

游泳运动训练的科学化探索丛书

中国游泳协会推荐游泳教练员运动员主要读物

游泳运动训练生理生化及 运动医学的理论与实践

中国游泳协会审定

陆一帆 方子龙 张亚东 主编

北京体育大学出版社

游泳运动训练的科学化探索丛书

中国游泳协会推荐游泳教练员运动员主要读物

游泳运动训练生理生化及 运动医学的理论与实践

中国游泳协会审定

主 编：陆一帆 方子龙 张亚东

顾 问：李 华 尚修堂 原家玮 赵 戈

总策划人：江斌波

北京体育大学出版社

策划编辑 梁 林
责任编辑 梁 林
审稿编辑 李 飞
责任校对 木 凡
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

游泳运动训练生理生化及运动医学的理论与实践/陆一帆等主编. - 北京:北京体育大学出版社,2005.6
ISBN 7-81100-236-1

I. 游… II. 陆… III. ①游泳-运动训练-运动生理-生理学②游泳-运动训练-运动生物化学③游泳-运动医学 IV. G861.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第109409号

游泳运动训练生理生化及 运动医学的理论与实践

陆一帆等 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
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 880×1230毫米 1/32
印 张 12

2005年6月第1版第1次印刷 印数 3000册

定 价 25.00元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

序

在 21 世纪举办的第一个奥运会上，我国游泳健儿终于在第 28 届奥运会上实现了中国游泳 8 年追金的梦想——罗雪娟夺得女子 100 米蛙泳冠军。面对 2008 年第 29 届北京奥运会，中国游泳面临更大机遇与挑战。游泳项目作为我国竞技体育的“119 工程”（田径、游泳、水上项目）之一的基础大项，应当在北京奥运会上有更大作为。

中国游泳整体竞技水平与先进国家相比还有较大差距，我国游泳运动员要想在 2008 年北京奥运会上取得较大面积的突破，只有紧紧依靠科技进步、科技创新，用科技的力量才能实现游泳训练上的突破和竞技水平的飞跃。鉴此，科技服务与科技攻关已成为我国游泳项目科学化训练 2008 年奥运科技备战的重要方面。

正是在这一背景下，从事游泳训练的人们渴求获得更多的关于游泳项目科学训练的知识，《游泳运动训练的科学化探索》丛书应运而生。该书总结和探索了近几年国内外游泳训练与现代科学理论与方法的应用成果。具体内容包括：游泳训练的生理学基础、生理学分析、身体机能素质的发展与评定，专项心理素质及营养状况评定与补充手段等。

本书的主编长期从事运动生理学和运动医学的教学和科研工作，

又在国家游泳队一线从事优秀运动员的科技攻关和科技保障的工作，曾在国家自行车队、国家摔跤柔道队等负责科技保障工作，有较丰富的科学理论知识和与运动实践相结合的经验。丛书内容信息量大，可读性强，对启迪思维、探究项目有积极的启示和教益。希望在游泳界大力提倡学科学、用科学的学习风气，真正使中国游泳插上科技的翅膀，加快推进游泳训练科学化进程。不断推出理论与实际紧密结合的有指导意义的游泳书籍，为我国游泳水平的全面提高提供科技支持。

国家体育总局游泳运动管理中心主任
中国游泳协会副主席兼秘书长



2005年5月

目 录

第一章 游泳训练的生理学基础	(1)
一、游泳运动的水环境特点	(1)
二、游泳运动的能量供给	(3)
三、不同手段训练的生理适应性	(17)
四、游泳运动员的肌纤维类型	(33)
第二章 训练计划理论的生理学分析	(36)
一、训练原则	(36)
二、训练计划	(39)
三、训练计划中涉及到的训练理论	(41)
四、建立训练模式和训练系统化	(51)
五、小 结	(58)
第三章 无氧能力素质及其测试评价	(59)
一、无氧供能系统	(59)
二、影响运动员无氧能力水平的因素	(60)
三、游泳运动员无氧能力的发展	(64)
四、提高游泳运动员无氧能力的手段与方法	(71)
五、无氧工作能力测试与评价	(74)
六、对运动员无氧能力的监控与评价	(91)



