



运动员非蛋白能量代谢平衡的研究

陆姣姣, 邱俊, 徐倩, 王金昊

摘要: 目的:探讨现代五项和击剑项目运动员非蛋白能量消耗和能量摄入的特点。方法:选取上海现代五项、击剑优秀运动员,共17人。第1d和第3d清晨空腹测定静息能量代谢(resting energy expenditure, REE),并进行身体形态检查(身高、体重、体成分)。连续3天填写饮食记录表(dietary record, DR),采用食物称重法计算膳食能量摄入(energy intake, EI)。结果:(1)上海现代五项和击剑项目运动员每天的饮食摄入低于实际能量消耗。(2)现代五项和击剑运动员的非蛋白能量物质摄入量均低于推荐值。(3)在静息状态下,现代五项和击剑运动员的静息能量代谢无明显差异($P=0.935$),糖脂供能比均接近1.1:1。(4)现代五项和击剑运动员的日均能量摄入无明显差异($P=0.929$),但与推荐糖脂比例相比,现代五项的碳水化合物摄入不足,而击剑运动员的碳水化合物和脂肪摄入比例相对合理。结论:(1)上海现代五项和击剑项目运动员每日的非蛋白能量物质碳水化合物摄入明显不足,需要在饮食中进一步加强补充。(2)现代五项运动员的碳水化合物与脂肪摄入比例需要进一步优化。

关键词: 能量消耗;非蛋白能量摄入;能量平衡

中图分类号:804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2015)01-0037-04

Research on Non-protein Energy Metabolism Balance of Athletes

LU Jiaojiao, QIU Jun, XU Qian, WANG Jinhao

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: Objective: The main purpose is to discover the features of non-protein energy consumption and energy intake of modern pentathlon and fencing athletes. Method: 17 elite Shanghai athletes of modern pentathlon and fencing were selected as the subjects. On the morning of the first day and the third day, the resting energy expenditure (REE) and body shape (height, weight & body composition) were measured with empty stomach. Dietary record (DR) was filled in for three consecutive days. Energy intake (EI) was calculated by the method of food weighing. Result: (1) The daily dietary intake of Shanghai modern pentathlon and fencing athletes is lower than the actual energy consumption. (2) The non-protein substance energy intake of modern pentathlon and fencing athletes is below the recommended value. (3) In the resting state, there is no obvious difference between the resting energy metabolism of the modern pentathletes and the fencers ($P = 0.935$). The energy supply proportion of sugar and fat is close to 1.1:1. (4) There is no obvious difference between the daily average energy intake of the modern pentathletes and that of the fencers ($P=0.929$). But compared to the recommended proportion of sugar and fat, the carbohydrate intake of the modern pentathletes is insufficient, while the proportion of carbohydrate and fat intake of the fencers is relatively reasonable. Conclusion: (1) The daily non-protein substance and carbohydrate intake of the Shanghai modern pentathlon and fencing athletes is apparently insufficient. This should be further strengthened in the diet supplement. (2) The proportion of carbohydrate and fat intake of the modern pentathlon athletes needs to be further optimized.

Key Words: energy consumption; non-protein energy intake; energy balance

糖类、脂肪和蛋白质是维持人体生命活动所必需的三大营养物质,也是人体运动能量的主要来源。在一般情况下,人体进行有氧运动时,由于达不到一定的运动强度,蛋白质只是作为人体机体的组成物质,不参与供能,只有在碳水化合物储量低而又没有外界能量补充或运动消耗量极大而体内的糖和脂肪供能跟不上时,才动用蛋白质作为

燃料合成ATP来提供能量,因此,人体所需能量主要来源于体内贮存的糖和脂肪,即人体内的非蛋白供能系统。现代五项和击剑项目对运动员的体能要求很高,合理的营养补充对运动员体能的恢复和储备起着关键作用。运动员非蛋白系统的供能研究旨在对不同运动项目和不同运动强度的能量消耗进行比较,从而推动个性化运动营养配餐的

