

· 博士(生)论坛 · Doctor Forum

运动医学中营养物质提高运动能力的研究进展

RESEARCH ADVANCE OF NUTRITIONAL SUBSTANCE IMPROVING EXERCISE PERFORMANCE IN SPORTS MEDICINE

陆一帆* 张勇 朱来朝 Lu Yifan Zhang Yong Zhu Laichao



摘要 训练外的运动强力手段一直为运动医学研究所关注,其中膳食热量的调节和机能增进酸的补充广泛地被用于运动训练实践。本文就近年来运动医学领域关于营养物质提高运动能力的研究进展作一综述。

关键词 运动医学 营养 运动能力

Abstract The ergogenic aids are always focused by the research of sports medicine. The regulation of the dietary calorie and supplementation of ergogenic acids are widely applied to sports training. This paper reviews the research advance of nutritional substance improving exercise performance in sports medicine.

Key words sports medicine nutrition exercise performance

运动训练外的运动员强力手段一直为人们所关注,但这种强力手段往往陷入一些误区。首先,有些人采用服用兴奋剂的非法手段,这种手段正受到严厉的打击和控制;其次,在不了解运动对体能的要求、不了解合理营养作用机理的情况下,滥用营养药物。上述两种误区的出现,促使运动医学工作者近年在合理营养物质补充的研究上做了大量的工作。

为了备战 1997 年全运会,在国内体育界出现了对某些有利于运动能力提高的营养物质的研究热点。目前较为常用的提高运动能力的营养手段大致包括有:不同比例的膳食热量比调节、机能增进酸(ergogenic acids)的补充。但目前上述的方法建立多是基于理论推论或一些动物实验的基础,几乎没有在人体运动能力的实际观察中得到证实。

1 关于高碳水化合物膳食及高脂膳食的对比研究

人们长期的观点认为,高碳水化合物(carbohydrate, CHO)膳食方案(碳水化合物提供能量占总能量的 60%~70%)是最有利于运动能力的提高的,其理论基础在于高 CHO 的膳食可增进人体肌组织的糖元贮备,从而提高运动员在高强度运动状态下的抗疲劳能力^[1-3]。由此,派生出一系列的高 CHO 膳食的方案,其中较为典型的是所谓的早期糖元填充法及近年提倡的改良的糖元填充手段。但此方法的应用实际效果仅为理论上的探讨,尚未见有研究表明其促进运动员运动能力的提高^[4]。

近期在运动员高 CHO 膳食的问题上出现一些争论。有研究表明,如果运动员每天的能量消耗在 19 677.96 kJ,其膳食热量 42%为 CHO(并非是高 CHO 膳食),经 21 h 的肌糖元储备,不会影响(限制)运动员的大负荷运

* 男 34 岁 博士 副教授 北京体育大学人体生命科学系 100084

动训练能力。从而对高 CHO 运动膳食(CHO>47%)的科学性做出质疑^[5]。从另一角度分析,当运动员采用高 CHO 膳食时,势必要减少蛋白质、脂肪的摄取比例,也会在一定程度上影响运动员的运动能力,如低脂肪的摄取,可影响脂溶性维生素的摄取水平。高脂膳食重又引起人们的关注,其理论基础在于:高脂膳食可提高机体血清脂肪酸水平,从而提高脂肪氧化代谢率^[6]。有研究发现,无论是口服还是静脉注射脂肪,均可提高血浆游离脂肪酸的水平,在运动中可使肌糖元节省化^[7-10]。此外,还有一些研究,对短期服用高脂膳食后的运动能力进行观察,但结果无定论,有支持高脂膳食观点的,也有观点认为两种膳食无区别^[11]。

就运动膳食的高脂性还是高 CHO 性,还需考虑运动的性质,考虑高血脂对人体心血管系统的负面影响。

2 支链氨基酸(Branched-Chain Amino Acids,BCAA)

通常认为,补充 BCAA 可提高肌体的运动能力,推测其机制为运动的肌肉可从血液中摄取 BCAA 并氧化,提高肌肉利用有效物质的能力,但通过静脉注射 BCAA 的研究并没证实这种性质^[12,13]。进一步的研究表明,通过消化道途径摄取 BCAA,可使肌组织产生大量的氨,从而认为,补充 BCAA 可给运动的肌组织提供氨,但这并不能证实其对运动能力的影响^[14]。

