

提高人体运动能力的生理基础



人民体育出版社

提高人体运动能力的 生 理 基 础

华 明 陶心铭

编译

李正义 李 森

人 民 体 育 出 版 社

责任编辑：骆勤方

提高人体运动能力的生理基础

华 明 陶心铭 李正义 李 森 编译

人 民 体 育 出 版 社 出 版

铁 道 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 总 店 北 京 发 行 所 发 行

*

787×1092毫米 32开本 印张 8²⁸/₃₂ 千字190

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：1-1,900

*

ISBN7-5009-0484-3/G·458

定价：4.50元

编译前言

本书是根据美国纽约大学体育与健康系教授威廉·麦克阿特尔、麻萨诸塞大学体育科学系教授法莱克·凯奇和密西根大学医学院副教授维克多·凯奇主编的运动生理学——能量、营养与人体运动能力——一书编译而成。原书的内容新颖，基本上反映了美国与西欧诸发达国家当代的运动生理学水平，并以能量、营养与人体运动能力为主轴，紧密联系体育运动实践，受到各国读者的广泛欢迎，并被美国一些大学列为攻读硕士学位的研究生的学位课程教材。

由于原书中有相当篇幅是我国读者都已掌握的人体生理的基本知识；在有关营养的内容中，有相当一部分食品不适合于我国的实际情况，且全书过于庞杂，为此，我们又对全书书稿作了缜密的编串，以营养素能量、心肺功能、神经肌肉、神经调控与内分泌系统与运动等决定人体运动能力的最重要的生理因素为主轴，力图以最佳的内容奉献给我国的读者。

本书可供各级教练员、体育教师、运动员和体育专业师生参考阅读；也可供医学、卫生和教育工作者参考。

在编译过程中得到北京体院高强教授、关英凝副教授的支持；陶莉同志为书稿的抄写、插图贴字等工作付出了劳动，在此一并表示诚挚的谢意。

由于编译者业务水平的限制，书中如有谬误与不当之处，希广大读者指正。

编译者

1989.1

目 录

编译前言

第一章	营养素与运动能力·····	1
第二章	运动与能量·····	28
第三章	能量系统供能能力的评价及训练·····	98
第四章	肺功能和气体的运输 ·····	152
第五章	心血管功能与运动能力 ·····	189
第六章	骨骼肌的功能及力量训练 ·····	217
第七章	人体运动的神经控制 ·····	246
第八章	内分泌系统与运动 ·····	257

第一章 营养素与运动能力

糖（又称碳水化合物）、脂肪、蛋白质、维生素、无机盐和水是维持人体生命活动所不可缺少的六种营养素。为了保持和不断提高人体的运动能力，必须经常地参加与从事体育运动训练，显然，人体在体力负荷中要消耗更多的能量，因此，必须要摄取比维持静态生命活动时更多的营养素。众所周知，摄入足够的营养素虽然不是提高运动能力的唯一因素，但可以肯定地说，它是提高运动能力的一个重要因素。本章将分别叙述各种营养素与运动能力的关系，

一、糖（碳水化合物）与运动能力

从纯化学的角度来说，糖是一类由碳、氢、氧三种元素构成的有机物。糖的种类很多，其中有一些并非是碳水化合物，故目前常用糖类这一化学术语。但作为人体利用的糖是葡萄糖（ $C_6H_{12}O_6$ ）却是典型的碳水化合物，同时也为了区别于一般日常生活中的糖类食品，故本书还是采用碳水化合物这一名称。

由于使用生物化学和活体组织检查的技术，所以已经能够研究各种营养物质对体力活动能量需要所作的贡献。活检技术从专一的肌肉取出样品对运动只有很小的干扰。因而，在同一个人身上的同一块肌肉连续的取样检查，就能够对肌肉营养物质在运动期间的作用进行仔细的评价。

剧烈运动

进行高强度运动的时候，肌肉贮存的糖原与血液携带的葡萄糖是能量的主要供应者。例如，血糖能供给运动的肌肉所需能量总数的30~40%。如图1-1中阐明的那样，在运动的最初阶段，肌肉摄取血液循环中葡萄糖的量急剧地上升，并且在运动进行中仍然继续上升。截至运动的第40分钟，葡萄糖的摄取量，根据运动强度的不同曾高达静息时摄