第四章 最大摄氧量和最大有氧功率的测试与分析	(96)
一、影响运动员最大摄氧量的因素	(96)
二、最大摄氧量训练(有氧无氧混合训练)	(99)
三、最大摄氧量直接测定法	(100)
四、游泳运动最大摄氧量的直接测定	(107)
五、最大摄氧量的间接测定法	(111)
六、最大摄氧量运动负荷的研究及实践应用	(137)
第五章 肌肉力量	(140)
一、力量是提高游泳成绩的基础	(140)
二、影响运动员力量素质发展水平的基本因素	(142)
三、游泳运动员力量训练新观点	(145)
四、优秀游泳运动员肌肉力量的发展	(147)
五、力量测试与分析	(156)
六、游泳专项力量测试	(176)
第六章 柔韧和协调素质及评价	(181)
一、柔韧素质的分类	(182)
二、柔韧素质的重要性	(183)
三、柔韧素质的影响因素	(185)
四、发展柔韧素质的练习	(189)
五、协调能力	(214)
第七章 心理训练	(226)
一、心理技能及其相互关系	(226)
二、心理技能训练	(227)
第八章 生理生化实验的质量控制	(237)



一、测试前实验室的质量控制	(237)
二、测试中实验室的质量控制	(239)
三、测试后实验室的质量控制	(242)
第九章 身体素质生理生化测试前的实验室准备	(244)
一、生化评定实验室主要仪器设备	(244)
二、试剂的配置	(247)
第十章 生理生化测试前的个人准备	(250)
一、测试前准备检查列表	(250)
二、测试前饮食	(251)
三、测试前问卷调查的重要性	(252)
第十一章 生理生化指标的测试方案	(268)
一、采 样	(269)
二、生化指标的测试与分析	(272)
三、总 结	(301)
四、附录——游泳运动员机能评定实例分析	(301)
第十二章 营养状况评定	(304)
一、体格检查	(304)
二、膳食调查	(305)
三、实验室评定	(311)
四、营养不良	(322)
第十三章 运动营养补充	(331)
一、运动员合理营养的基本要求	(331)
二、游泳项目对营养代谢的需求特点	(334)



三、能量物质与游泳运动能力 (336)

第十四章 游泳运动员的常见运动创伤的分析与治疗

..... (358)

一、“游泳肩” (358)

二、游泳运动员的腰肌损伤 (363)

参考文献 (368)

第一章 游泳训练的生理学基础

游泳运动训练的生理生化理论已有大量的研究成果。正确地分析和解读研究的内容，合理地考虑游泳运动中的生理生化问题是非常重要的。因此，有必要针对游泳运动的特点，对训练的生理生化影响进行再阐述。

游泳与走和跑在几个重要方面都有所不同。其中一个显著的差别是游泳时为了能漂浮，并同时用臂或腿或臂腿结合来进行水平运动，就必须消耗能量；其次，克服水面阻力运动时也需要消耗能量。阻力的大小取决于水质和游泳者的身材、体型和游速。这些差别，使得游一定距离的能耗比跑相同距离的能耗大4倍左右。不同的游姿，其能量消耗是不同的。在游手臂出水的爬泳时，身体阻力、机械效率和净氧耗都存在明显的性别差异。在游泳速度相同时，女子的阻力和净氧耗均较男子低。这表明，女子在游同样距离时，能耗较男子低（大约30%）。换言之，在能耗相同时，女子所达到的游泳速度比男子快得多。

总体而言，游泳运动以有氧代谢为主，距离越短，无氧代谢供能占的比重越大；距离越长，有氧代谢供能占的比重越大。

一、游泳运动的水环境特点

游泳是在人们不习惯的“水的环境”里凭借肢体动作同水的相互作用而进行的活动技能。

（一）水的浮力

入水后人体漂浮，没有支撑感觉；除部分躯干肌保持紧张外，很



少有静力紧张动作。现已证明，各年龄段女子的体脂总量平均都比同年齡男子多，因为脂肪密度较小，易于漂浮，而肌肉和骨骼在水中是趋于下沉的，基于不同的身体特点，一般女子都得益于流体动力学的升力，在水中浮力比男子大。可能由于女子体脂较多，浮力较好，女子游泳的效率比较高。女子的体脂分布也可能不同于男子，她们的腿在水里的浮力大，身体呈水平状或呈流线型，而男子的腿较瘦，往往向下吊挂，在水中的浮力较小。两腿下沉可能增加身体的阻力，从而减低游泳的效率。所以，浮力的性别差异可用以解释游泳效率的性别差异。