从中枢神经系统看,有人认为 BCAA 可通过增加脑组织的血清素(5-羟色胺,5-hydroxytryptamine,5-HT)水平达到抗中枢疲劳的作用^[15,16]。色氨酸循环水平的上升可提高血清素的水平。血液中 BCAA 与色氨酸竞争转运通过血脑屏障。大量的循环状态 BCAA 存在可使循环系统少量的色氨酸通过血脑屏障。但 BCAA 的抗疲劳功能及其在应用 BCAA 抗运动疲劳的过程中的剂量要求等,均需进行更客观准确的研究。

此外,对 BCAA 的功能及其机制的研究,对研究不同运动项目及运动状态中机体的某些生化物质代谢状态也具有重要的意义。

3 肌酸

近年,人们对于肌酸在运动中的强力作用极为感兴趣,尤其是一些短距离高强度运动项目的运动员,热衷于采用补充肌酸的手段,以提高机体的抗疲劳能力。在 1992 年巴塞罗那奥运会上,一些英国运动员包括一些金牌获得者采用补充肌酸的手段,以提高运动能力^[17]。目前尚未发现补充肌酸的副作用,因而国际奥委会不禁止服用肌酸。肌酸存在于肌肉中,作为重要的能量物质提供 ATP 的快速合成能量,从理论上分析,作为机能增进酸性物质,补充肌酸,可使肌肉组织 CP 储存水平上升,从而提高肌肉组织快速供能的能力,而 CP 的供能水平的提高又可缓解肌组织在运动过程中的乳酸堆积程度。然而,对补充肌酸以提高肌体的快速运动能力,目前也仅限于理论探讨,尚无实验证实^[18,19]。

在肌酸的应用技术上,连续口服 17 g(5g,qid)4~5 天可使肌肉组织的肌酸水平显著上升,同时发现每天进行 1 h 的单腿练习,其运动腿的肌组织肌酸水平上升而对照腿的肌组织肌酸水平却没有变化^[20]。

口服肌酸 17 g/d,服用 5 天后,使肌肉进行电刺激强直收缩,2 minATP 快速恢复水平显著提高^[21]。口服肌酸 17 g/d,服用 5 天后,在等动练习中肌肉的最大运动力矩相对于服用安慰剂组有较大的提高,但经过 14~25 天的服用肌酸后,在抗阻练习测定中与对照组未有显著差异^[22]。而另一项研究证实每天口服 17~27 g 肌酸可提高机体短距离激烈运动的能力^[23,24],但是否有利于耐力运动能力仍存有疑问^[25]。

目前一些研究表明,服用肌酸可导致体重的增加,而这又与机体的游离脂肪的增加或机体的水贮备增加有关。似乎对于研究补充肌酸后对机体成分的影响,有着重要的意义。

4 肉碱

肉碱被认为与长链脂肪酸向细胞内线粒体转运的一些酶的活性及水平有关^[26,27]。理论认为,增加肌肉组织的肉碱水平,可提高肌肉组织氧化脂肪酸节省肌糖元,而另一可能的作用机制是肉碱转化乙酰辅酶 A 为乙酰左旋肉碱和辅酶 A,从而提高辅酶 A 的水平。辅酶 A 在机体的三羧酸循环中有着重要的意义,此外,降低乙酰辅酶 A,可刺激一些酶的水平,提高糖元的氧化代谢水平,减少乳酸的堆积。

肉碱往往是以左旋肉碱(L-carnitine)的形式被摄取,这是一种有活性、安全的形式,而 D-肉碱则不适宜^[27]。

在肉碱的应用技术中,每天服用 2g,持续 4 周,可增加肌肉的肉碱水平,并且提高呼吸链酶的活性^[28],但持

续 14 天的口服肉碱对肌肉的肉碱水平影响不大^[29-31]。持续 10 天口服肉碱, 2.5 g/天, 可显著提高血清肉碱的水平, 但在尿液中没有发现肉碱^[32]。这种低水平的肉碱吸收率提示: 低剂量口服肉碱对机体的肉碱储存水平影响不大, 因而只有大剂量长时间的口服(2 g/天)肉碱才有可能提高肌肉的肉碱储存水平^[33]。

有研究表明, 在服用肉碱后, 有轻微的促进脂质氧化代谢的水平, 但更多的研究否认了这种现象。在补充肉碱后, 尽管肌肉中的肉碱的水平上升, 但机体的脂质氧化代谢水平并无上升的现象。有研究表明, 肉碱还可提高机体的最大吸氧量, 而减低呼吸商^[31, 34, 35]。有两项研究发现, 在服用肉碱后机体的呼吸商减低, 但其他的生理指标没有显著的变化^[36, 37]。其他一些的研究表明在服用肉碱 2~4 g/天, 持续 2~4 周后, 机体功率自行车耐力运动中的最大吸氧量、输出功率的水平无明显变化; 在运动跑台练习中, 力竭时间无变化^[38, 39]。

