



运动生物化学： 理论与应用

付丽娟◎著



延边大学出版社



运动生物化学：理论与应用

付丽娟◎著

延边大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

运动生物化学：理论与应用 / 付丽娟著. — 延吉：
延边大学出版社，2018.11

ISBN 978-7-5688-6371-1

I. ①运… II. ①付… III. ①运动生物化学 IV.
① G804.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 257156 号

运动生物化学：理论与应用

著 者：付丽娟

责任编辑：金周成

封面设计：博图天下

出版发行：延边大学出版社

社 址：吉林省延吉市公园路 977 号

邮 编：133002

社 址：<http://www.ydcbs.com>

E-mail: ydcbs@ydcbs.com

电 话：0433-2732435

传 真：0433-2732434

制 作：山东延大兴业文化传媒有限责任公司

印 刷：延边延大兴业数码印务有限责任公司

开 本：710×1000 毫米 1/16

印 张：8

字 数：110 千字

版 次：2019 年 6 月第 1 版

印 次：2019 年 6 月第 1 次

书 号：ISBN 978-7-5688-6371-1

定 价：38.00 元



作者简介

付丽娟（1983·10—）

女，吉林长春人，现就职于吉林体育学院，毕业于吉林大学物理化学专业，博士研究生学历，讲师职称。研究方向：运动生物化学、运动生物力学、运动训练监控，承担吉林体育学院自主创新基金项目1项，参与国家重点研发计划课题1项，国家自然科学基金面上项目2项，国家体育总局奥运科技攻关项目7项，吉林省科技发展计划项目1项，发表学术论文18篇，其中SCI收录11篇，曾于2012—2014年赴芬兰从事两年的博士后研究工作。



前言

运动生物化学是生物化学中的一个分支,是一种关于体育科学的学科,同时是体育科学的应用基础。人体运动能力可以应用物理学、化学和生物学进行分析,从分子水平认识生物机体在运动时的化学组成和化学变化及能量转化。因此,应用生物化学是生命机体不可或缺的表现形式,是人类生存精神的一种物化体现,应用运动生物化学可以有效提高生命的质量、生存的质量和生活的质量。

在实际生活中,我们可以发现人的运动能力各不相同,因此,我们需要从运动生物化学的角度研究人体运动的奥妙。本书对运动生物化学进行了深刻的研究,突出了前瞻性、应用性和生动性,内容涵盖了运动生物化学的研究进展、运动生物化学的课程体系、运动生物化学的教学手段与方法、运动生物化学实验教学及理论的应用。此外,在论述过程中采用了相关案例及数据,可以使读者更加清楚地了解运动生物化学。由于本书重点阐述了运动生物化学的理论基础,因此,可以作为运动生物化学的入门基础读物。希望本书可以帮助广大读者正确认识运动生物化学,有效地提高运动能力,健康生活。

本书由吉林体育学院付丽娟著,在著作过程中,查阅了大量国内外的最新研究成果、文献资料,借鉴了部分专家学者和前辈们的经验及著作,在此特向他们表示由衷的感谢!由于时间仓促,加之笔者精力有限,书中难免出现不足之处,望广大读者谅解,期待您的宝贵意见。



目 录

第一章 运动生物化学概述..... 1

第一节 运动生物化学的研究理论..... 2

第二节 运动生物化学的研究内容..... 4

第三节 运动生物化学的作用..... 8

第四节 运动生物化学的研究任务..... 11

第二章 运动生物化学研究的进展.....15

第一节 运动生物化学研究的方法..... 16

第二节 运动生物化学研究的回顾..... 18

第三节 运动生物化学研究的成果..... 20

第四节 运动生物化学研究的趋势..... 24

第三章 运动生物化学课程体系改革研究.....27

第一节 运动生物化学课程的体系..... 28

第二节 运动生物化学课程的建设..... 32

第三节 运动生物化学课程的现状..... 36

第四节 运动生物化学课程的改革..... 39

第四章 运动生物化学教学手段与方法研究.....51

- 第一节 运动生物化学教学兴趣的培养..... 52
- 第二节 运动生物化学多媒体组合教学..... 58
- 第三节 运动生物化学教学录像的研究..... 65
- 第四节 运动生物化学教学问题情境的创设..... 71

第五章 运动生物化学实验教学改革研究.....77

- 第一节 运动生物化学实验教学方案的制订..... 78
- 第二节 运动生物化学实验教学的质量..... 81
- 第三节 运动生物化学实验教学的实践..... 84
- 第四节 运动生物化学实验教学的改革..... 91