（二）水的阻力

水的密度比空气大，所以水的阻力比空气大（大约 800 多倍）。游泳时受到的阻力主要有 4 种。

1. 摩擦阻力：是由水的粘滞性造成的。水的粘滞性为空气的 64 倍，所以，水的摩擦阻力大。

2. 形状阻力：物体在水中运动时，在物体前面的挡水面同物体后面的漩涡压产生的压力差引起的阻力。

3. 波浪阻力：由于水的波浪破坏了水的平衡而形成的阻力。

4. 惯性阻力：物体有维持固定运动或静止状态的特性称为惯性。惯性有阻碍物体向前运动的作用，称惯性阻力。由于水的阻力，人体在水中前进比较困难。

（三）水的压力

人在水中游泳时，水对人体有一定的压力。每下潜 1 米时，就增加 0.1 个大气压。所以，水给予胸廓很大的压力，给呼吸造成一定的困难。

（四）身体位置

游泳时，人体处在接近水平的位置，便于血液循环。



(五) 水的温度

游泳时水温在 20 ~ 26℃ 之间, 低于体温。水传热能力比空气快 25 倍, 人体散热越多, 能量消耗也越多。在 12℃ 的水中停留 4 分钟所散发的热量, 相当于在陆地上 1 小时所散发的热量。在比较冷的水中游泳, 游泳者处在温度应激当中, 将产生与在温水中游泳不同的代谢和心血管适应。这些反应主要是维持深部体温的相对恒定, 因为身体的热的对流是相当大的, 特别是水温在 25℃ 以下时。研究结果表明, 对游泳运动员来说, 大多数竞技游泳的最适应水温是 28 ~ 30℃, 在这个温度范围内, 运动中的生成的代谢热容易传递给水, 但这种热流梯度并不大, 不会导致能量消耗显著增加或因冷应激而改变深部体温。

二、游泳运动的能量供给

(一) 三种供能系统的分析

机体运动时所需的直接能源是 ATP 水解提供, 而生成 ATP 的系统有 3 种: ATP - CP 系统、乳酸—糖酵解系统和有氧系统。

1. 磷酸盐 (ATP - CP) 系统

运动时前几秒所需的能量由这个供能系统提供, 体内储存的 ATP 水解成 ADP 释放出能量, 而同时机体内储存的磷酸肌酸提供磷酸再合成 ATP ($PCr + ADP = ATP$)。理论上, 此系统可提供能量直到磷酸源耗竭。

2. 乳酸—糖酵解系统

ATP 的合成是由糖酵解产生的。肌肉中的肌糖原和血糖在细胞中特定酶的作用下, 通过一系列化学作用生产丙酮酸盐, 同时释放出大量能量, 这些能量用于合成 ATP。当所需能量大且氧供不足时, 丙酮酸则最终生成乳酸。所以此系统又称为乳酸—糖酵解供能系统。



3. 氧饱和或稳态（有氧）系统

在此系统的供能过程中，需要氧的存在。能源物质通过一系列化学反应，被氧化成二氧化碳和水，伴随生成 ATP。生成二氧化碳和水时所需的酶存在于细胞中的线粒体内，氧化过程包括三羧酸循环和电子传递链。

三种供能系统并不是独立运作的，而是都参与能量的产生过程，只是根据运动情况不同，其供能的比例有所不同。

磷酸盐供能系统只提供运动开始前几秒所需的能量，肌肉内磷酸根和 ATP 的储备可供全速跑很短一段时间（大约 5~10 秒）。而对于游泳运动员来说，这段时间只能全速游 25 米左右，如果想继续全速游的话，就必须从其他供能系统获取 ATP。

短时间高强度训练可提高肌肉内磷酸根的储备。据研究报告，在进行短时间高强度训练后，在安静时 ATP 的生成储备可以增加，其中磷酸根可增加 40%。因此，目的是为了提高 ATP-CP 储备的训练，可进行 10 组 25 米的冲刺训练，每次休息 1 分钟。