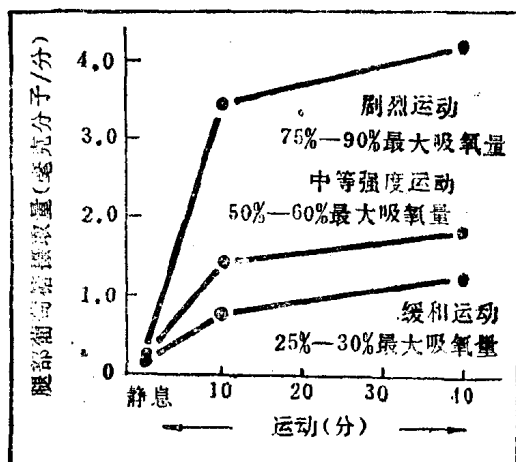


图1-1 腿部肌肉的血糖摄取量与运动时间及强度之间的关系。图中用一个人最大耗氧量或最大摄氧量的百分比表示运动强度。在运动继续进行期间，血液携带的葡萄糖成为愈发重要的能量来源。如果运动持续10~40分钟，根据运动强度的不同，肌肉摄取葡萄糖的量升高到基础标准的7~20倍。以上所述葡萄糖的代谢可能占肌肉耗氧总量的30~40%。根据运动时燃料在体内的平衡。

取量的 7~20 倍之间。在剧烈的运动期间，碳水化合物供能百分比的增加，在很大程度上可解释为当肌肉供氧不足时，碳水化合物是供给能量的唯一营养物。

中等强度与长时间的运动

专供肌肉收缩应用的营养燃料不仅取决于运动的强度也依据活动时间的长短，同时在某种程度上也根据个体的膳食情况。连续进行中等强度运动时，所消耗的能量主要从体内贮存的脂肪与碳水化合物分解而来，在这种次最大强度运动的初期，大约所需能量的 40~50% 来自肝脏及运动肌肉中葡萄糖贮备。由肝脏输出的葡萄糖要超出静息数值的 3~5 倍。可是，当运动继续进行而糖原贮量减少时，通过脂肪代谢供给能量的百分比逐渐增大。

如果运动继续进行到肝脏中和活动的肌肉中糖原的贮量发生严重降低时，即使肌肉可以得到氧的充分供应，同时来自脂肪的贮备潜能也毫无限制的情况下，仍然要发生疲劳，这是因为不存在供糖原在肌肉之间转移的酶，而且相对不活动的肌肉要保持它们的糖原含量的缘故。目前还不清楚为什么在长时间的次最大强度运动中，一般的肌肉和疲劳部位要同时发生糖原衰竭现象。碳水化合物在脂肪代谢过程中所起的“引物”作用，可能对这个问题提供部分答案。

膳食对肌肉糖原贮备的影响。由图 1-2 说明 9 名受试者在控制膳食的情况下使原始的肌糖原贮备发生变化。控制膳食的第一个情况，是维持 3 天正常的热量摄取，可是供给主要热量的是脂肪。第二个条件，供给 3 天正常的膳食，同时食物中包括曾介绍过的碳水化合物、脂肪和蛋白质的百分比。第三种饮食。热量的 82% 是碳水化合物。用针刺活体组织检查法测定股四头肌（腿部的肌肉）所含的糖原量，由于摄取

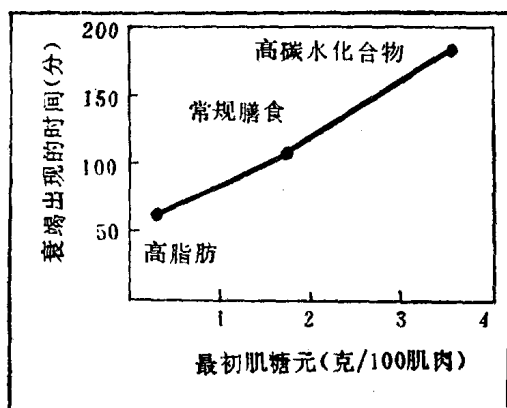


图1-2 含有低碳水化合物、高碳水化合物与混合食物对股四头肌中糖原含量以及在自行车功量计上运动至衰竭的时间的影响。这些数据清楚地说明肌肉中糖原的原始水平愈高时做次最大强度运动的耐力也愈大。