有一项研究表明, 在运动前 1 h 时服用 2 g 肉碱, 可提高机体的最大摄氧量水平, 但该研究没能观察此短阶段肉碱进入肌肉的状态^[40]。另一项研究采用运动前 37 min 静脉注射 1~3 g 肉碱, 可提高机体的脂质氧化代谢。如果上述的研究可靠, 提示在如此短的时间里口服肉碱对运动产生作用, 必定有一个除肌肉外的肉碱作用位点, 如肝脏等^[41]。

综上所述, 有一些研究支持肉碱对运动能力有一定作用的观点, 但对此观点仍无定论。

5 碱负荷

大量的研究表明, 补充碱性物质可提高机体的运动能力, 其依据在于碱性物质可提高机体在高强度运动过程中的抗乳酸堆积能力。通常机体在激烈运动后, 机体体液的 pH 值可由安静时的 7.32 降至 6.8。而理论上认为, 在运动前口服一定量的碱性物质后, 可提高血液缓冲能力^[42]。

近期综述中, 有 18 项研究有关服用碱性物质的剂量报道。总的观点认为, 在以 270 mgNaHCO₃/kg 体重的剂量补充碱性物质, 可对机体运动能力有促进的作用, 而以 170 mgNaHCO₃/kg 的水平或低于此水平补充, 对机体的运动能力影响不大^[43, 44, 45]。有研究报道, 服用 NaHCO₃ 可使机体的运动力竭时间提高 24%^[42]。

补充碱负荷以延长机体力竭时间并非所有的运动方式, 在运动力竭时间为 1~7 min 的运动强度运动中, 补充碱性物质可适度延长机体的力竭时间, 在较短或更长的运动时间运动性质条件下, 补充碱性物质以推迟运动力竭时间到来的作用是不肯定的, 也就是说, 在有乳酸堆积的运动条件下, 补充碱性物质是现实的。

近期的研究认为, 碱性物质对机体的运动能力的提高并非由于其碱性离子的作用, 而是由于钠离子的负荷。钠离子在血管中容积的改变可影响机体的运动能力, 因此, 并非一定要补充 NaHCO₃ (270 mg/kg), 补充 NaCl (177 mg/kg) 也具有相似的作用。此观点在 1 分钟剧烈自行车运动中得到证实, 但补充 NaHCO₃ 组的血液 pH 值显著的高于补充 NaCl 组。因此, 血液中的酸性物质水平低并非意味着运动耐力强^[46]。

6 磷负荷

早期的研究表明, 磷可提高机体的运动能力, 其理论解释是提高机体的缓冲能力以推迟机体的疲劳状态。但目前有观点认为, 补充磷可提高运动能力的机制在细胞核的作用^[47, 48]。有一种研究表明, 每天 4 次, 每次补充 1 g 磷, 持续 3 天, 可有效的提高机体的有氧代谢水平, 提高机体的最大摄氧量, 但对无氧运动能力无影响^[49]。另一项研究表明磷负荷(每天 4 次, 每次 1g 三磷酸碱盐, 持续 6 天)可使机体的最大吸氧量上升 7.9%, 有氧阈上升 10.5%, 8000 m 跑的能力有上升的趋势^[50]。

总之, 目前有关运动营养的研究极为丰富, 但多数营养物质的作用并不明确, 仍有待更进一步的研究及更准确的实验设计加以确定及证实。

参考文献

- 1 Williams C. Macronutrients and Performance. J. Sports. Sci, 1995, (13): S1~10
- 2 Costill D L, Hargreaves M. Carbohydrate Nutrition and Fatigue. Sports. Med, 1992, (13): 86~92
- 3 Faber M, Spinnler-Benade S J, Daubitzer A. Dietay Intake, Anthropometric Measurements and Plasma Lipid Levels in Throwing Field Athletes. Int. Sports. Med, 1990, (10): 140~145
- 4 曲绵域, 等主编. 实用运动医学. 北京: 北京科技出版社, 1996
- 5 Hawley J A, Dennis S C, Lindsay F H, et al. Nutritional Practices Athletes; Are They Suboptimal? J. Sports.

