疲劳，常见的分类有：体力性疲劳和心理性疲劳；一次大运动量课后的快速疲劳和长时间运动的慢性疲劳；以及动力性运动的疲劳和静力性运动的疲劳。了解疲劳的不同性质才能确切的诊断和找出消除疲劳的措施。

在疲劳理论方面，教练员也应当知道疲劳与训练的辩证关系：疲劳是生理机能的警戒线，是保护性抑制，疲劳的慢性积累可导致过劳，主观感觉疲劳不能真正代表疲劳，疲劳阈值有很大的个体差异，自然环境与社会环境会干扰疲劳，疲劳与受伤往往呈线性关系等。

对运动性疲劳进行早期诊断很重要，其表现主要有：头晕眼花、腿发软、口发干、思想不集中、易烦躁、动作质量下降、颤抖、无力感、面色和皮肤的变化以及肌肉硬度增加等。祖国的传统中医学对运动性疲劳的诊断有独到之处，通过对运动员的望、闻、问、切和中医辨证，对疲劳的诊断和预防有一定的指导作用，教练员和队医可作为对运动员医务监督的相关参考。

另外，从运动性疲劳的全过程来看，似乎有这样的规律，即运动性疲劳的2—1—3规律，也可以作为教练员在科学训练过程中的参考。2是指疲劳的两个点：开始点（疲劳的起始）和终止点（疲

劳到力竭)；1是指疲劳的两点一线：疲劳是动态的一条线；3是指疲劳的三个阶段：疲劳初起阶段，疲劳增强阶段和疲劳力竭阶段。

二、恢复(recovery)

运动训练对有机体不仅具有应激性，更重要的是，能使机体在疲劳以后得到快速地恢复。实际上，在每次训练课的后半程，身体已经进入了轻微的恢复，等到训练全部结束，则进入全面的恢复阶段。此时，机体开始补充所消耗的能量物质，修复所受到的损伤并恢复紊乱的内环境。恢复所需要的时间主要取决于疲劳程度，疲劳程度越深，恢复所需要的时间越长。

(一) 恢复的主要意义

1. 身体活动后机体如果得不到足够的恢复，就根本不可能产生超量补偿的锻炼效果；
2. 锻炼者在身体活动后的恢复速率，决定着下一次身体训练的具体安排；
3. 身体活动后连续恢复不足，会造成过度疲劳，严重者甚至会导致各种运动性伤病。在每次运动训练后，必须留有足够时间使得机体能够消除疲劳、恢复和增强体能。可见，运动能力的改善不仅取决于身体活动的安排，而且取决于恢复是否适宜，唯有两者适宜结合，才能使身体活动效果最佳化。

每次身体活动后都会产生疲劳以及代谢产物的积累，因此，身体活动后的恢复至少牵涉到三方面的任务：第一、补充身体活动课中所消耗的能量物质；第二、清除积累的代谢产物；第三、修复身体活动中损伤的组织。因此，科学训练就应注意采取各种有效措施，尽快消除活动后产生的疲劳，保证下一次训练活动的正常进行。

(二) 恢复是科学训练的核心问题

进行科学训练必须抓住恢复这个核心问题，因为加大运动量很容易，只要教练员一声命令，运动员就必须去完成训练量，但是训练后的第二天运动员都爬不起来了，无法进行正常训练这显然是在蛮干，因此必须讲究科学训练的恢复。运动后的恢复应注意以下几点：

1. 注意在训练课后安排有针对性的整理活动，整理活动属于积极性恢复，很多实验证明能加速疲劳的消除速率。一般包括一些低强度活动以及伸展性练习。身体活动未进行的这些活动，无论对于锻炼者的生理恢复或心理的恢复，都大有裨益。

2. 注意身体活动后的营养补充。在长时间的大强度身体活动后，应注意蛋白质的补充，以利于组织的修复与重建。摄入富含复合糖的饮食可加快肌糖原的合成速率。生理机能的恢复速率极大地取决于活动中所消耗的能量物质的重新合成。磷酸肌酸恢复速率非常快，而肌糖原恢复速率以及受损伤肌肉的修复则要慢得多，结缔组织(肌腱)以及支持组织(韧带)的恢复速度慢需要的时间最长，循环器官的恢复速度适中。通过分析不同系统的恢复速率，目的在于采取恢复措施时，应注重促进那些恢复速率最慢的系统。

3. 采取各种辅助手段加速恢复，由于竞技运动的训练强度大，单凭活动后的“自然”恢复已经远远不够，而必须采取某些人为的加速恢复的措施。人们经常采取的恢复措施，包括在运动活动过程中进行的积极性休息以及肌肉群轮流工作，进行心理放松技术，以及身体活动后采取的其它措施如红外照射、物理按摩、冷热交替浴/淋浴、水中漂浮放松以及饮食等手段。

综述所谓恢复，实际上意味着给予机体足够的时间，使运动员在身体活动后进行结构与机能的重建，以便随后承担更大的身体活动负荷。因此对一位有水平的教练员来说，运动训练是一门高超的科学艺术。