高脂肪、正常与高碳水化合物饮食的结果，平均每 100 克肌肉(湿)中糖原的含量分别为 0.63、1.75 以及 3.75 克。

在自行车测功计上的运动耐力，明显地随着每个人在接受运动测验前 3 天中所吃的食物种类而变化。摄取常规膳食的人，平均能够坚持 114 分钟中等强度的运动，而食用高脂肪膳食后，平均仅能耐受 57 分钟。以高碳水化合物为食的受试者，他们的耐力要比食用高脂肪膳食的高三倍以上。这个结果无疑地证明，肌糖原对持续 1 小时以上长时间运动的重

要性，而且强调表明在建立适当能量储备中，营养所起的重要作用。

缺乏碳水化合物的膳食，使肌糖原和肝糖原迅速地消耗殆尽，并影响随后短期的剧烈运动以及长时间的次最大耐力性运动的能力。上述的观察不仅对运动员来说是重要的，同时对改变膳食以致减低了正常的碳水化合物百分比的那些人也十分重要。依靠不足以维持健康的膳食，或其它象高脂肪、低碳水化合物“液态蛋白”，或流质膳食等具有潜在损害性的膳食，对控制体重、运动，最理想的营养和良好的健康等方面是不利的。从能量供给的立场出发，低碳水化合物的饮食，使参加剧烈的体育活动或锻炼变得极其困难。

口服葡萄糖的作用，在长时间次最大强度运动中，即将发生疲劳时如口服葡萄糖水溶液，能使运动的时间有所延长，实际上甚至肌肉的“燃料箱”标明已空，并使连续不断的能量代谢严重受限时，也可能出现这种情况。十之八九在肠道中把添加的糖吸收以后，将有助于维持血糖的适宜浓度。这一点又转过来支援中枢神经系统和工作的肌肉对营养物质的需要，并可在长时间的剧烈用力期间防止肝糖原出现耗竭的现象。通常推荐的糖饮料是等渗的5%葡萄糖、果糖或蔗糖溶液，可以在1升水中加入50克食糖而制成这种饮料。为了得到最佳的效果，在整个需要耐力的活动中，必须多次饮用这种溶液。

值得考虑有关糖饮料的一个重要问题，是葡萄糖在水中由消化道吸收时的不良作用。甚至很少量的葡萄糖即能阻止水自胃向外移动。这种情况对热环境中进行长时间运动可能是不利的。因为适当喝下一些液体时，重要的是吸收这些液体，以维护运动员的健康与安全。

二、脂肪与运动能力

由于每一重要单位中的每个脂肪分子都具有巨大能量。它有易于输送和贮存,并易于转变成为能量的特点,所以它构成细胞的理想燃料。1克脂肪含有比等量的碳水化合物或蛋白质大两倍多的能量储备。这在很大程度上是因为脂肪分子的氢含量大于碳水化合物或蛋白质的氢含量。正如将在第六和第七章论述的那样,在静息和运动期间氧化上述的氢原子以供身体功能所需的能量。目前必须重新提出,一个甘油分子与三个脂肪酸分子连接合成一个脂肪分子时,产生并释放三分子水。与此相反,在细胞中由葡萄糖形成糖原时,1克糖原与2.7克水共同贮存。因此,脂肪是一种相对无水而浓缩的燃料;而糖原是水合的,以它所含的能量为基准时,它的重量是很大的。

在体内脂肪的贮藏量几乎构成男性体重的15%及女性的25%。这些脂肪的大部分都能供给能量,尤其是在长时间中等运动期间,除脂肪外,过多的营养物质在体内很容易转变为脂肪而贮藏。由此可见,脂肪在体内作为过多营养物质能量的主要仓库。脂肪的利用和碳水化合物一样,当作燃料使用以节省蛋白质,从而使蛋白质发挥它的合成与修复组织的重要功能。