超过 25 米时所需的能量主要靠乳酸-ATP 供能系统（糖酵解供能系统）提供。如磷酸盐供能系统一样，此系统能量的产生也不需要 O₂，糖酵解产生能量，同时造成乳酸堆积。通常乳酸的峰值出现在运动后 2~3 分钟，这时根据每个人的情况不同，运动员可游 50 米、100 米甚至 200 米。此时，如果还保持一开始的强度，乳酸就会急剧升高，仅仅在此系统的供能下，ATP 就会减少。通常，血液中乳酸急剧增多时的运动强度被称为无氧阈。传统观点认为，此时不论是氧气的供应量还是运输系统都满足不了氧的需求量。但现在有新的观点认为，无氧阈前后氧供都是充足的，并且氧缺乏并不是乳酸增多的惟一原因；而认为糖酵解过程中葡萄糖转变为 ATP 的限速步骤更为重要。当 ATP 需求增多而储备耗竭时，生成乳酸是产生更多 ATP 的一个较为迅捷的方式，虽然氧气并没有直接参与此过程，但如果没有氧的参与，乳酸的形成、糖酵解就会受到限制。教练员所要注意的就是乳酸升高的这一点，而训练的目的就是提升需求与输出不平衡的这一点的



做功能力，保障在或低于此点的情况下做功。

以上这些过程都是在细胞质中进行的，因为胞质中有相应的酶，而这种能量供应的同时伴随着乳酸的产生（糖酵解为丙酮酸产生能量供 ADP 变成 ATP，然后丙酮酸加氢变成乳酸）。一些学者认为，糖代谢的下一步是将糖酵解的终产物转运入线粒体内进一步代谢。而这一步是打破平衡的关键步骤，可引起丙酮酸堆积、乳酸产生。

最近的研究认为，由于一种所需辅酶（NAD，一种供应受限的 H^+ 接受体）的缺乏，乳酸的生产导致更多的糖酵解发生。一旦乳酸形成，在乳酸形成过程中脱氢的 NAD 可以再次接受 H^+ ，使得糖酵解过程得以循环。

由于乳酸可以自由转换而不需要消耗能量，并且大量的乳酸被认为可以在以后的训练或训练之后被氧化，所以认为运动能力的下降并不是乳酸堆积造成的，而是与 H^+ 堆积造成的酸中毒有关。训练可以提高血和组织内的碱储备，通过碱对酸的缓冲作用，可以提高在乳酸和自由基存在的情况下机体的工作能力。从理论上讲，任何形式的训练都可提高机体的碱储备，但那些强调无氧能力的训练方式更有效。这里所指的是强度训练方法，包括间歇训练和重复训练。此时心率可达 170 次/分甚至更高，可用脉搏监测训练强度。

碳酸盐可以非常有效地缓冲 H^+ 堆积造成的高酸状态。通常苏打被用来中和所产生的酸，但却不能替换它。很明显，它可以使工作继续，同时使糖酵解过程继续进行，毫不减弱地满足能量的需求。

理论上讲，当运动强度达不到乳酸阈时，运动员可以持续运动（至少在糖原供应充足的情况下），因为 ATP 消耗的同时又可大量生成，就像一个封闭式循环。像 1500 米或 4000 米游泳均属于此类。现在这种训练方式一般使用于中级或初级游泳运动员。在这种训练中，氧的供应充足，乳酸可以被最终氧化成二氧化碳、水和其他产物而不发生堆积，同时产生能量。当以这种强度运动时，身体处于一种稳定状态，而在三种供能物质——糖、脂肪和蛋白质中，脂肪的供能是最主要的，且在线粒体中进行。



从 20 世纪 70 年代中期以来, 体育科学的一个重要的进展就是发现了葡萄糖对运动的影响。这方面的很多研究进展多受马拉松运动和运动饮料商业发展的影响。然而, 有关对游泳运动员影响的研究近几年才较为丰富。饮食中的碳水化合物对运动成绩是很关键的。现已证明, 一星期的训练后肌糖原水平有所减弱, 即训练后的肌糖原含量明显低于训练前的水平。而这正是运动员训练几周后产生疲劳的关键方面。现代研究建议, 如果从训练开始尽早获取葡萄糖, 对于机体糖原的再合成是很关键也是最有效的。

大多数的游泳比赛至少需动用前面所提到的两种供能系统, 有一些项目三种系统都用, 像 200 米和 400 米比赛。(表 1-1) 列出了不同形式训练时能量的供应方式以及无氧和有氧的供能比例。