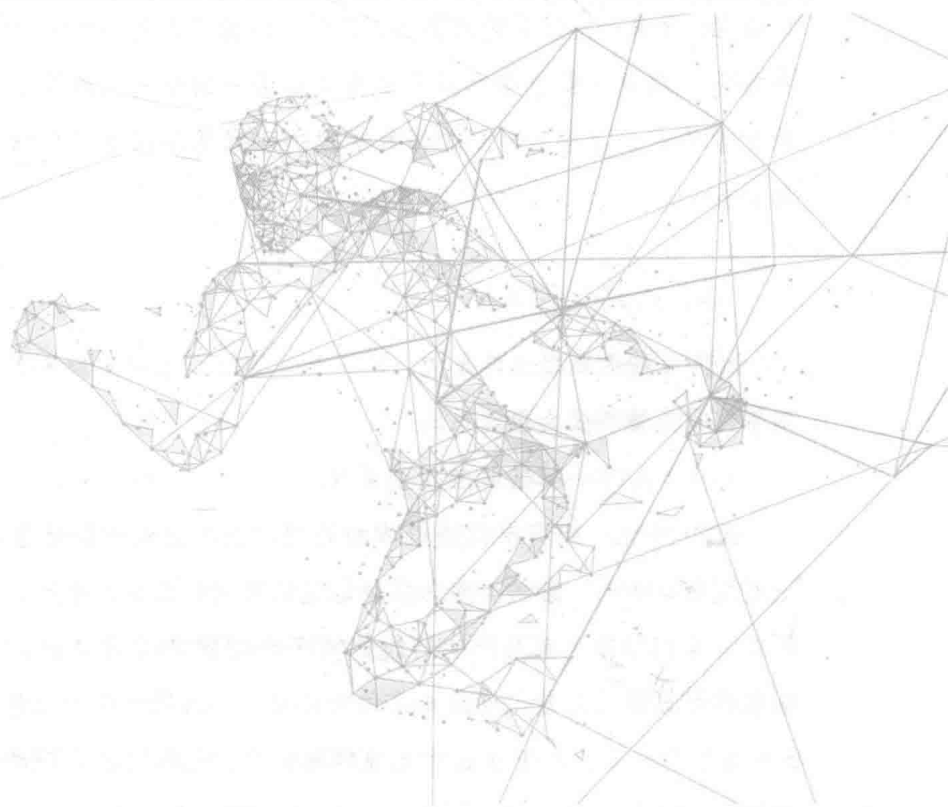
第六章 运动生物化学理论的应用研究.....99

- 第一节 运动生物化学理论在羽毛球训练中的应用..... 100
- 第二节 运动生物化学理论在网球训练中的应用..... 105
- 第三节 运动生物化学理论在排球训练中的应用..... 110
- 第四节 运动生物化学理论在舞蹈训练中的应用..... 113

参考文献..... 119

第一章

运动生物化学概述



第一节 运动生物化学的研究理论

一、运动生物化学

运动生物化学是生物化学的一个分支，它的任务是研究运动对机体化学组成的影响和运动时机体化学变化的规律，认识和掌握这些规律能够为增强体质、科学训练和提高运动水平服务。

早期的工作是研究动物在运动时肌肉中糖原和磷酸肌酸等化学成分的变化，分析运动员在比赛和训练前后血、尿、汗液中成分的变化，如血糖、尿蛋白、汗中盐分的变化等。1955年，苏联的雅科甫列概括了当时的研究成果，出版了《运动生物化学概论》一书，书中分析了运动对骨骼肌、内脏器官、血液、神经系统的影响，说明了力量、速度、耐力的生物化学特点，并阐述了超量恢复规律及其在安排运动量中的应用，解释了各项运动的生物化学特点。对运动时超量恢复规律的研究是苏联运动生物化学研究的重要成就。

二、人体三大供能系统

ATP—磷酸肌酸供能系统、糖酵解（无氧呼吸）供能系统和有氧氧化供能系统是人体内三大供能系统。

（一）ATP—磷酸肌酸供能系统

ATP是唯一能直接供给机体的能源，但在肌肉中的储量很低，导致在进行剧烈运动时，能够为身体提供能量的时间仅在1～3秒，之后的能量就要依靠磷酸肌酸水解后产生的能量转移给ADP再生成ATP。体内少量的磷酸肌酸所提供的能量仅能维持几秒的运动。这两项供应的能量大约可以维持6～8秒的时间。ATP由糖的无氧酵解合成，无氧酵解系统产生的能量可以维持2～3分钟的时间，所以，有限的ATP存储量在分解时必须通过不断

