




运动员机能状态的
生化评定

运动生物化学实验指导

雷文慧 编著

科技出版社



运动员机能状态的
生化评定

中国体育科学出版社

作者：王德胜 编著

出版：1998年

运动生物化学实验指导

运动员机能状态的生化评定

雷文慧 编著

云南科技出版社

责任编辑: 沈 洪

封面设计: 徐 芸

插 图: 张知鑫

运动生物化学实验指导
运动员机能状态的生化评定

雷文慧 编著

云南科技出版社出版发行 (昆明市书林街100号)

昆明工学院印刷厂印装 云南省新华书店经销

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.75 字数: 100800

1988年7月第1版

1988年7月第1次印刷

印数: 4000

ISBN7-5416-0124-1/G·5 定价: 1.80元

前 言

本书是根据教育部颁发的运动生物化学教学大纲，并结合运动训练自身的特点及规律编写的。

运动员身体机能的物质代谢，供能状况的适应性和变化规律，在安静时、运动时、运动恢复期的表现各有不同，因此对经常参加体育锻炼的人和运动员，进行身体机能状况的评定，有助于提高训练水平和锻炼效果。由于人体机能状况是综合性反映，从生物化学方面评定运动员的身体机能状态，不仅要了解运动员运动时生物化学的一般规律，和进行不同运动项目时的生化特点，更重要的是在此基础上研究提高运动能力的方法，加速运动的恢复过程，使运动员更好地承担大运动量的训练，不断增强体质，达到提高运动成绩的目的采用生化常用指标和测定方法，能较准确地、迅速地获得有关数据，为选拔、培养、训练运动员寻求最佳方案，使训练获得最佳效果，发挥运动员最好水平，提供科学依据。

本书是在介绍糖、脂肪、蛋白质、酶、血液、尿液、汗液的基础知识，及其在人体中的重要作用的基础上，运用生化常用指标和实验技术方法对运动员在不同状态时的机能的变化进行测定，根据测定结果，阐明运动员体内物质代谢，能量变化与运动项目，运动强度，训练方法、运动时间的密切关系。

为了使本书对组成人体的基本物质与运动能力的关系以及对这些物质的测定力求论据充分数据可靠，且对同一种物

质的测定，为读者提供了几种不同的测定方法，并就测定的目的意义，原理、操作步骤以及试剂配制等的阐述，做到简明扼要，通俗易懂，测定方法易于掌握，便于应用。

本书一律采用法定计量（SI）单位，考虑读者的习惯，在采用SI单位后面注有原用旧制单位符号，并在书后附有换算方法。

本书对从事体育运动训练的教练员、运动员、科研人员及有关师生，是一本实用性较强的专业读物，对高校体育专业的运动生物化学可作实验教材，也可供艺术专业形体训练及大中学体育教师和体育爱好者参考。

本书出版过程中，承蒙云南省体委副主任，云南体育进修学院院长周百之教授，云南师范大学化学系李良骝教授给予帮助和支持，在此表示衷心感谢。

由于本人水平有限，书中难免会有缺点错误，恳请读者批评指正。

编者

1988年5月于昆明

目 录

引 论	(1)
第一章 运动与糖代谢	(6)
一、糖的概念	(6)
二、血糖	(7)
(一) 血糖和运动能力	(7)
(二) 血糖的测定	(8)
三、血乳酸	(14)
(一) 无氧代谢能力的评定	(14)
(二) 有氧代谢能力的评定	(14)
(三) 血乳酸的测定	(15)
第二章 运动对脂肪代谢的影响	(20)
一、脂类和运动能力	(20)
(一) 脂肪和运动能力	(21)
(二) 体脂和运动能力	(22)
二、血脂的测定	(23)
(一) 血清胆固醇的定量测定 (磷、铁、硫、法)	(23)
(二) 血清甘油三酯的简易测定	(25)
第三章 运动与蛋白质代谢	(28)
一、蛋白质在生命活动中的重要意义	(28)
二、运动时氨基酸的代谢特点	(28)
三、蛋白质与运动能力	(29)

