

耐力运动表现的膳食营养策略分析

孙雯¹, 徐凯¹, 白宝丰¹, 戴剑松¹, 顾忠科¹, 张念云², 张蕴琨¹, 张媛^{1*}

¹南京体育学院运动健康学院, 江苏 南京

²南京体育学院学训融合中心, 运动人体科学江苏省高校重点实验室科室, 江苏 南京

收稿日期: 2023年11月28日; 录用日期: 2023年12月6日; 发布日期: 2024年2月18日

摘要

耐力性项目能耗大, 肌糖原、蛋白质分解加强, 脂肪供能比例随运动时间延长而提高, 这些代谢特点决定耐力性项目运动员在训练或比赛期间应注重科学训练方法与合理膳食营养策略相结合, 其对提升运动员机能水平、运动成绩至关重要。本文针对耐力项目特征、能量供应与代谢特点, 分析高脂低糖、限制碳水化合物、合理补糖、选择运动营养补充剂等膳食营养策略, 阐述不同营养策略对耐力运动表现的影响及作用特点, 并在此基础上分析其作用原理, 为耐力性项目运动员、教练员提供理论参考与借鉴。

关键词

耐力运动表现, 营养策略, 能量供应, 运动营养补充剂

Analysis of Dietary Nutrition Strategies for Endurance Sports Performance

Wen Sun¹, Kai Xu¹, Baofeng Bai¹, Jiansong Dai¹, Zhongke Gu¹, Nianyun Zhang²,
Yunkun Zhang¹, Yuan Zhang^{1*}

¹School of Sports and Health, Nanjing Sport Institute, Nanjing Jiangsu

²Key Laboratory of Sports Human Science of Jiangsu Province, Teaching and Training Integration Center, Nanjing Sport Institute, Nanjing Jiangsu

Received: Nov. 28th, 2023; accepted: Dec. 6th, 2023; published: Feb. 18th, 2024

Abstract

Endurance sports consume a lot of energy, muscle glycogen and protein decomposition is enhanced, and the proportion of fat energy supply increases with the prolongation of exercise time. These metabolic characteristics determine that endurance athletes should pay attention to the

*通讯作者。

文章引用: 孙雯, 徐凯, 白宝丰, 戴剑松, 顾忠科, 张念云, 张蕴琨, 张媛. 耐力运动表现的膳食营养策略分析[J]. 体育科学进展, 2024, 12(1): 18-25. DOI: 10.12677/aps.2024.121004

combination of scientific training methods and reasonable dietary nutritional strategies during the training or competition period, which is crucial to enhance the athletes' functional level and athletic performance. In this paper, we analyze the dietary nutrition strategies of high fat and low sugar, limiting carbohydrates, reasonable sugar supplementation, and choosing sports nutrition supplements for the characteristics of endurance sports, energy supply, and metabolism, and describe the effects of different nutrition strategies on endurance sports performance and the characteristics of their effects, and analyze their functioning principles on this basis, so as to provide theoretical references for the athletes and coaches of endurance sports.

Keywords

Endurance Exercise Performance, Nutrition Strategies, Energy Supply, Sports Nutrition Supplements

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

耐力性运动是一项克服自重与外界阻力的周期性向前位移的运动项目, 运动时间长是其主要特征, 如马拉松、长距离自行车、铁人三项等项目。将新兴营养策略高效运用于体育实践不仅帮助运动员缓解运动性疲劳, 提高运动成绩, 还可避免出现运动损伤, 为保证运动员身体健康与机能水平提供了有力保障[1]。因此, 在科学安排训练计划基础上, 分析其能量供应特点, 合理安排比赛与不同训练阶段的膳食营养是提高耐力性运动员运动成绩的重要措施。

2. 耐力性项目运动员能量供应特点

耐力性项目供能特点因项目特征存在差异, 各供能系统参与比例随运动强度与时长表现出不同特点。其供能系统呈现以下特点(如图 1): 耐力运动初期, 肌糖原为主要供能底物, 肌肉甘油三酯, 血浆中游离脂肪酸(Free fatty acid, FFA)、葡萄糖、乳酸、酮体等替代供能底物参与供能比例较低。随运动时间延长, 肌糖原参与供能逐渐下降, 此类物质为生成 ATP (Adenosine-triphosphate, ATP)的主要来源。尽管此时供能底物氧化率已达到最高水平, ATP 生成速率却随运动时间延长而降低[2]。当 ATP 生成速率低于消耗时, ATP 亏欠量逐渐增加, 直至无法满足运动能量所需, 出现运动性疲劳, 导致运动终止。