表 1-1 不同训练以及对机体的影响

	长距离	间歇训练	重复训练	冲刺训练
训练方法	70 ~ 80% 最大强度, 中速, 训练距离大于比赛距离	一组中等强度 (80~90%) 训练。像 20 个 100 米游, 每次之间休息 5~45 秒	一组近乎于最大强度 (95~100%) 的训练, 例如 6 次 100 米游, 每次休息相对较长的时间: 1~5 分钟	一组全力游, 例如 8 次 25 米全速游, 每次之间休息 1~2 分钟
举例	1500 米比赛选手的 5000 米持续游训练, 短距离游选手的 500 米训练	30 个 50 米训练, 每两次之间休息 10 秒 (在训练中, 大多数运动员有固定的时间分配)。10 个 200 米训练, 每 3 分钟一次; 或者 5 个 400 米训练, 每 5 分钟一次	8~20 个 50 米冲刺游, 每 2 分钟一次。4 个 200 米游, 每 6~8 分钟一次。这些通常被称为目标设置, 用于每星期检验进步情况、评价状态	10~20 个 25 米全速游, 每次休息 1 分钟 20 个 20 米全速游, 每 1 分钟一次



续(表 1-1)

	长距离	间歇训练	重复训练	冲刺训练
对应心率	140 ~ 170 次/分, 根据强度的大小保持稳定	可达 170 ~ 180 次/分; 休息时, 根据长短不同, 可下降到 160 ~ 130 次/分	每次训练之后心率最终可达 180 ~ 190 次/分, 休息后到下次训练前将降低到 110 ~ 100 次/分	每次之后心率可达 170 ~ 180 次/分, 根据休息时间的长短不同, 下次训练之前可降到 110 ~ 100 次/分甚至更低
对运动成绩的影响	提高耐力和保持原有的速度, 几乎对爆发力没有影响	提高以最大速度中等距离游的能力, 对爆发力影响不大	提高原有的速度, 一定程度上提高爆发力	提高爆发力, 如 50 米
能量供应形式	有氧 99% 无氧 1%	有氧 50% ~ 80% 无氧 20% ~ 50% (根据强度不同比例不同), 强度越大无氧比例越高	无氧 50% ~ 80% 有氧 20% ~ 50% (根据强度不同)	磷酸盐供能和无氧供能, 看训练强度和休息时间长短
适应	心血管系统能力提高	对中等高浓度乳酸的耐受力提高, 非过大负荷下心血管系统的能力提高	机体对高浓度乳酸的耐受力提高	速度提高、肌力增加, 耐酸力增强, 还有可能使肌纤维中的肌球蛋白增加

在少于 2 分钟的持续训练中 (大约可游 200 米), 机体可保持高强度的运动而没有乳酸增加。这之后, 机体长时间保持中等或高强度运动的能力, 反映出机体无氧阈提高的状态水平。对于未受过专业训练的个体来说, 无氧阈发生在本人最大运动强度的 65% ~ 70% 时,



这就意味着，这些人要是以大于 70% 的强度长时间运动是比较困难的。而高水平的运动员，其无氧阈一般出现在本人最大运动强度的 90% 甚至更高，因此，他们可以以高强度运动很长时间，有时可达几个小时。在 1500 米训练中，主要是有氧系统供能，因此，从事这种项目的运动员的训练应侧重于机体运输氧和利用氧的能力的提高，而在这方面最好的长距离训练方法，有持续性的和间歇性的两种。

(二) 训练的分级模式

1. 美国分级模型

美国运动生理学家福克斯认为：训练计划应选择发展运动专项中主要的供能系统。根据运动项目供能特点，安排训练计划是近代科学训练中受到推崇的流行观点。同时大多数运动生理和运动生化专家认为，训练负荷仅以有氧代谢和无氧代谢来划分是不全面的。

根据游泳竞赛项目及主要供能系统和不同肌纤维的代谢特点，以及运动员之间最高心率的差异等，训练负荷的划分已越来越精细和准确，它表明当今的训练有更明确的训练目的而不是追求片面数量与强度，在训练方法上则要求更加有针对性地个体化。

美国游泳模式，经过多年实践证明有效，并为国际上众多教练普遍采用，这模式即马格利斯特的四级训练模式（表 1-2、表 1-3、表 1-4），其内容主要是针对训练的效果提出的，在实际分类的每一种中又都有几种训练内容与强度控制方法。

美国游泳协会游泳能量分类心率与血乳酸对应关系，与 20 世纪 90 年代美国推崇的能量训练分类法比较，在分类强度的级数上是一致的，但后者的特点是，在对训练强度要求的指标上更细化、更具体，有利于教练员在制定计划和运动员完成训练计划时，对每一种训练方法、手段的应用目的更精确。