保护与隔热作用

脂肪对肝、肾、脾、脑及脊髓等重要器官起预防创伤的防护垫作用,相当于体内脂肪总量的4%。即使在长时期的半饥饿状态中,防护用的脂肪层似乎也未出现变薄。

皮下贮存库贮集的体脂具有重要的隔热功能,它决定一个人暴露在极度寒冷环境中的耐受能力。人调节寒冷能力的

最好指标是在严寒侵袭时保持十分稳定体温的能力。专门在英吉利海峡游泳的运动员，当他们静息在冷水中时体温仅轻微地下降；而游泳时，体温基本上不出现下降的现象。与此相反，较瘦的非海峡游泳运动员，在以上两种情况下体温都明显下降。随着年龄增长，许多人体中的隔热脂肪层与身体总重量的比例也逐渐增加，这种现象，除对深海潜水员、大洋或海峡游泳运动员以及居住在极冷地区的居民等那些在寒冷中参加活动的人外，并没有多大的意义。在大多数的事例中，实际上体内过量的脂肪对体温调节是不利的。在空气中进行持续运动时上述作用尤为明显，这时身体产生的热量，增加到静息水平的 20 倍以上。在这种情况下，皮下脂肪的隔热层在很大程度上使热自身体向外流动的速度放慢。由于这个理由，过量的体内脂肪成为体温平衡机制的显著障碍。

必须提出有关体内脂肪的隔热与保护功能的最后一点。对于某些足球前锋那样的运动员来说，体内过多的脂肪储备作为保护运动员的附加防护垫，而这种防护垫可以帮助他们在运动期间避免素常的危险。虽然如此，这种可能存在的防护效益，要同超重对温度调节和对运动能力所产生的不利的可能性一齐进行评价。

维生素的载体与饥饿的抑制剂

膳食中的脂肪充当 4 种脂溶性维生素（维生素 A、D、E 与 K）的载体和运输工具。因此，从膳食中排除或显著地减少脂肪，能使这些维生素的浓度降低，最后可能引起维生素缺乏症。膳食中的脂肪，也被认为是从胡萝卜一类无脂肪来源中吸收维生素 A 前体时所必需的。

因为，脂肪被摄取以后，大约需要 $3\frac{1}{2}$ 小时才能自胃中排空，所以膳食中有一些脂肪，可能帮助延缓“饥饿感”的

发作，并在饭后使人产生饱足感。小肠下部的脂肪刺激胃使其释放激素，这种激素本身也抑制饥饿性收缩。在低热量膳食中含有的少量脂肪能增加饱足值，结果能使人更容易接受，这就是为什么大家认为减少膳食的量但其中包含适量的脂肪，比低脂肪膳食更能取得成功的一个理由。

脂肪在运动中的作用

在贮存脂肪的部位，由甘油三酯释放的脂肪酸经血液循环传送给肌肉组织，提供相当于运动所需的大部分能量。在短时的中度运动期间，从碳水化合物和由脂肪异生的能量几乎相等，当运动持续一小时或更长时，利用脂肪产生能量逐渐增多，在长时间运动期间，脂肪可能供给总能量需要的 80 %

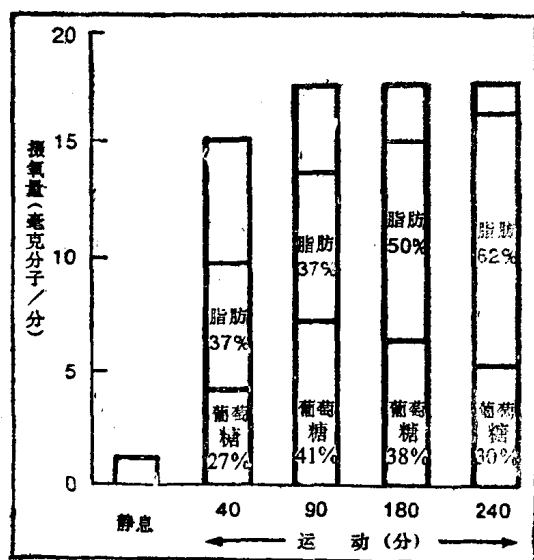


图1-3 在长时间的运动期间，腿部摄取氧与其它营养物的变化情况

左右。

图 1-3 中的数据说明 1~4 小时的中等强度运动期间, 运动肌肉摄取脂肪酸的量上升 70% 左右。早在 55 年前, 曾使受试者摄取常规膳食在低与中度水平的运动期间做过类似的观察, 运动的第一小时, 大约 50% 功能量由脂肪供给, 当运动继续进行到第三小时, 脂肪供给的能量升高到所需总能量的 70%。