四、有关蛋白质的测定	(30)
(一) 血红蛋白的测定	(30)
(二) 血浆蛋白质的测定	(32)
第四章 体育运动对酶的影响	(38)
一、酶的概念	(38)
二、一次运动和长时间运动对酶活性的影响	(38)
三、有关酶的测定	(39)
(一) 血清转氨酶的测定	(39)
(二) 尿淀粉酶活性的测定	(42)
(三) 温度对酶活性影响的测定	(44)
(四) pH 对酶活性影响的测定	(45)
(五) 乳酸脱氢酶活力的测定	(46)
第五章 血 液	(50)
一、血液成分的化学	(50)
二、运动对血液成分的影响	(50)
三、血液非蛋白氮 (N.P.N) 的测定	(51)
(一) 酚-次氯酸盐显色法	(51)
(二) 碘化二汞胺显色法	(54)
四、尿素氮 (B.U.N) 的测定	(56)
五、血尿酸的测定	(59)
第六章 尿液成分的化学	(62)
一、概述	(62)
二、尿液的化学成分	(63)
三、运动对尿成分的影响	(64)
(一) 运动性蛋白尿	(64)
(二) 运动性糖尿	(65)

(三) 尿胆素原	(65)
(四) 血尿	(66)
四、尿蛋白的测定	(68)
五、尿胆素原的测定	(75)
六、肌酐的测定	(83)
第七章 水盐代谢及运动时汗液成分的变化 ···	(88)
一、人体水的平衡	(88)
二、汗液的化学成分	(89)
三、水盐代谢及运动训练对泌汗量和汗液化学成分的影响	(91)
四、运动中运动员失水、失盐和补液问题 ···	(94)
(一) 运动员失盐失水情况	(94)
(二) 补液	(99)
五、泌汗量的测定	(98)
第八章 生化评定实验室主要仪器设备	(100)
一、必要仪器设备	(100)
二、一般玻璃用具和磁器皿	(101)
第九章 生化评定实验室的基本操作和实验室常识	(104)
一、基本操作	(104)
(一) 玻璃仪器的清洗	(104)
(二) 洗涤液的种类和配制方法	(104)
(三) 干燥	(105)
(四) 加热	(108)
(五) 沉淀的过滤	(108)
二、实验室常识	(109)
三、实验室安全措施及意外事故的处理	(110)

四、标本的取样和处理.....	(111)
附录一 常用仪器的使用	(113)
(一) 容量仪器的校正和使用	(113)
(二) 光电比色计	(120)
(三) 分光光度计	(123)
附录二 试剂的配制	(128)
附录三 SI 单位和一些常用旧制 单位的换算	(139)
实验方法索引.....	(140)
主要参考文献.....	(142)

引 论

人体内化学变化复杂多样，瞬间万变，我们每天食入的食物，主要是糖、脂肪、蛋白质、水、无机盐、维生素等，经过消化、吸收后在体内经过一系列的化学变化，最后合成机体需要的物质，或分解为 CO_2 、水、尿素等废物排出体外，这些变化称为物质代谢。在物质代谢过程中，同时也伴随着能量的变化，也就是说物质代谢和能量代谢是同时存在。对于参加体育锻炼和运动训练的人在体内进行的物质代谢和能量代谢是和运动项目、运动强度和时间等因素有关。如尽力跑 1~2 分钟时，肌肉中能量需要增加 120 倍，物质代谢也相应增加，因此，了解和掌握在运动影响下物质代谢适应性和变化规律，是提高运动能力的基础。目前已经了解，运动时直接供能物质是 ATP（三磷酸腺苷），其它物质如 CP（磷酸肌酸）、葡萄糖、肌糖原、脂肪是间接能源物质，这些能源物质在保证运动持续进行，使不同性质的运动有条不紊地进行。在短跑或举重时，ATP 分解为 ADP 后，肌肉中 CP 将能量转移给 ADP（二磷酸腺苷），又重新生成 ATP，保证短时间剧烈运动时的能量供给。在较长一点的时间运动时，如跑 400 米，100 米游泳，由于 CP 的储存数量有限，不能保证足够数量 ATP 的合成，这时肌糖元在肌肉缺氧的情况下，分解为乳酸，释放能量使 ATP 数量恢复，此为无氧代谢。运动时间再长些，氧供应充足了，肌糖原、血液运输到肌肉中的葡萄糖，肌肉中的脂肪都参加代

谢，使这些间接能源物质完全氧化成 CO_2 和水，源源不断地供能合成 ATP，使运动能持续下去，完成较长时间，较大的运动，此为有氧代谢。

经过近年来研究，已了解不同运动项目，不同训练方法，不同强度的运动时，无氧代谢和有氧代谢有所不同，因此在训练中教练员、运动员怎样用生化指标来评定运动员在完成某种训练时身体是处于无氧代谢还是有氧代谢，这对掌握运动强度，选用训练方法，迅速提高运动成绩很重要。