糖、脂肪和蛋白质在长时间耐力运动中参与能量供应比例取决于多种因素, 如膳食营养、生理与遗传因素等。例如, 运动前摄入碳水化合物(Carbohydrate, CHO), 导致运动时 FFA 可利用性受限, 脂肪氧化速率下降, 不利于脂肪氧化供能, 而运动前限制 CHO 的摄入则出现相反的效果, 低 CHO 可增强关键信号蛋白的激活, 对运动表现有益。运动前营养成分的摄入还会通过影响 Ca^{2+} 通量、钙调素依赖性蛋白激酶活性来调节肌肉收缩功能[1] [2], 不同营养策略对运动员不同阶段身体机能所带来的影响也不同。耐力性项目运动员机体代谢水平较高且营养需求较大, 为优化运动时能量储备, 采用新兴营养策略, 提供必要的营养支持已逐渐成为耐力运动员及教练员的关注重点。

3. 糖脂摄取与耐力运动表现

3.1. 高脂低糖饮食与耐力运动表现

高脂低糖(Low carbohydrate, high fat, LCHF)也被称为生酮饮食[4] (Ketogenic diet, KD), 这一营养策略

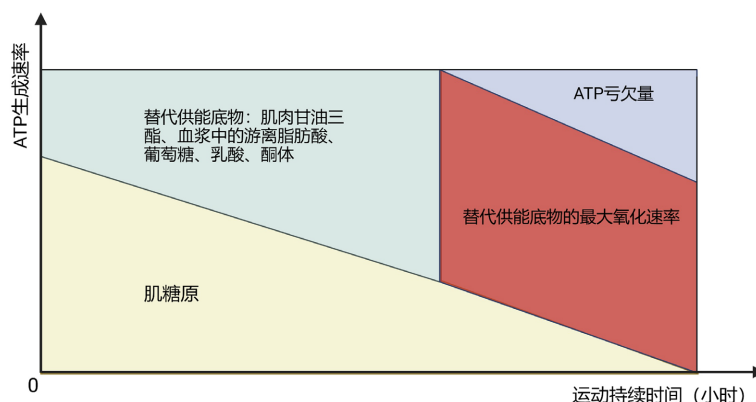


Figure 1. Endurance exercise energy supply [2]

图 1. 耐力性运动项目供能特点[2]

是指采用高脂肪(占每日摄入总能量的 60%)、适量蛋白和低碳水化合物(通常小于 20 g/d 或低于每天摄入总能量的 5%)的膳食模式进行训练[5], 从而提高运动中脂肪氧化速率。

Webster [6]曾报道一名男性铁人三项运动员遵循 LCHF 饮食两年, 其在国际比赛中成绩斐然。LCHF 促进运动表现的原理可能为: 其一, LCHF 饮食通过控制 CHO 摄入以降低葡萄糖利用率, 同时肝脏酮产量增加, 促使机体内循环乙酰乙酸、 β -羟丁酸等酮体(Ketone bodies, KB)水平增加, 并作为主要供能物质为大脑和其他组织供能。其二, LCHF 饮食可以降低机体内源性 CHO 利用率, 下调参与 CHO 代谢关键酶活性, 上调参与骨骼肌脂代谢关键酶活性, 提高脂肪氧化能力, 确保机体维持较长时间的能量供应, 有益于耐力运动表现。其三, 相比高 CHO 饮食, LCHF 饮食可以降低多种代谢风险, 缓解氧化应激水平, 提高脂肪组织氧化率。TZUR 等[7]在针对专业运动员的生酮饮食研究发现, 与葡萄糖和脂肪酸供能相比, KB 代谢产生能量效率更高, 更能满足耐力运动员的运动需求。此外, 虽然 LCHF 饮食对耐力运动员的运动表现具有积极作用, 但对大强度运动时机体氧耗、运动性疲劳也存在负面影响[8]。长期采用 LCHF 饮食可能会伴随一些不良反应, 因此, 建议耐力性项目运动员在进行 LCHF 饮食时严格遵循指导, 避免产生负面影响。