收稿日期:2014-08-20

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(12231203000)。

第一作者简介:陆姣姣,女,研究实习员,硕士。主要研究方向:运动营养学。

作者单位:上海体育科学研究所,上海200030



发展,促进运动训练的科学性、实效性,以适应新时期科学训练的要求。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择上海现代五项、击剑项目优秀运动员,共 17 人,平均年龄为(24.5±3)岁。其中佩剑 5 人,重剑 6 人,现代五项 6 人,男性运动员 9 名,女性运动员 8 名。

1.2 研究方案

全部实验过程持续 3 d。第 1 d 和第 3 d 清晨空腹测定静息能量代谢 (resting energy expenditure, REE), REE 被认为是包含了食物动力作用的人体基础状态下的能量代谢。第 1 d 进行身体形态检查(身高、体重、体成分),体成分分析采用 Inbody 3.0(韩国)进行测试。连续 3 d 填写饮食记录表(dietary record, DR),采用食物称重法计算膳食能量摄入(energy intake, EI)。

1.3 研究方法

1.3.1 REE 测试

测试第 1 d 和第 3 d 的静息能量代谢,晨起空腹(距离晚餐 12 h 以上)安静时平卧位,采用 COSMED Quark PFT ergo 心肺功能测试仪(意大利)以 breath by breath 法进行测试,测试前仪器分别进行了环境空气、流量和参考气体校准,连续测试 30 min,取稳定段的氧耗量和二氧化碳排出量,综合已有的关于能量消耗计算公式及其修正结果,结合国际上有关能量消耗的计算方法^[1,2]采用公式:碳水化合物的氧化量(g/min)=4.585VCO₂(L/min)-3.226VO₂(L/min);脂肪的氧化量(g/min)=1.695VO₂(L/min)-1.701VCO₂

(L/min); 计算总能量输出(kcal/min)=脂肪的氧化量(g/min)×9+碳水化合物的氧化量(g/min)×4。计算出静息状态下总能量输出(REE, kcal/d)。

1.3.2 饮食摄入测定

通过连续 3 d 的 DR,采用食物称重法。计算各营养素的摄入量、总能量摄入量和供能比,计算指标为平均饮食能量摄入 EI(kcal/d),蛋白质、脂肪、碳水化合物占总能量摄入百分比(%),以及糖脂供能比例。

1.4 统计学分析

经检验所有连续变量数据均呈正态分布。所有数据均以均数±标准差(x±s)表示,由 SPSS13.0 进行统计学分析,P<0.05 表示显著性差异。

2 结果

2.1 能量消耗与实际能量摄入比较

表 1 为静息代谢测得的非蛋白能量消耗和总能量摄入一览表,图 1 显示,从均数上分析,现代五项运动员 REE 是 EI 的 85%,一般认为 REE 占人体总能量代谢(total daily energy expenditure, TDEE)的 65%~70%^[3],换言之,在摄入与消耗平衡的情况下,人体 EI 仅 65%~70%可以供 REE,若超过这一比例则说明摄入不足。图 2 显示,在击剑项目运动员中 REE 占总能量摄入的 87%,同样可以认为运动员 EI 不足,实际摄入比实际消耗至少低 15%~17%(以 REE 占 TDEE 的 70%计算)。由于碳水化合物的消耗量是由静息状态测试得出,而实际摄入则是全天摄入的总量,考虑到人在活动时营养素的消耗量和消耗比例与静息状态是不同的,因此不能简单比较单个营养素的消耗的和摄入是否均衡。

表 1 静息能量消耗与总能量摄入一览表(单位:kcal/d)

Table I Resting Energy Expenditure and Total Energy Intake (kcal/d)

项目	N	REE	消耗 CHO	消耗 FAT	EI	摄入 CHO	摄入 FAT
现代五项	6	2009.25	1013.12	996.13	2372.65	1481.70	890.95
击剑	11	2028.27	1050.53	977.74	2333.12	1507.95	825.16