三、蛋白质与运动能力

蛋白质是人体所有细胞的主要构成成分; 一般说来, 蛋白质并不是供给人体能量的燃料。所以摄入过量蛋白质并无益处, 对运动员来说, 单纯多吃蛋白质食物并不能使肌肉质量增多, 额外蛋白质形成的热量要转变为脂肪, 它将贮备于皮下仓库中。事实上, 摄取过多的蛋白质或许是有害的, 譬如, 对婴儿和儿童, 建议每公斤体重每日蛋白质摄取量为 2.0 ~ 4.0 克, 而妊娠的妇女与哺乳期的母亲必须把她们蛋白质摄取量各自增加 10 克与 20 克。对力量型项目的运动员由于训练导致体内水分大量丧失, 因此, 蛋白质在调节体液的酸-碱度方面的作用就很重要。在剧烈运动期间, 有大量酸性代谢物形成, 这种缓冲作用是很重要的。蛋白质是肌肉收缩时的必要物质; 肌动蛋白与肌球蛋白是结构蛋白质, 它们在肌肉缩短时相互“滑行”。氨基酸是某些激素的基本构成物质, 并对某些特定维生素的活动是必需的, 而这些维生素在代谢与生理的调节作用中起关键作用。

用来供给能量, 这个事实有助于解释在长时期不活动的情况下肌肉很快地发生萎缩, 而饮食减少的人尤其是膳食中极度缺乏碳水化合物或蛋白质的时候要失去瘦组织。

与氮的摄入量比较，如果排出的氮较多，表示已利用蛋白质供给所需的能量，并且有可能侵占供身体应用的氨基酸，这种负氮平衡可能出现于摄入的蛋白质超过最低需要量标准。如果由于缺乏其它能量营养物而机体使蛋白质发生分解代谢时也能出现这种情况。例如，一个人可能摄入充分的蛋白质，但过少地食用碳水化合物和脂肪。所以，就把蛋白质作为主要的燃料，结果是负蛋白质或负氮平衡。在前面讨论过，食用脂肪与碳水化合物节省蛋白质的作用，在生长与接受强烈运动训练发生高能量输出期间尤为重要。饥饿时，同样能观察到最大的负氮平衡。因此，不足以维持健康的膳食，或者紧缩碳水化合物含量的膳食，结果不仅使糖原储备耗竭，而且蛋白质可能缺乏并伴随肌组织丢失。

蛋白质在运动中的作用

对营养良好的人来说，存在着蛋白质是否为运动提供相当大部分能量的问题。长期以来，生理学家曾经坚信蛋白质作为肌肉工作燃料的作用极小，甚至在马拉松长跑一类精疲力尽的运动中也是如此。可是，最近的研究指出在某些情况中，氨基酸对运动员来说起着关键性的燃料作用，特别是丙氨酸和谷氨酸。图 1-4 说明运动对腿部肌肉释放丙氨酸的影响。显然，丙氨酸输出量加大的情况和运动强度相关，在增加运动强度的情况下，可看到丙氨酸的输出量相应地增加。

在前面的讨论中曾提出丙氨酸间接地为运动的能量需要脱离。运动肌肉释放的丙氨酸，在血液中被输送到肝脏，它在肝脏中被除去氨基并转变成为葡萄糖（糖原异生），然后葡萄糖仍被释放到血液中再递送到正在工作着的肌肉。在图 1-5 对葡萄糖——丙氨酸环的顺序作了总结。连续 4 小时的