的再合成来补充,而 ATP 再合成的速率恰恰是影响短时和高强度运动能力的关键。ATP 再合成的转换速率可以通过运动来提高 ATP 酶的活性,达到肌肉中 CP 的储量和磷酸肌酸的活性,加快 CP 促成 ADP 转化成 ATP 的速率,用来保证在短时间内剧烈运动时肌肉能量的供给。磷酸原系统的最大输出功率为每千克湿肌 $0.4 \sim 80.9\text{mmol/s} \sim \text{P}$,肌肉中原有的 ATP 可维持最大强度运动 $6 \sim 8$ 秒,所以短跑时,运动员以最快的速度跑,也只维持在 6 秒左右,随后速度减慢,由此可知,除 10 秒以内的短跑项目外,其他运动仅仅靠这个供能系统提供能量是不够的,还必须从其他供能系统得到能量。

(二) 糖酵解供能系统

糖酵解供能系统是由一系列酶催化生产乳酸的同时合成了 ATP,在这个供能系统中,糖原在无氧状态下或氧供应不足时产生乳酸,过多的乳酸使肌肉产生酸痛,同时乳酸也会抑制 ATP 的再合成,若氧充分,乳酸还可以再被氧化,最终分解为水和二氧化碳。当大强度的运动超过 $6 \sim 8$ 秒后,糖酵解过程被激活产生的能量继续为机体提供能源, $30 \sim 60$ 秒的运动,糖酵解速率最大输出功率达到每千克湿肌 $0.33\text{mmol/s} \sim \text{P}$,约是磷酸原系统的一半。糖酵解是极量运动的重要能量系统,在运动中所提供的能量,表现出的肌肉力量和运动强度虽不如磷酸原系统,但维持运动时间较长,是 $30 \sim 120$ 秒的最大强度运动的主要供能系统。糖酵解供能能力对运动成绩有决定性作用,是竞技技能充分发挥的先决条件。由于无氧呼吸产生的乳酸导致肌肉酸痛影响速度的提升,所以有氧呼吸释放的能量是长时间的耐力运动的动力源泉。

(三) 有氧化系统

血红蛋白运送氧气,氧化磷酸化作用合成大量的 ATP,这一过程消耗大量氧,故称之为有氧化系统。有氧供能速度比无氧供能速度慢,反应的产物是二氧化碳和水,所以它的反应充分完全,没有乳酸堆积的问题。体内储存较多的糖和脂肪,正常人的脂肪约占体重的 $10\% \sim 20\%$,在拥有较强的摄氧能力的情况下,调动体内脂肪持续运动 $1 \sim 2$ 小时是没有问题的。运动强度决定着糖和脂肪酸的有氧化过程中供能的数量,当运动强度达到最大

摄氧量的 75% 以上时，糖氧化供能所占的比例大，所以此时糖是主要的供能源；当运动强度降低至最大摄氧量的 65% 以下时，脂肪供能的比例大大超过糖氧化所提供的能量而成为主要的供能源。有氧是体内脂肪酸氧化的必要条件，若运动强度增大，而摄入的氧不足时，脂肪所提供的能量就很少。

（四）供能系统的关系

运动中能够提供能量的物质有多种，随着运动情况的不同，各个不同时间所利用的能量物质顺序及所占的比例不同。例如，属于极量强度的 100 米跑，磷酸原最先提供能量，输出功率大，速度提高得快，所以是以磷酸原供能为主的运动项目。数秒钟之后肌肉乳酸浓度升高，糖酵解系统开始供能，细胞内所储存的氧还可供机体中的糖进行有限的有氧氧化。以有氧代谢为主的马拉松跑，开始的能量就是磷酸原首先供给的，途中的加速跑及终点的冲刺需要瞬时加速，仍然要通过输出功率较高的糖酵解供能完成。各系统输出功率由大到小顺序依次为：磷酸原系统 > 糖酵解系统 > 糖有氧氧化 > 脂肪酸有氧氧化。