运动训练中的无氧代谢过程包括 ATP 的分解，CP 的补充和肌糖原无氧分解三个部分。ATP 和 CP 的代谢过程比较简单，瞬间即可完成，由于这两种能源储量少，全部释放供能也只能维持 5~7~20 秒。因此它是举量、起跑、60 米冲刺跑等短时间爆发或高速运动几秒钟的主要能源。肌糖原无氧分解一般在快速运动 30~40 秒时，才能达到最大的代谢速度。可见无氧代谢是短时间运动时的重要供能形式。

有氧代谢是机体在供氧充足时，运动能量供应的主要形式。葡萄糖（从血液运输至肌肉）和自由脂肪酸等能源物质完全氧化成为 CO_2 和 H_2O ，释放大能量。如葡萄糖在完全氧化时，比无氧分解为乳酸时释放要多 13 倍。所以有氧代谢，是长时间运动能量供应的主要方式。

有些运动项目如 1500m、3000m 跑，速度较快，时间较长，运动时既要无氧代谢，也需要有氧代谢供能。不同的运动项目对无氧代谢和有氧代谢的需求不同。比如 100 米跑时，机体无氧代谢供能占 98~99%，随着运动成绩的提高，有人认为无氧代谢供能可达 100%，但并不能排除有氧代谢在运动时消耗的能量物质，在运动后要通过有氧代谢来恢复。以有氧代谢供能为主的项目，也要加强无氧代谢的训

练。但在实践中，如何评定无氧和有氧代谢能力的水平呢？下面简要介绍某些研究结果，在具体运用时，要结合运动员的实际情况，灵活掌握。

(一)增强机体 ATP 及 CP 代谢能力的训练

ATP 和 CP 这两种能源物质很重要，但在体内储量很少。上面已经讲过，它们在剧烈运动 5~7~20 秒内可用完，通过训练增强机体这两种能源的物质代谢能力，从生化上主要从两方面去考虑：A、增加它们的数量；B、提高机体代谢能力，包括 ATP 再合成过程中酶的活性和与其它代谢关系等。现在了解，在运动影响下 ATP 再合成速度增加，是由于促进 ATP 合成和分解的 ATP 酶活性提高的结果，如动物（大白鼠）进行高速度大力量训练后，ATP 酶活性增加 20~50% 左右。在训练影响下 CP 的数量和催化 CP 分解和再合成的酶（磷酸肌酸激酶），活性都有提高。

因此，在增加机体这两种能源物质的供应途径，既要考虑发展其数量，更重要的是提高其代谢能力。由于这两种能源物质在体内储存数量少，在选择运动练习时，必须要强度大、时间短。在研究中当采用 10 秒钟最大速度跑，每次跑间歇休息 30 秒的效果比休息 10 秒或 20 秒的效果都好，因为 30 秒的休息时间，机体就可以使在 10 秒运动时消耗的 ATP 和 CP 储量获得良好的恢复。为了发展这两种能源物质的代谢能力，各种运动项目的教练员或运动员可根据项目特点和运动员训练水平，增加强度或间歇练习的次数。

(二)增强糖无氧分解代谢能力的训练

在 ATP 和 CP 被大量消耗，运动还要持续高速度进行时，这时糖无氧分解参与供能，一般在运动到 30~40 秒时，糖无氧分解供能达最高峰要增强这种能力可从三个方面着手：A.增加肌肉中糖原的含量；B.提高糖原无氧分解的能力，也就是提高这个过程中酶的活性，尤其是几个关键酶的活性，如己糖激酶，磷酸果糖激酶、丙酮酸激酶，乳酸脱氢酶等；C.增强体内缓冲和忍受乳酸酸性刺激的能力。要增强这种代谢能力，首先在选择运动强度和运动时间上要求，最大速度跑或其它练习时间要达到 40 秒至 1 分钟，使乳酸大量生成达最高值，并在肌肉中有一定的积累。休息时间不能太短，因为在中间休息时，肌肉乳酸向血液扩散，一般要在休息 2~3 分钟时，血乳酸才能达到最高值。所以采用最大强度运动 1 分钟，休息 2~3 分钟可以使肌肉中糖原无氧分解率最大，血液乳酸值最高，对身体各部位的刺激也最明显，经常这样训练，糖无氧代谢能力和身体忍受乳酸刺激的能力都可以提高。