- Sci,1995,(13):75S~87S
- 6 Shermann W M, Leenders N. Fat Loading;The Next Magic Bullet? Int. J. Sport. Nutr,1995,5 Suppl;S1~S12
 - 7 Dyck D J, Putman C T,Heigenhauser G J F, et al. Regulation of Fat-carbohydrate Interaction in Skeletal Muscle during Intense Aerobic Cycling. Am. J. Physiol, 1993, (265):E852~859
 - 8 Vukovich M D, Costill D L, Hickey M S, et al. Effect of Fat Emulsion Infusion and Feeding on Muscle Glycogen Utilization during Cycle Exercise. J. Appl. Physiol,1993,(75):1513~1518
 - 9 Griffith J, Humphreys S, Clark M, et al. Immediate Metabolic Availability of Dietary Fat in Combination with Carbohydrate. Am. J. Clin. Nutr,1994,(59):53~59
 - 10 Griffith J, Humphreys S, Clark M, et al. Forearm Substrate Utilization during Exercise after a Meal Containing both Fat and Carbohydrate. Clin. Sci, 1994,(86):165~175
 - 11 Guezennec C Y. Role of Lipids on Endurance Capacity in Man. Int. J. Sports. Med. 1992,13 Suppl. 1:S114~118
 - 12 Blomstrand E, Andersson S, Hassmen P, et al. Effect of Branched-chain Amino Acid and Carbohydrate Supplementation on the Exercise-induced Change in Plasma and Muscle Concentration of Amino Acid in Human Subjects. Acta. Physiol. Scand, 1995,(153):87~96
 - 13 Vanier M, Sarto P, Martinez D, et al. Effects of Infusing Branched-chain Amino Acid during Incremental Exercise with Reduced Muscle Glycogen Content. Eur. J Appl. Physiol, 1994,(69):26~31
 - 14 MacLean D A, Graham T E, Saltin B. Branched-chain Amino Acid Augment Ammonia Metabolism while Attenuating Protein Breakdown during Exercise. Am. J. Physiol, 1994,(267):E1010~1022
 - 15 Davis J M. Carbohydrates, Branched-chain Amino Acids, and Endurance: The Central Fatigue Hypothesis. Int. J. Sport. Nutr, 1995,5 Suppl. :S29~S38
 - 16 Davis J M. Central and Peripheral Factors in Fatigue. J. Sports. Sci, 1995,(13):S49~S53
 - 17 Andersn O. Creatine Propels British to Olympic Gold Medals; Is Creatine the one True Ergogenic Aid? Running. res. News,1993,(9):1~5
 - 18 Greenhaff P L. Creatine and its Application as an Ergogenic Aid. Int. J. Sport, 1995,5 Suppl;S100~S110
 - 19 Maughan R J. Creatine Supplementation and Exercise Performance. Int. J. Sport. Nutr, 1995,(5):94~101
 - 20 Harris R C, Soderlund K, Hultman E. Elevation of Creatine in Resting and Exercised Muscle of Normal Subjects by Creatine Supplementation. Clin. Sci, 1992,(83):367~374
 - 21 Greenhaff P L, Bodin K, Soderlund K, Et al. Effect of Oral Creatine Supplementation on Skeletal Muscle Phosphocreatine Resynthesis. Am. J. Physiol, 1994,(266):E725~730
 - 22 Greenhaff P L, Casey A, Short A H, et al. Influence of Oral Creatine Supplementation on Muscle Torque during Repeated Bouts of Maximal Voluntary Exercise in Man. Clin. Sci, 1993,(84):565~571
 - 23 Balsom P D, Ekblom B, Soderlund K, et al. Creatine Supplementation and Dynamic High-intensity Intermittent Exercise. Scand. J. Med. Sci. Sports, 1993,(3):143~149
 - 24 Soderlund K, Balsom P D, Ekblom B. Creatine Supplementation and High Intensity Exercise: Influence on Performance and Muscle Metabolism. Clin. Sci, 1994,(87):120~121
 - 25 Balsom P D, Harridge S D R, Soderlund K, et al. Creatine Supplementation per se does not Enhance Endurance Exercise Performance. Acta. Physiol. Scand, 1993,(149):521~523
 - 26 Cerretelli P, Marconi C. L-carnitine Supplementation in Human. The effects on Physical Performance. Int. J. Sports. Med. 1990,(11):1~14
 - 27 Clarkson P M. Nutritional Ergogenic Aid;Carnitine. Int. J. Sport. Nutr,1992,(2):185~190
 - 28 Huertas R, Campos Y, Diaz E, et al. Respiratory Chain Enzymes in Muscle of Endurance Athletes: Effect of L-carnitine. Biochem. Biophys. Res. Commun, 1992,(188):102~107
 - 29 Barnett C, Costill D, Vukovich K, et al. Effect of L-carnitine Supplementation on Muscle and Blood Carnitine Content and Lactate Accumulation during High-intensity Sprint Cycling. Int. J. Sport. Nutr, 1994,(4):280~288
 - 30 Soop M, Bjorkman O, Cederblad G, et al. Influence of Carnitine Supplementation on Muscle Substrate and Carnitine Metabolism during Exercise. J. Appl. Physiol, 1998,(64):2394~12
 - 31 Vukovich M, Costill D, Fink W. L-carnitine Supplementation: Effect on Muscle Carnitine Content and Glycogen Utilization during Exercise. Med. Sci. Sports. Exerc, 1994,(26):1122~1129
 - 32 Baker H, Frank O, DeAngelis B, et al. Absorption and Excretion of L-carnitine during Single or Multiple Dosing