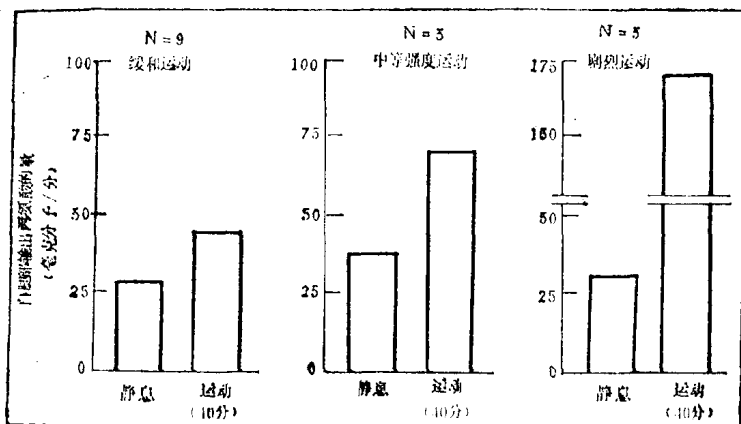


图1-4 持续40分钟不同强度的运动，对腿部肌肉释放丙氨酸影响的估计。由于加大运动强度，结果释放丙氨酸的速度也相应增加。

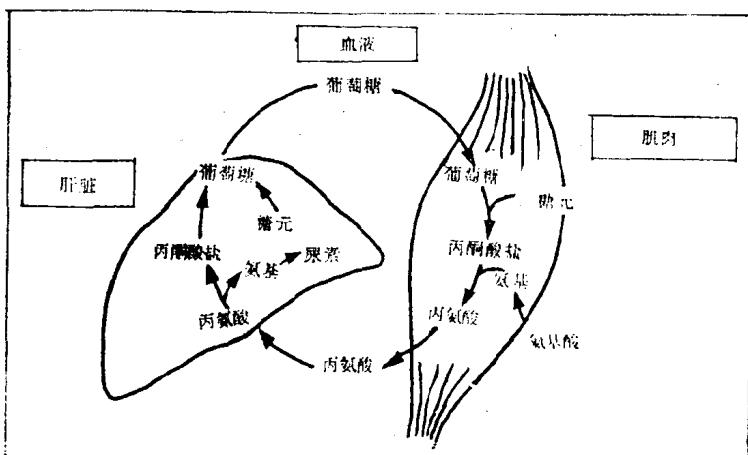


图1-5 运动中的葡萄糖——丙氨酸循环。丙氨酸在肌肉中由葡萄糖衍生的丙酮酸合成；在运动期间它被释放到血液中，以后在肝脏中转变为葡萄糖和尿素；在肝脏中把转化的葡萄糖再释放到血液中并被递送运动的肌肉，供给细胞需要的能量。在运动期间，从肌肉加大丙氨酸的生产量与输出量结果有助于葡萄糖的供应。

运动以后，丙氨酸衍生的葡萄糖输出量可能占肝脏输出葡萄糖总量的45%。事实上，自葡萄糖——丙氨酸环得出的能量可能供给运动需要总量的10~15%。

在能够作出有关运动中蛋白质代谢定量的阐述以前，还需要有更多的资料。得到这些资料之前，看来最好是承认在此以前未被承认过的“蛋白质充当能量燃料的作用”。

四、维生素与运动能力

由于复合维生素B在代谢过程中所起的关键性作用，所以曾使人推测，增加这些维生素的摄取量将促进能量释放而可能使身体能力有所提高。“如果少量是好的，那么较多的必定更好”的信念曾使许多教练员、运动员热衷健康的人（健康迷）、甚至某些科学家也提倡利用增补维生素的方法。研究的结果以及压倒多数的专业营养家完全不支持上述这一观点。

以上的情况除适于复合维生素B以外也适用于维生素C和E。某些研究结果曾证明补充维生素C对于需要耐久力的运动能力仅有微不足道的作用，同时对治疗损伤的速度，严重程度和时间，与用安慰剂的治疗结果相比，其差别也微不足道。谨慎的研究从来不曾对存在缺乏维生素E的情况作过坚定的证实；至于增补维生素E的作法有益于精力、循环功能、能量代谢、衰老或性能力就更不必说了。

虽然对吃充分平衡膳食的正常人来说无需再服用补充的维生素，可是大部营养学家觉得，服用含有各种维生素推荐量的多种维生素胶囊是无害的，对某些人来说，心理上的作用可能更加有益。可是，具有很大意义的情况是，某些运动员希望提高运动能力而借助于吞服大量维生素或者至少吞服