综上所述，短时间内大强度的运动主要依靠 ATP—磷酸肌酸供能；长时间低强度的运动主要是有氧呼吸提供能量；而介于二者之间的中强度的运动则主要由无氧呼吸提供能量。

第二节 运动生物化学的研究内容

一、运动生物化学研究的主要内容

运动生物化学是利用物理学、化学与生物学的方法，研究人体运动时机体的化学组成、化学变化和能量转换的规律，并应用这些规律来科学地指导运动训练，从而为体育运动实践服务的一门科学。

运动对人体的化学组成和化学变化影响很大。在运动时，消耗增加，合成减少，故能量物质数量减少。例如，在长跑中肌糖原减少，当跑到筋疲力

尽时,肌糖原几乎耗尽,运动后,通过食物的补充,被消耗的物质逐渐可以恢复,但运动后的恢复并不是简单的复原,而是可超过原来的数量,即恢复到比原来更高的水平,故称超量恢复。除肌糖原外,蛋白质、脂肪、酶等也有超量恢复的现象,此现象为体育锻炼的机能和工作提供理论根据,因此,超量恢复就成为运动中的重要规律。

目前,在研究超量恢复、能量转换规律及运动对身体化学组成和化学变化影响的同时,已广泛应用运动生物化学的理论与方法去解决运动中的实际问题。例如,训练计划的安排、训练方法的选择、运动量、运动员的营养、运动员身体机能的评定、运动成绩的预测和运动员选材等。因此,体育教师、教练员和体育爱好者学一点运动生物化学知识是有必要的。

二、运动营养生物化学的研究内容分析

(一) 运动消耗与需求中生物化学的重要性

1. 运动员所需能量探究

运动员能量的需求对运动员极其重要,而运动员机体中以能量达到平衡为理想状态,只有这样才能保证运动员在进行竞赛和训练时表现最佳。女运动员在进行有耐力、美学,还有体重级别要求的运动时,其每公斤体重消耗的能量是男运动员的70%,有时会因为能量摄取不足而损害运动能力和影响身体发育,所以为了防止这种情况的发生,就需要补充膳食能量。目前,为了确保女运动员物质代谢和生殖系统等方面的健康发育,营养师正在研究满足女运动员各项生理指标的营养膳食。

2. 运动员糖和蛋白质代谢的研究

在糖原合成过程中,前糖原、大糖原和糖原生成素参与代谢且发挥着重要作用。多糖类物质起到抗氧化、减轻损伤、抗疲劳和提高运动能力的作用,能够有效地改善运动员的身体状态。关于在运动过程中,低糖高脂肪膳食能否提高脂肪的氧化效率,对提高运动员的能力是否有作用,至今还没有一个明确的结论。摄入适量的必需氨基酸能够促进肌肉的净增长,调节肌肉蛋白

质合成和肌肉蛋白的正平衡；不同特性的蛋白质引起的氨基酸浓度不同，产生的合成反应也不同；影响运动员的耐力运动指标最主要的原因是膳食总能量的营养成分。

3. 运动员水和电解质的需要探究

运动员摄入水的量和其成分影响运动后的复合水量，用甘油来增加水在人体滞留的时间可能会产生副作用。含钾盐和钠盐的水不仅可以补充电解质，还可以促进葡萄糖的吸收，能有效地防止饮水过量而引起的脱水和多尿的现象，以达到提高运动能力的目的。因此，充足的水和电解质对运动员进行竞赛和训练有很大的益处。

（二）人体生物化学调节系统的构成及其应用

通过对运动员尿样和血样的检查，来评定其运动能力和体能状态。运动员营养调节监控系统主要包括：根据乳酸值含量的测定，观察体内有氧和无氧能力水平；检测红细胞和血红蛋白，判断运动员的营养状况；测定内分泌指标，判断机体的平衡状况；检测运动员机体免疫力。

运动员营养调节监控系统能够明确地反映运动员的各项机能指标，教练可以根据运动员的身体机能情况制定有针对性的锻炼计划 and 目标，营养专家也能更合理地搭配运动员的膳食营养。

（三）生物化学在营养中的实践应用

每个运动员的机能体质有所不同，需要的营养物质也不尽相同。膳食营养是运动员维持体能的最重要的物质基础，所以，运动员的膳食营养方案需要量身定做，主要摄取的营养有蛋白质、维生素、电解质、脂肪和碳水化合物等，并按照一定的标准为其供给，防止机体营养不平衡而影响训练效果和训后恢复，同时也应避免营养过剩的情况。通过计算机软件制订的膳食营养方案不仅科学合理，还能监管人的饮食习惯。营养元素是人体代谢过程中不可或缺的物质，有些营养物质不仅能够缓解疲劳、改善运动能力、调节生理功能，还能促进骨骼生长和肌肉合成，增强人体免疫力。