- in Humans. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 1992, (63):22~26
- 33 Arenas J, Ricoy J R, Encinas A R, et al. Carnitine in Muscle, Serum, and Urine of Nonprofessional Athletes: Effects of Physical Exercise, Training, and L-carnitine Administration. *Muscle. & Nerve*, 1991, (14):598~604
- 34 Decombaz J, Deriaz O, Acheson K, et al. Effect of L-carnitine on Submaximal Exercise Metabolism after Depletion of Muscle Glycogen. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 1993, (25):733~740
- 35 Oyono-Enguelle S, Freund H, Ott C, et al. Prolonged Submaximal Exercise and L-carnitine in Humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1988, (58):53~61
- 36 Gorostiaga E M, Maurer C A, Eclache J P. Decrease in Respiratory during Exercise following L-carnitine Supplementation. *Int. J. Sports. Med.*, 1989, (10):169~174
- 37 Wyss V, Ganzit G R, Rienzi A. Effect of L-carnitine Administration on $V_{O_{2max}}$ and the Aerobic-anaerobic Threshold in Normoxia and Acute Hypoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1990, (60):1~6
- 38 Greig C, Finsh K M, Jones D A, et al. The effect of Oral Supplementation with L-carnitine on Maximum and Submaximum Exercise Capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, (56):457~460
- 39 Kasper C, Reeves B, Fiyann M, et al. Carnitine Supplementation and Running Performance. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 1994, 26(5):S39
- 40 Natali A, Samoro D, Brandi L, et al. Effects of Acute Hyper-carnitinemia Increased Fatty Substrate Oxidation in Man. *Metabolis.*, 1993, (42):594~600
- 41 Brass E P, Hian W R. Minireview: Carnitine Metabolism during Exercise. *Life. Sci.*, 1994, (54):1383~1393
- 42 Matson L G, Tran Z V. Effects of Sodium Bicarbonate Ingestion on Anaerobic Performance: A Meta-analytic Review. *Int. J. Sport. Nutr.*, 1993, (3):2~28
- 43 McNaughton L. Bicarbonate Loading and its Use in Sports. *Int. Clin. Nutr. Rev.*, 1992, (12):65~67
- 44 Kozak-Collins K, Burke E, Schoene R B. Sodium Bicarbonate Ingestion does not Improve Performance in Women Cyclists. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 1994, (26):1510~1515
- 45 Horswill C A. Effects of Bicarbonate, Cotrate, and Phosphate Loading on Performance. *Int. J. Sport. Nutr.*, 1995, 5 Suppl. :S111~S119
- 46 Coombes J, McNaughton L R. Effects of Bicarbonate Ingestion on Leg Strength and Power during Isokinetic Knee Flexion and Extension. *J. Strenth. Cond. Res.*, 1993, (7):241~249
- 47 Williams M H. Nutritional Ergogenic in Athletics. *J. Sports. Sci.*, 1995, (13):563~574
- 48 Clarkson P M. Minerals; Exercise Performance and Supplementation in Athletes. *J. Sports. Sci.*, 1991, (9):91~116
- 49 Cade R, Conte M, Zauner C, et al. Effects of Phosphate Loading on 2,3-diphosphoglycerate and Maximal Oxygen Uptake. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 1984, (16):263~268
- 50 Kreider R B, Miller G W, Williams M H, et al. Effects of Phosphate Loading on Oxygen Uptake, Ventilatory Anaerobic Threshold, and Run Performance. *Med. SciSports. Exerc.*, 1990, (22):250~256

(收稿:1997-03-20)

本文责任编辑 杨有为