(三)增强有氧代谢能力的训练

有氧代谢能力的训练，在生化上要求：A.增加能源储备。不但要增加肌肉中糖原，也要不断补充肝糖原；B.增加氧的供应，但它的供应与呼吸、循环系统的关系很密切，故常作为一种机能来看待；C.改善体内有氧代谢能力。现在耐力训练中采用的持续跑、马拉松跑等手段都是增强上述能力的方法，由于近代运动竞赛的要求，运动员在增强有氧代谢能力的同时，要求提高无氧代谢能力，这就需要从专项出发，如 2 分钟运动、2 分钟间歇休息时，肌糖原供能占

57~95%，无氧代谢供能占33%，而在4分钟运动、4分钟间歇休息时，无氧代谢供能占25%，这说明教练员应针对运动员的训练项目，制定出科学的训练计划。

由于运动员身体机能的物质代谢、供能状况的适应性和变化规律，是一个综合性的反应，因此对运动员进行生化测定的内容要从多方面进行。在取样的时间上，要取运动员安静时、运动时、运动恢复期内等不同状态的各种物质的化学成分测定的数据进行比较，才能在一定程度上反映机体内某些物质的分解代谢和能量变化的趋势和规律，为选拔、培养、训练运动员，拟定训练计划，提高运动成绩，提供科学依据。

第一章 运动与糖代谢

一、糖的概念

糖是构成所有生物体的重要成分之一，人体组织中的糖含量虽然不超过干重的 2%，但人体的生命活动，如消化、呼吸、循环以及劳动、体育活动等需要的能量，70%以上由糖供应。因此，在人类生命活动过程中，糖类是必不可少的重要营养物质之一。

糖是一大类物质，它包括葡萄糖，蔗糖，麦芽糖，以及来源于植物的多糖—淀粉和动物体内储存在肝，肌肉等组织中的糖原。糖最主要的作用是通过氧化释放出能量，供给生命活动的需要。糖原是人体重要的能源物质。因此，糖在体内储存的数量及其代谢机能和运动能力有关。实验证明，糖储备量对大强度运动的耐久力有明显的影响。

二、血糖

(一)血糖和运动能力

人体内糖的存在有不同的形式。在血液中以葡萄糖存在，安静时每 100ml 血液含葡萄糖（简称血糖）为 70~110mg，运动员一般稍高，为 80~120mg，因此血液中储存葡萄糖约 4~5g。正常人在肝脏中和肌肉中以糖原方式存在的约有 350~400g，运动员糖原储量多些，可达 400~550g。肝糖原含量约为 5%，肌糖原约为 1~2%，由于肌肉数量多，可达体重 40%，如一个 70 公斤体重的运动员，肌肉组织可达 28 公斤，肌糖原按 1.5% 计算时可储备 420g，肝糖原储量在 100g 左右。

血糖主要是指血中葡萄糖，是糖在体内的运输形式，在正常情况下，糖的分解合成保持动态平衡，血糖是反映这个平衡的标志。饱食后淀粉经消化后以葡萄糖形式被吸收进入血液，血糖便上升。这时，肝、肌肉合成糖原过程加强，血糖很快就恢复至原水平。空腹时运动员的血糖浓度与正常人无区别，即 70~110mg% 左右，当饥饿或长时间运动血糖浓度保持恒定（葡萄糖消耗和肝糖原分解释放葡萄糖入血），但这种动态平衡与运动性质有关。应用静脉导管引流方法可测出运动时血糖的变化，在短时间最大强度运动时，如进行 6 分钟负荷 350 瓦特（W）运动时，血糖浓度变化不大，运动后恢复期开始时血糖浓度上升。在短中距离跑时，血糖浓度也升高，这是由于运动时间不长，运动强度又较大，运动时能量来源主要依靠肌糖原分解；肝糖原在运动时由于神经体液因素的调节分解为葡萄糖以补充血糖，当葡萄糖大量进入血液时，运动已结束，所以恢复期血糖上升；长时间运动时能量消耗较大，血糖便会下降，引起血糖下降的原因是肌肉从血液中摄取葡萄糖量大于肝脏释放葡萄糖进入血液有关。一般轻微运动比安静时增 2—3 倍，在大强度