三、神经肌肉系统适应的生化特点

力量训练虽然能在很多相关的运动中提高运动员的能力,但其对专项运动技术与运动能力的作用取决于训练中神经肌肉产生的适应特性,包括提高肌肉力量的能力在向专项运动能力的转移过程中,使各种神经肌肉适应相互作用的结果。要结合专项运动技术中肌肉的用力特点进行力量训练,使中枢神经系统支配的专项运动中肌肉的收缩方式与力量训练中获得神经肌肉适应性改变相一致,并在力量训练和专项运动中,使身体不同环节肌肉的力量与活动更加协调和平衡匹配,而不能忽视协同肌和对抗肌的力量训练,这样才能提高力量训练在专项运动能力中的作用。肌肉耐力训练后,运动终板的突触前膜和突触后膜的结构与功能都会产生适应性变化。耐力训练使运动终板体积增大,快肌纤维运动终板区乙酰胆碱酯酶活性增加,快肌纤维突触前膜重摄取乙酰胆碱的能力增加,运动神经元末梢成熟的递质释放囊泡数量增加,快、慢肌突触后膜乙酰胆碱受体数量增加,同时,可以降低受体的脱敏感性,这种适应性变化使突触前膜释放递质的能力增加,增强了突触后膜的反应性及其终板电位。

运动员运动能力的改善使骨骼肌纤维结构和代谢能力发生改变,肌纤维代谢改善需要相关器官与之协调。人体机能能力的提高表现为身体活动时协调,各系统、器官、组织和细胞间及其在活动时的整体性更加协调。因此,训练引起的细胞适应包括心肌、肝脏、肾脏、神经、内分泌和其他细胞的适应。

四、运动训练适应的生化特点

运动刺激能使机体产生适应,运动训练对身体的适应过程包括各器官、系统及其调节机理,而细胞适应是器官水平的基础。运动训练可使细胞肌纤维、线粒体、细胞内外液离子转移速度和离子泵产生适应。

运动可引起骨骼肌细胞纤维肥大,线粒体数量增多。骨骼肌细胞是完成运动的基本单位,所以不同运动都可引起肌细胞产生适应性变化,力量和速度训练可使骨骼肌细胞纤维肥大,肌肉体积增大;耐力训练能使肌肉线粒体

数目和总量增加,主要是增加慢肌纤维(I型)的线粒体数量。抗阻力训练可优先使快肌纤维增大,在慢肌纤维组成不变的情况下可使快肌纤维(II型)在正常范围内增大90%;速度和力量训练可选择性地使快速糖分解纤维(IIb)或快速有氧糖分解纤维(IIa)变得肥大;在进行抗阻力或力量训练及部分速度训练时,可使与肌纤维收缩有关的蛋白质增多,从而改善运动训练所要求的力量和做功。

大负荷训练远大于快速小负荷和没有离心收缩的训练,同时,伴随IIb型肌纤维的比例减少,IIab/IIa型肌纤维比例增加,在屈膝群、肱二头肌和肱三头肌中可以很明显地看到这种变化。有氧运动能促进细胞线粒体数量增多,进行耐力训练时主要增加慢肌纤维(I型)的线粒体数量,有助于提高有氧代谢生成ATP的能力,从而提高耐力。细胞结构水平上的这些变化有助于改善器官功能和整体运动能力,有助于能量的可动用性及酶催化的生化过程,但酶活性改善与运动训练性质,即力量、速度和耐力都会产生不同的适应。

细胞器各区域中离子组分和含量及其快速转移作用是正常生命过程的基本条件,细胞内外液离子转移是细胞机能作用的开始,每次机能循环正好随着离子相对移动,这些移动依赖于细胞内外离子浓度的差别。在离子转移达到原贮备基础水平时,会出现由低浓度至高浓度的逆离子浓度梯度,这是一个由细胞膜上离子泵完成的耗能过程。