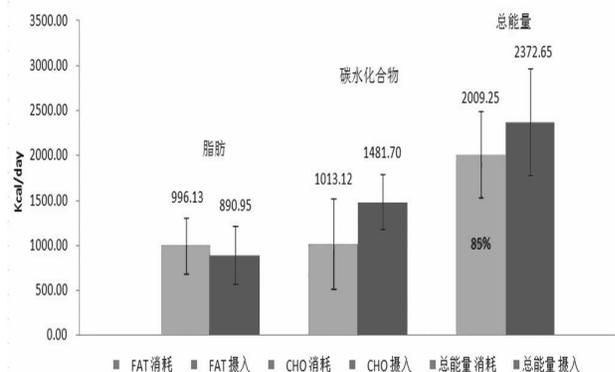


图 1 现代五项运动员静息能量消耗与摄入比较(kcal/d)
Figure 1 Comparison between the Resting Energy Expenditure and Intake of the Modern Pentathlon Athletes

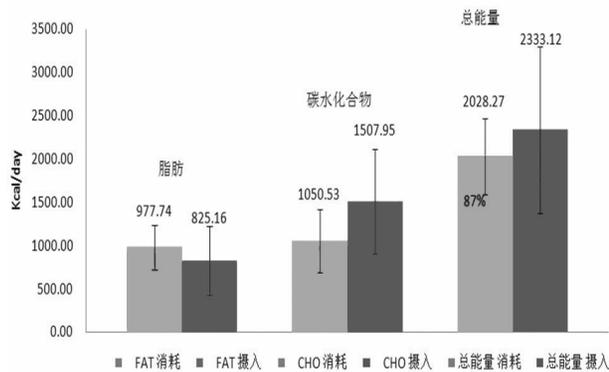


图 2 击剑运动员静息能量消耗与摄入比较(kcal/d)
Figure 2 Comparison between the Resting Energy Expenditure and Intake of the Fencing Athletes



以 REE 占 TDEE 的 70% 换算,计算总能量消耗,分别比较两个能量消耗与能量摄入,结果见表 2。现代五项运动员的总能量消耗与摄入量之间无明显差异($P=0.084$),但从均数上可以看到,摄入量低于消耗量,无统计学意

义的原因可能在于样本数量不够、数据离散度高有关;击剑项目运动员的总摄入量与总能量消耗之间差异具有统计学意义($P=0.015$),说明非蛋白能量物质摄入量明显不足。

表 2 能量消耗与能量摄入比较(单位:kcal/d)

Table II Comparison between the Energy Consumption and Energy Intake (kcal/d)

项目	N	静息能耗总量	总能量消耗(预计值)	总摄入量
现代五项	6	2009.25±479.76	2870.36±685.37	2372.65±591.37
击剑	11	2028.27±438.86	2897.53±626.95	2333.12±959.24 ^{△△}

注:△△ 与总能量消耗相比, $P<0.05$ 。

2.2 能量摄入与推荐值的比较

之前已经得出,现代五项和击剑项目的运动员在能量摄入总量上表现为摄入不足,不能满足总的能量消耗,实际摄入比实际消耗至少低 15%~17%。根据陈吉棣等^[4]制定的《推荐的中国运动员膳食营养素和食物适宜摄入量》,现代五项运动员平均每日能量摄入应为 3 700~4 700 kcal(4 200 kcal),击剑运动员平均每日能量摄入应为 2 700~4 200 kcal(3 500 kcal),与这一标准相比,现代五项运动员的摄入量仅为 2 372.65 kcal,远远低于推荐低值 3 700 kcal。按照推荐比例,一般项目的蛋白质摄入量应为总能量的 12%~15%,本研究中现代五项运动员平均蛋白质摄入量为总能量的 16.36%,接近推荐标准。但即使将这部分能量加入,总的能量摄入仍然不足 3 000 kcal,也远低于推荐值;而击剑运动员的摄入量为 2 333.12 kcal,本研究中击剑运动员平均蛋白质摄入量为总能量的 19.96%,略高于

