



实用运动生理

SHIYONG
YUNDONG
SHENGLI

人民体育出版社

实用运动生理

爱德华·L·福克斯 著

肖震 译

人民体育出版社

实用运动生理

肖震亨 祝树铭 李荣良 译校

人民体育出版社出版

展墨印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092毫米1/32 200千字 印张 9 16/32

1984年4月第1版 1984年4月第1次印刷

印数：1—13,000册

统一书号：7015·2125 定价：1.15元

责任编辑：骆勤方 卢锋 封面设计：陈幼白

原著说明

书名: Sports Physiology

作者: Edward· L· Fox

出版单位: W·B·Saunders Company

出版时间: 1979

序

科学，特别是生理学应用于体育运动，对于提高一般身体素质 and 专项竞技运动能力是很重要的。本书以此为宗旨，内容着重于介绍体育运动应用生理学，而不是正常生理学本身。因此，只编入那些对应用必要的生理学原则。科学原则的应用往往并不一定要有一个广泛全面的基础知识，只要确切地介绍某些知识，使之便于理解就行了。本书内容自始至终贯穿了结合实际这一点，这从各命题上就可知道。对目前公认的两个值得关注的问题——运动中的年龄和性别——在本书各章中都有讨论。

从事运动训练和传授技能，不但要讲艺术，也要讲科学，这就要求教练员和体育教师既擅长教学训练，又会科学应用。本书就是为了指导您科学应用。我真诚地希望本书所提供的生理学资料对于教学、训练和提高运动成绩会有很大帮助。

爱德华·L·福克斯

11/2 67/20

目 录

第一章	能量供应	1
第二章	运动活动和能量系	12
第三章	运动和营养	23
第四章	恢复	37
第五章	运动训练与神经肌肉	58
第六章	力量训练方法及应用	86
第七章	氧运输系统——呼吸和循环系统	118
第八章	速度和耐力训练的方法和效果	142
第九章	人体组成、营养和运动成绩	183
第十章	脱水、高温和预防中暑	213
第十一章	关于运动成绩和生理学中经常提出的一些问题	222
附录一	实用运动生理学摘要	240
附录二	举重练习说明	264
附录三	八周有氧和无氧间歇训练计划的基础训练示例	273
附录四	一些供参考用的伸展练习	280
术语汇编		285

第一章 能量供应

引言：在科学应用于体育运动时，其最有价值的部分可能要算是人体的能量供应了。

人体可以从事各种活动和体育运动，人体内部具有很大的应变能力。考虑到这一点，能量供应的重要性就很清楚了。能量供应随活动的改变而变化，有的活动需要短时间爆发性的能量供应；有的活动需要缓慢而持久的能量供应。甚至在同一活动中的不同时刻，能量供应也会不同。本章主要谈如何将能量供应的知识应用到体育运动中去，其次是深入地谈一下与应用有关的能量供应知识。

一、能量概念的应用

（一）应用之一：制定身体训练计划

要使训练颇有成效，就要制定提高运动员的专项运动能力的计划。其能力之一是骨骼肌的能量供应能力。譬如短跑和马拉松跑的能量供应方式不同，在专项训练中就要注意提高相应的供能能力。各种不同的运动能力和肌纤维的类型也有关系。肌纤维基本上分成两大类型。一类称为快收缩纤维（简写为FT），适用于高强度运动；另一类称为慢收缩纤维（简写为ST），适用于低强度运动。人体的绝大多数肌肉都是由这两种肌纤维按一定比例混合而成的。其功能的差异是由于这两类纤维供能特点不同所致。

（二）应用之二：预防和推迟疲劳

弄懂体内能量供应情况能使我们深入了解什么叫疲劳，怎样才能推迟甚至避免疲劳。比如参加径赛项目时，开始如果跑得太快，结果往往会落在最后，开始太快而引起了疲劳，最后就无力冲刺。这种“过早疲劳”与供能方式不当有关。要避免和推迟这种疲劳，可以调节跑速。