第三节 运动生物化学的作用

一、运动生物化学在运动训练中的作用

运动生物化学可以帮助我们认识在体育运动和训练的条件下,体内物质代谢的规律和特点,从而了解物质代谢与运动能力之间的关系。这为探索体

育教学、开展群众性体育活动和提高运动能力、竞技水平的科学训练法提供理论依据。慢跑、走跑和步行的运动强度小,较适合男女老少参加,任何人只要长时间系统地进行,就能改善体内脂肪代谢机能,节省糖的消耗,使脂肪的消耗量增加,这样有利于减少体脂,改变肥胖的体型,更重要的是,经常参加此项运动的人发现血浆脂蛋白的成分发生变化,即血浆中高密度脂蛋白含量增加,而极低密度脂蛋白和低密度脂蛋白却不同程度地下降,且这种变化与运动负荷成正相关。高密度脂蛋白数量的增加有利于清除胆固醇在动脉管沉积,因而能防止或抑制由于血浆胆固醇在动脉管内壁上的沉积而引起的动脉粥样硬化的发生和发展。

运动生物化学能帮助我们认识运动时肌肉工作的供能体系和供能的基本过程。前者是以非乳酸能和乳酸能两种供能方式为主,后者是以有氧供能方式为主,即前者是以 ATP-CP 和糖无氧分解供能为主,后者是糖、脂肪、蛋白质在有氧条件下彻底分解生成二氧化碳和水,同时释放出来的能量作为主要的供能方式。但是,肌肉工作时只有 ATP (三磷酸腺苷) 才是直接的供能者,其他如 CP (磷酸肌酸)、糖、脂肪、蛋白质分解所释放的能量都需经合成 ATP 之后才能作为肌肉活动的直接能源,故属间接能源。

运动生物化学能为训练运动员提供生化依据。从生物化学的观点来说,发展 ATP-CP 供能能力,可采用 10 秒左右的高强度运动(如跑、举重等),间歇休息在 30 秒左右的训练效果较好,因为 30 秒的休息不但可使 10 秒运动时消耗的 ATP 和 CP 获得良好的恢复,而且血乳酸保持在较低水平,接近于安静时的正常值。这样,可使每次训练课都能达到高强度和大运动量的要求,这对于发展短跑和举重运动员的 ATP-CP 的供能能力有良好的作用。

运动生物化学能帮助我们受训者的身体机能状态进行评定。例如,大家熟悉的血乳酸,它是肌糖原在无氧酵解时的产物,肌肉产生的乳酸经扩散进入血液即为血乳酸,血乳酸浓度增加是糖酵解能力提高的表现。运动后,乳酸消除速度加快,那时机能提高的表现一般在运动后 15 分钟即可消除 50%, 30 分钟可恢复到运动前水平。例如,运动员完成 400 米跑比赛或测验

时,血乳酸值升高,运动后恢复的速度又加快,便使机能提高,反之,便使机能下降。

二、运动生物化学促进阳光体育运动的科学开展

(一) 有氧运动

从运动生物化学的角度分析,运动方式有两种:有氧运动和无氧运动。有氧运动也叫有氧代谢运动,在运动强度相对较小时,氧是供给充分的条件,机体将能源物质葡萄糖或糖原分解为二氧化碳、水,释放大量能量以供机体活动,即为有氧运动;当运动强度较大时,氧的供给相对不足,机体则可利用葡萄糖或糖原的酵解,分解为乳酸,获得少量能量,即无氧运动。由此可见,在一般情况下,划分有氧运动和无氧运动主要是根据运动过程中有无乳酸产生来判定的。

由于青少年正处于第二个发育的高峰,其身体的变化极为明显。相对而言,其胸廓和心肺功能的发育是滞后的,有氧代谢供应能量较差,负氧能力较低,又由于大脑皮层对呼吸的调节机能尚未完全成熟,加之平时吃苦少,毅力差,锻炼有限,造成耐力素质较低,因此,有氧运动的目的在于增强心肺耐力。在运动时,由于肌肉收缩而需要大量养分和氧气,心脏的收缩次数便增加,而且每次压送出的血液量也比平常多,同时,氧气的需求量亦增加,呼吸次数比正常多,肺部的收张程度也较大。所以,当持续运动时,肌肉长时间收缩,心肺就必须努力地供应氧气分给肌肉,运走肌肉中的废物。而这一持续性的需求可提高心肺的耐力,身体就可从事更长时间或更高强度的运动,而且较不易疲劳。

(二) 科学制定运动强度

有氧运动需要一定的持续时间,只有这样才能达到一定的效果。一般情况下,如果没有先天性疾病或相关运动禁忌疾病,要求每次有氧运动强度达到适当心率,至少持续 20 分钟以上。运动持续时间的长短对锻炼效果有很