推荐标准,将这一部分加入,总能量摄入约为 3 370 kcal,接近推荐平均值(3 500 kcal)。由此可见,去除蛋白质摄入的部分,运动员的非蛋白能量物质摄入量均低于推荐值,这与实际测得的能量消耗相比较,结果是一致的。

2.3 不同项目静息能量消耗比较

分别比较现代五项和击剑项目的 REE 及 CHO 和 FAT 氧化后提供的能量,结果显示,现代五项和击剑项目的 REE 没有差异($P=0.935$),碳水化合物和脂肪氧化后提供的能量也没有显著差异($P=0.862$ 和 $P=0.897$),供能比例分别为 CHO:FAT=1.17:1 和 1.15:1(见表 3)。由此可见,REE 与运动类型没有明显相关,在静息状态下运动员体内的碳水化合物和脂肪同为主要的供能物质,这与运动状态下的供能比例是不同的。脂肪在人体内是最大的储能和供能物质,其对人体安静和运动时都具有很重要的供能意义^[5]。

表 3 不同项目 REE、糖、脂消耗量、糖脂供能比例的比较(单位:kcal/d)

Table III Comparison between the REE, Sugar & Fat Consumption and the Energy Supply Proportion of Sugar & Fat of the Different Events

项目	N	REE	CHO	FAT	CHO/FAT
现代五项	6	2009.25±479.76	1013.12±500.80	996.13±312.20	1.17±0.74
击剑	11	2028.27±438.70	1050.53±366.02	977.74±254.48	1.15±0.53

2.4 不同项目膳食能量摄入的比较

对运动员进行连续 3 d 的饮食调查发现,不同项目运动员 EI 无明显差异($P=0.929$),碳水化合物和脂肪的摄入量和供能比例也无明显差异,分别为 CHO:FAT=1.77:1 和 1.92:1(见表 4)。按照推荐比例,碳水化合物提供的热能占总热能的 55%~65%,脂肪提供热能的合理比例为总热能的 25%~30%,即碳水化合物和脂肪的供能比例一般在 2:1 左右,与这一推荐标准相比,现代五项的糖脂供能比例明显低于 2:1(仅为 1.77:1),碳水化合物摄入不足。

而击剑项目的糖脂供能比例接近 2:1(为 1.92:1),说明碳水化合物和脂肪的摄入比例合理。然而,由于现代五项是一项综合性运动项目,每个专项的供能特点并非一致,如击剑是以 ATP-CP 系统供能、有氧氧化系统补充 ATP-CP 系统供能为主^[6],而 200 m 自由泳则需要较强的无氧能力,平时训练中则更注重重氧能力的提升^[7]。因此,对这一项目的能量平衡研究不能仅仅参比一般推荐的膳食比例,更需要结合每个专项实际运动的能耗结构来对膳食营养补充进行指导。

表 4 不同项目摄入总量、糖、脂摄入量、糖脂供能比例的比较(单位:kcal/d)

Table IV Comparison between the Total Intake, Sugar & Fat Intake and the Energy Supply Proportion of Sugar & Fat of the Different Events

项目	N	摄入总量	CHO	FAT	CHO/FAT
现代五项	6	2372.65±591.37	1481.70±306.46	890.95±320.73	1.77±0.45
击剑	11	2333.12±959.24	1507.95±607.39	825.16±397.97	1.92±0.59