（三）应用之三：营养和运动

近年来，对营养与运动能力的关系的研究颇有成效。譬如服用几天高糖膳食就能使耐久力提高。超长距离比赛途中，喝一些低浓度葡萄糖溶液可以提高耐久力，推迟疲劳。甚至在运动前几小时吃一些脂类食物也会产生同种效应。要想把这些知识应用到体育运动中去，就应该了解人体以哪种食物供能为主，了解膳食配方对供能的影响。

直到现在，在营养和运动能力的关系方面还存在一些棘手的问题没有解决。有些问题是很自然就会想到的，譬如大强度训练，运动员蛋白质的需要量是多少？铁、盐、维生素应补充多少？它们会不会影响供能？要取得好成绩这些是不是必要条件？赛前膳食如何安排？了解有关营养的知识，就可以使你懂得这些道理。

（四）应用之四：控制体重

控制体重的最重要问题之一就是能量平衡问题。很简单，如果摄入的能量比活动中消耗的多，体重就会增加。要保持好的运动成绩，就必需有理想的体重。要控制能量平衡，保持理想的体重，就要具备有关营养和人体组成成分方面的知识。譬如，了解食物的热价，以及因脱水和减肥在减轻体重方面的差别，就能采用科学的方法来调节体重和饮食，就可以定出合理而无损于运动员健康的训练计划。

（五）应用之五：维持体温

体内温度会不断地散失到外环境中去。要维持恒定的体温，体内就要不断产生热量。人在活动中做的功越大，产生的热也就越多，这是呈直线关系的。为了不让体温过高，教练员也要注意使运动员在运动中充分散热，特别是出汗，即以蒸发形式散热。运动时服装不要穿得太多。有些橄榄球教练员要求运动员在大热天也要穿戴齐全，这就容易中暑，严重时还可能会致命。

以上各种应用方法将会在本书各章内进行详细讨论。下面我们要谈的是与这些应用方法有关的能量供应问题。

二、定义

（一）能量

我们要给能量供应中的三个成分，即能量、功和功率下定义。能量就是指做功的能力。定义虽然简单，但要真正掌握能量的整个概念也不容易。

我们只对六种能量形式中的主要两种有兴趣，它们是物理能和化学能。譬如棒球击球，球棒的运动使它能做机械功。高尔夫球棒、网球拍和其他一些类似的体育器材也是同样情况。还有另外一些类型，譬如跑时身体重心的加速度也可以做机械功。运动时具有的能量称为动能。由于位置的改变而具有的做功能力称为势能，譬如拉开的弓、抵抗重力而抬起身体等。

化学能也是势能的一个来源。譬如食物在体内通过各种化学反应分解出化学能，后者又能供给其他物质再合成。其中有些称为“高能”化合物，这些“高能”化合物分解时就能释放化学能，使骨骼肌完成机械功。换言之，我们摄入的食物中的化学能（势能）通过肌肉活动转变为机械能（动能）。

通常以卡路里作为能量单位。将一克水升高 1°C 所需要的热量称为 1 卡。食物的能量和各种运动所需的能量一般用千卡单位来表示 (即 1000 卡)。

(二) 功

因为能量是指做功的能力, 所以要了解整个能量概念, 弄懂功的定义是很重要的。从数量上看, 机械功就是力 (F) 乘以所通过的距离 (d)。公式为: $W = F \times d$ 。例如体重 70 公斤的人登高 2 米所作的功即为 $70 \text{ 公斤} \times 2 \text{ 米} = 140 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$ 。能量和功的衡量单位是一样的, 140 千克·米相当 0.33 千卡。

虽然功和能可以互变, 但也可能出现耗能而不做功的现象。例如静止伸臂持一重物, 没有做功, 但也耗能。

(三) 功率

功率是指单位时间内所作的功。公式为 $P = W/t = (F \times d)/t$, 上述登高过程如需 1 秒钟, 那么功率即为: $70 \text{ 公斤} \times 2 \text{ 米} / 1 \text{ 秒} = 140 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{秒}$ 。

功率在运动中很重要。在最短时间内提供最大的能量, 这是一些运动项目能否获得优秀成绩的决定因素。例如跳高、投掷和跑 (特别是短跑)。评定橄榄球运动员的一个测试标准是 40 码的跑速。这实际上是一个功率测试, 因为橄榄球赛是一项大强度的运动。