3.2. 限制碳水化合物饮食与耐力运动表现

限制碳水化合物饮食(Restricted carbohydrate diets, RCDs)即将 CHO 摄取量控制在较低范围内, 脂肪作为每日能量摄入的主要来源。Phinney 等[9]要求优秀自行车运动员按照每天将 CHO 摄入限制在 10 g 以内的标准训练 4 周, 发现不会对其运动表现造成影响, 运动员在以 64% VO_{2max} 运动时, 从脂肪氧化中获得的能量超过 90%, 脂肪氧化能力显著提高。

运动员长期坚持 RCDs 饮食可显著提高脂肪氧化速率, 降低运动期间 CHO 氧化。Volek 等[10]对耐力运动员进行长达 20 个月的测试发现, 遵循 RCDs 饮食的运动员脂肪氧化率水平显著提高, 当在 64% VO_{2max} 强度下运动 3 h 时 CHO 氧化率较低, 这与脂肪氧化能力增加有关。并且在该研究中, 运动员在安静状态下运动 3 h 后, 与在 64% VO_{2max} 强度下同样运动 3 h 的运动员相比, 肌糖原含量与高 CHO 组相似, 糖原再合成在运动后 2 h 的恢复过程中也保持不变。这一结果表明, 耐力运动员在长期限制碳水化合物量后有利于耐力表现的提升。相对于长期, 短期 RCDs 下脂肪适应 5 天内即可发生, 但会造成肌糖原储备流失, 低血糖发生, 疲劳感增加, 耐力运动表现下降[11]。

3.3. 合理补糖与耐力运动表现

糖储备与运动能力密切相关, 如肌糖原与肝糖原在耐力运动中后期即将耗尽的状态下, 若没有外源

性葡萄糖补充, 血糖浓度会迅速下降至 3.3 mmol/L 以下, 易引起机体中枢神经系统功能紊乱, 甚至出现低血糖性休克。因此, 合理补糖且对糖类成分作出调整对促进疲劳与体能恢复至关重要。

合理补糖对促进疲劳与体能恢复至关重要, 复合糖类运动饮料对提高耐力运动表现有益。Jeukendrup [12]提出, 与单独补充葡萄糖相比, 补充葡萄糖与果糖的混合溶液可使受试者耗能降低, 延缓机体疲劳时间, 显著提高运动能力[13]。王竹影等[14]针对小鼠耐力水平做出测试, 发现短期内分别补充葡萄糖、果糖和葡萄糖-果糖的混合溶液后, 小鼠游泳耐力水平有所提高, 其中补充葡萄糖-果糖混合溶液组运动时间最长。这是由于葡萄糖-果糖混合溶液可提高肌糖原合成速率, 改善肝糖原再生情况。肌糖原贮备量与运动能力密切相关, 肌糖原贮备量越高, 耐力运动时间越长。此外, 葡萄糖-果糖混合溶液可以使胃排空速率更快, 吸收更好, 引起的胃肠道问题更少。由此可见, 在持续时间较长的耐力运动中, 与补充单一糖类相比, 可通过适当调整糖类成分, 起到缓解运动疲劳, 提高运动表现的效果, 也可预防运动带来的低血糖。

4. 运动营养补充剂的选择与耐力运动表现

训练或比赛期合理补充运动营养补充剂可有效缓解耐力性运动项目运动性疲劳的产生, 耐力运动中抗氧化剂的补充如多酚、维生素 E、维生素 C、 β -胡萝卜素, 可激活细胞抗氧化相关信号通路, 清除过多自由基, 促进线粒体生物发生, 提高运动机能。Somerville [15]的随机对照试验显示, 运动前连续 7 天补充多酚(平均剂量 688 mg/d)可提高约 1.9%的运动表现。膳食纤维类也具有一定的抗氧化作用[16]。运动中氧自由基可通过攻击细胞膜上的多不饱和脂肪酸来降低细胞膜的通透性, 影响红细胞携氧能力, 使机体产生疲劳感。机体内脂质过氧化反应会因氧自由基过量而增强, 细胞膜通透性遭到破坏, 最终导致 ATP 合成减少, 加速疲劳感的产生, 运动能力减弱。而膳食纤维的抗氧化活性可增强运动期间自由基的清除能力, 提高生理机能, 延长运动时间。除此之外, 膳食纤维还具有提高弹跳力, 增强免疫力和促进骨骼肌损伤修复的作用。