3 讨论

人体日常活动均需要消耗一定的能量,而运动员在日常训练和比赛中更是对能量有极大的需求,且对能量物质的需求又具有其特殊性,如耐力性项目对碳水化合物的需求较高,低强度、长时间的运动项目则对脂肪的供能比例有一定的要求,而同一运动项目的不同运动强度对能量物质的需求又不尽相同。因此,准确测定和估算能量摄入与能量消耗,并维持二者之间的平衡是非常重要的^[8]。有研究显示,在篮球运动中,85% VO_{2max} 和 100% VO_{2max} 强度时消耗糖和脂肪的比例是不一样的,随着运动强度的增加,糖类供能的比例越来越高^[9]。这一点在运动实际中利用气体代谢法测试呼吸商时也可以得到证实。运动代谢过程中的能量消耗是个复杂的过程,碳水化合物作为营养物质除了直接提供能量外,还有一点常常被忽视,即碳水化合物对蛋白质合成的影响。研究显示,运动后摄入复合碳水化合物/蛋白质补剂的受试者蛋白质合成的速率比摄入不含碳水化合物的蛋白质饮料快 38%^[10]。碳水化合物具有增强蛋白质合成和减少蛋白质降解的这一作用也是至关重要的。脂肪是机体中含量最多的燃料,与碳水化合物不同的是,机体储存的脂肪能为运动提供数小时的持续能量,但这一过程必须要在长时间运动中才能实现,脂肪首先分解成脂肪酸,通过血液循环从脂肪组织转运到肌肉,然后穿过肌肉细胞膜,最后进入线粒体,提供合成 ATP 所需要的能量,因此,脂肪酸代谢供能可以为长时间、低中强度的运动提供能量。

合理的营养补充必须基于对能量消耗的准确测量,本研究中,由于我们只测得静息部分的能量消耗,人体在运动时首先动用碳水化合物,其次是脂肪和蛋白质,各部分能量物质的供能比例与静息状态下并不一致,对运动员非蛋白物质能量代谢是否平衡也是理论推算值,要想更准确地了解运动员能量摄入与消耗是否均衡,各供能物质的比例是否合理,都需要在今后的研究中同时监测静息和运动部分的能量消耗,结合膳食调查,为不同项目运动员膳食和营养补充提供理论和实验依据。

4 小结

4.1 上海现代五项和击剑项目运动员每天的饮食摄入低于实际能量消耗,非蛋白能量物质摄入量明显不足。

4.2 现代五项和击剑运动员的非蛋白能量物质摄入量均低于推荐值。

4.3 在静息状态下,现代五项和击剑运动员的静息能量代谢无明显差异,糖脂供能比均接近 1.1:1,碳水化合物和脂肪同为主要的供能物质。

4.4 现代五项和击剑运动员的日均能量摄入无明显差异,但与推荐糖脂供能比例相比,现代五项的碳水化合物摄入不足,而击剑运动员的碳水化合物和脂肪摄入比例相对合理。

参考文献:

- [1] KNECHTLE B, MULLER G, WILLMANN F, et al. (2004). Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling [J]. *Int J Sport s Med*, 25(1): 38-44.
- [2] PERONNET F, MASSICOTTE D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update [J]. *Can J Spots Sci*, 16(1): 23-29.
- [3] Campbell KL, Lane K, Martin AD, et al. (2007). Resting energy expenditure and body mass changes in women during adjuvant chemotherapy for breast cancer [J]. *C ancer Nurs*, 30: 95-100.
- [4] 陈吉棣, 杨则宜, 李可基. 推荐的中国运动员膳食营养素和食物适宜摄入量 [J]. *中国运动医学杂志*, 2001, 20(4): 340-247.
- [5] 罗纳德·J·莫恩. 杨则宜, 译. *运动营养* [M]. 北京: 人民体育出版社, 2004: 182-187.
- [6] Lindsay M, Bottoms, Jonathan Sinclair, et al. (2011). Physiological responses and energy expenditure to simulated epee-fencing in elite female fencers [J]. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 5(1): 17-20.
- [7] 杨帆, 林腾, 包大鹏. 国家现代五项队重点运动员能量平衡研究和个性化营养指导 [J]. *体育科技文献通报*, 2013, 21(9): 54-68.
- [8] Goh Q, Boop CA, Luden ND, et al. (2012). Recovery from cycling exercise: effects of carbohydrate and protein beverages [J]. *Nutrients*, 4(7): 568-84.
- [9] 黎远军, 刘芹非. 蛋白供能物质能量消耗的计算对篮球运动训练的指导. *安康学院学报*, 2013, 25(3): 67-70.
- [10] 李文建, 译. John Ivy, Robert Portman. *Nutrient Timin g* [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013: 111-112.

(责任编辑:何聪)