功、能、功率定义和共同测量单位总结于表 1-1。

表 1-1

术 语	定 义	单 位
能	做功的能力	卡·千卡
功	力×距离	公斤·米
功率	(力×距离)/时间	公斤米/秒

三、能量系

如前所述，各种运动项目对供能方式的要求不同，例如短跑、跳跃和投掷对输出功率要求很大，这就相应地要具备短时间大量供能的能力。相反，马拉松跑、长距离游泳、越野滑雪等对功率要求不大，但需要长时间保持供能。在另一些项目中大功率和小功率都有，供能途径要求多样化。骨骼肌有三条不同的供能途径。

(一) 直接能量来源——ATP

三磷酸腺苷，简称ATP。是肌肉活动的直接能源。是上面提到的“高能化合物”之一。它贮存于大部分细胞中，特别是肌细胞。其它一些化学能，例如摄入的食物，在被肌细胞利用之前首先要转化成ATP的形式。

ATP的化学结构很复杂，可用图把它简化(图1-1A)。ATP有一个大分子腺苷和三个较小的磷酸分子组成，后两个磷酸分子的键是高能磷酸键，其贮能很大。最末一个磷酸键解离时放出能量供细胞做功(图1-1B)。细胞做功的形式取决于细胞的类型。譬如，肌细胞(平滑肌、心肌和骨骼肌)完成的是机械功(收缩)；神经细胞传导神经冲动；腺细胞从事分泌等等。所有的“生物功”所需能量都直接来源于ATP的分解。体内每克分子ATP分解所能提供的能量大约为7—12千卡。具有一定重量的化合物我们称它为一克分子。重量的大小取决于组成化合物的原子的种类和数量。

(二) 偶联反应

ATP分解供能后，当然要使其再合成，这就需要能量。再合成所需的能量就是ATP自己分解后的产物：二磷酸腺苷和一个无机磷酸分子(图1-1B)。ATP再合成的能量来自体内三个不同的化学反应系，其中两个来自食物，另一个

来自体内的磷酸肌酸（CP）化合物（图 1-1C）。下面将谈到，CP与ATP差不多，也贮存于肌细胞中，这些放能反应同时偶联着一个合成ATP的吸能反应。即两个不同的反应在功能上紧密联系，一个放能，一个吸能。生化家把它称为偶联反应，其功能上的联系作用称为偶联作用。这一偶联作用是ATP分解合成过程中的基本原则。

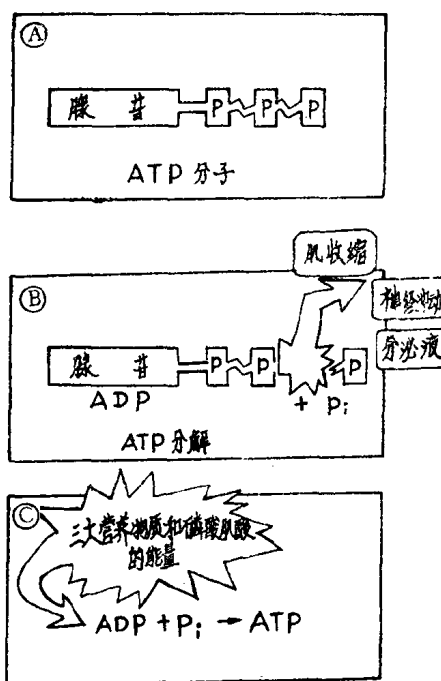


图 1-1 ATP结构及分解、合成示意图

(三) 有氧和无氧代谢

所谓代谢就是指体内的各种化学反应过程。包括上面提到的那些反应。有氧即是指反应中有氧存在，无氧是指反应

中没有氧存在。因此有氧代谢是指一些需要有氧参与的化学反应。无氧代谢相反，不需要氧参与。三个供能系中 ATP-CP 系和乳酸能系为无氧代谢，而另一供能系为有氧代谢。

(四) 磷酸能系

CP 是磷酸肌酸的缩写，是与 ATP 密切相关的另一“高能”磷酸化合物，CP 与 ATP 一样贮存于肌细胞中，当 CP 的磷酸键解离后就能释放大量能量（图 1-2），供 ATP 再合成用。一克分子 CP 分解释放的能量可供一克分子的 ATP 再合成。

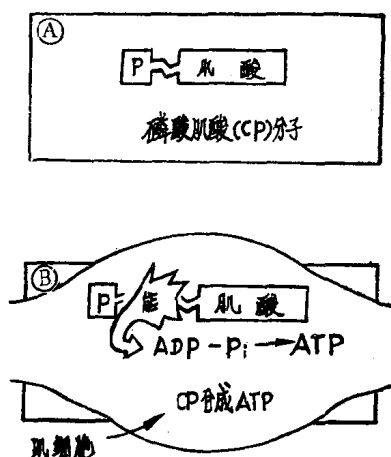


图 1-2 磷酸能系

肌肉中 ATP 和 CP 贮量很少，女子大约含 0.3 克分子，男子也只含 0.6 克分子，所以这一供能系总量有限。百米跑后，工作肌中的磷酸能贮备几乎耗尽。虽然 ATP-CP 系量很少，但释放能量很快。它对有些项目很重要，诸如整个动作仅用几秒钟的短跑、跳跃、踢球、击球等都是以前磷酸能系供能为主。

(五) 乳酸能系

乳酸能系又称无氧酵解系。酵解即为糖的分解。无氧即为不需要氧。糖分解供能使ATP再合成(图1-3)。糖在不完全分解时生成乳酸,故称它为乳酸能系。

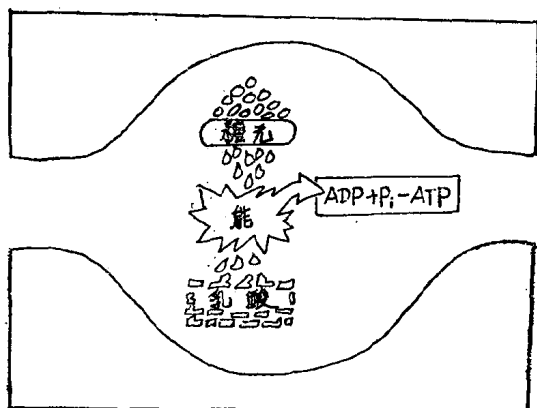


图 1-3 乳酸能系 (糖酵解)

肌肉和血液中的乳酸累积到较高水平时就会引起肌肉暂时性疲劳,局限性很大,它是前面提到的早期疲劳的主要起因。此外,无氧酵解提供的能量要比有氧氧化少得多,180克糖元酵解后所提供的能量只能供3克分子的ATP再合成。糖元是肌肉中糖的贮存形式。而180克糖元有氧氧化释放的能量可供39克分子ATP再合成。

乳酸能系和磷酸能系一样,是很重要的供能系,主要是它也能迅速释放能量,可供最大强度运动1—3分钟。例如400米、800米跑,乳酸能供能占很大比例。在1500米跑或一英里跑的最后冲刺阶段也是如此。

(六) 有氧能系

在有氧情况下，180克糖元彻底氧化分解生成水和二氧化碳，同时释放能量供39个ATP再合成。这一系列反应是在肌细胞中的一种叫做线粒体的细胞器中进行的。酵解过程是在细胞浆中进行的。线粒体形如拖鞋，它是有氧氧化供能合成ATP的场所，故被称为细胞的“动力站”。肌细胞中线粒体很多。

图1-4总结了有氧再合成ATP的整个过程。有氧代谢供能不但量多，而且不会生成致疲劳的物质。生成的二氧化碳可以很容易地弥散出细胞进入血液带到肺部呼出体外。生成的水可以留在细胞内被利用。事实上细胞内大部分成分都是水。

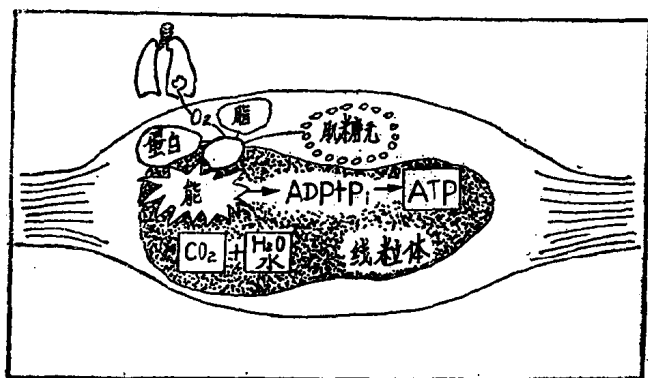


图 1-4 有氧能系

有氧系的另一个特点是它不但能氧化糖，也能氧化脂肪和蛋白质。256克脂肪氧化分解所提供的能量可供130个ATP再合成。活动时，糖元和脂肪是主要能源。蛋白质不是运动中的能量物质（详见第三章）。

糖元分解供能合成一克分子ATP需要氧3.5升。脂肪供

能合成一克分子ATP需要氧4升。安静时一般人每分钟吸入0.2—0.3升氧。也就是说，安静时12—20分钟能使一克分子ATP再合成。最大强度运动时，一般人体内有氧代谢每分钟能合成和提供一克分子ATP给工作肌肉。训练有素的耐力运动员每分钟可供1.5克分子ATP。

综上所述，有氧系可以氧化利用脂肪和糖元供能，供能的量很大，并且不会产生致疲劳物质。有氧系是耐力项目的供能方式。例如马拉松跑消耗的能量约为150克分子ATP。供能持续时间很长，因此氧和营养物质（糖元、脂肪）的需要量也很大。

三个能量系的一般特征见表1-2。

表 1-2 各供能系统的一般特点

ATP-cp (磷酸能)系统	乳酸能系统	有氧系统
1.不需氧	不需氧	需氧
2.极快	快速	慢速
3.供能物质：cp	糖元	糖元脂肪蛋白质
4.供能总量：很有限	供能受限	可供大量能量
5.肌肉内储量有限	代谢产物乳酸会导致肌肉疲劳	无致疲劳物质产生
6.适用于高强度、短时间、速度性练习	适用于持续时间为1-3分钟的运动项目	适用于长时间耐力性项目

四、氧消耗和产能（热）的关系

（一）氧消耗

人体从大气中吸入氧气用于分解糖和脂肪。这些物质分解时的需氧量各不相同。分解180克糖元需耗氧134.4升，以棕榈酸为例，256克脂肪氧化需耗氧515.2升。

食物分解用去的氧量同人的耗氧量有关。安静时人的耗

氧量约为0.2—0.3升/分。大强度运动时人的最大耗氧量为3—6升不等，大小随年龄、性别、训练水平而异。每分钟耗氧量可缩写为 $\dot{V}O_2$ ，V代表容量， O_2 代表氧，V上的一点表示在单位时间内的量，一般以分钟计。 $\max \dot{V}O_2$ 或 $\dot{V}O_{2\max}$ 表示运动时每分最大耗氧量（刚才说的3—6升不等）。最大耗氧量是评定有氧系统工作能力的唯一有效指标。

（二）能量（热量）生成

一定量的氧分解了一定量的糖元，就会释放一定量的能量。180克糖元氧化需耗氧134.4升，释放的能量为686千卡，其中一半用于ATP的再合成，其余的转化为热，或存在于体内，或散发到环境中去。ATP分解时产生的能量一部分用于做生物功，一部分也以热的形式散发。

一定量的糖元和脂肪氧化需耗一定量的氧，同时释放一定量的能量，我们可以通过测定耗氧量来间接推算产生的能量，也可采用直接测热法。前者较容易，所以是经常采用的方法。糖元氧化每消耗一升氧产能5千卡，氧热价为5。脂肪的氧热价为4.7。体内耗氧量和产能之间呈直线关系。

（三）能量消耗

一定量的活动需消耗一定量的能量，可以通过活动时的耗氧量来推算出能量消耗。跑步时移动一米每公斤体重耗氧0.2毫升。体重70公斤的人，跑1500米后的能量消耗约为 $0.2 \times 70 \times 1500 = 21$ 升氧。如果主要供能物质是糖元，那么21升氧会释放出 $21 \times 5 = 105$ 千卡的能量。即在跑的过程中耗能为105千卡。各种活动的能量消耗都以千卡表示，一个人体重如是70公斤，安静时能量消耗约为60—80千卡。