其次, 缓冲类运动营养补充剂目前以碳酸氢钠和 β -丙氨酸多见。碳酸氢钠又被称为小苏打, 是一种抗酸剂或碱化剂, 能够中和或抵消酸性。Edge 等[17]研究发现, 在两组参与者训练量和强度无差异的情况下, 运动前摄入碳酸氢钠的女性运动员肌肉乳酸阈值有所提高, 同时运动疲劳时间也有所延长。 β -丙氨酸是一种由肝脏/食物产生的非蛋白氨基酸, 是肌肽的主要结构物质, 其可降低机体氧化应激, 促进运动后恢复, 提高神经肌肉疲劳阈值, 降低主观疲劳感。此外, 咖啡因和肌酸也是重要的运动增能与抗疲劳补剂。咖啡因可增强机体脂肪抗氧化、节省肌糖原, 还可提高运动员注意力并改善运动能力, 缓解疲劳。外源性补充肌酸可增加肌肉磷酸肌酸储备, 增强运动时 ATP 快速再生, 提高身体机能, 增强肌肉的爆发力和耐久力, 对耐力运动能力有益。值得一提的是, 甜菜根汁中的硝酸盐含量较高, 进入机体内会氧化还原为一氧化氮, 机体内一氧化氮浓度增高可改善运动时血液供应, 增强线粒体工作效率与肌肉收缩功能[18]。研究发现, 甜菜根汁有助于延长运动员的次最大强度力竭时间, 对运动员的心肺耐力有益。建议运动员在运动前连续 6 天, 每日分 2 次摄入 140 ml 甜菜根汁, 从而起到降低运动员心率, 提高运动表现的作用[19]。

5. 不同膳食类型与耐力运动表现

5.1. 素食饮食

素食是植物性饮食中的主要部分, 素食饮食可以将其定义为食用动物食品较低频率的饮食方式[20]。素食者分为四种类型: 1) 严格素食者, 禁食动物性食品; 2) 蛋素者, 可食用鸡蛋及其制品; 3) 奶素者, 可食用奶类及相关制品; 4) 蛋奶素者, 可食用鸡蛋、奶类及其制品。

素食饮食可有效调节机体氧化应激水平。素食中的多酚等抗氧化剂成分含量较高,对耐力运动可能存在有益影响。Potthast 等[21]发现,与杂食组相比,丙二醛在素食组表达较低,即素食增强了抗氧化反应。Fogarty 等[22]研究豆瓣菜摄入对运动能力的影响,发现因为豆瓣菜中富含抗氧化成分,如 β -胡萝卜素和 α -生育酚等物质,其能减轻力竭运动后 DNA 损伤和脂质过氧化,同时减少过氧化氢的积累。其次,素食饮食可减轻机体炎症反应。Craddock [23]曾报道,食用素食的耐力运动员血液中白介素 6 (Interleukin-6, IL-6)水平较低。素食中富含碳水化合物,可有效促进糖原储存,降低血液中 IL-6 水平,减轻炎症反应。素食饮食还可提高机体心血管功能。Wojciech Król [24]发现素食运动员心脏具有较好的收缩舒张功能。耐力运动员患动脉粥样硬化和心肌损伤的风险往往高于平均水平[25],素食中饱和脂肪含量低,不含胆固醇,可降低血浆脂质浓度,改善血管流通性,缓解动脉粥样硬化。

多项研究可以证明素食饮食在运动表现上未出现不良反应,因此可以作为一项可选择的膳食方案。目前暂不存在直接的研究证据证明素食饮食可以提高耐力运动员的运动水平,加之植物中蛋白质、锌和碘等营养物质含量较少,因此,仍需考虑与其他食物进行合理搭配与补充。

5.2. 无麸质饮食

麸质蛋白主要存在于小麦、大麦等谷物中,若机体长期摄入谷物制品,大量麸质蛋白可引起麸质蛋白相关性疾病,如自身免疫性疾病、乳糜泻疾病等。无麸质饮食(Gluten-Free diet, GFD)是一项需避免/严格限制含麸质食品摄入的饮食模式。Lis 等[26]通过调查运动员中由麸质蛋白引起疾病的患病率发现,910 名运动员中有 375 名耐力运动员坚持 GFD 饮食时间大于 50%,胃肠道症状得到改善的人数约为其中的一半。长期 GFD 会使运动员面临蛋白质含量低和微量营养素(B 族维生素、钙、维生素 D、铁和钾等)缺乏的风险,使运动员饮食模式发生转变,这些转变对运动员身体健康和运动能力可能有损害。由于目前无证据表明 GFD 对胃肠应激和运动耐力表现有直接益处,建议运动员合理使用无麸质饮食。

5.3. 低 FODMAP 饮食

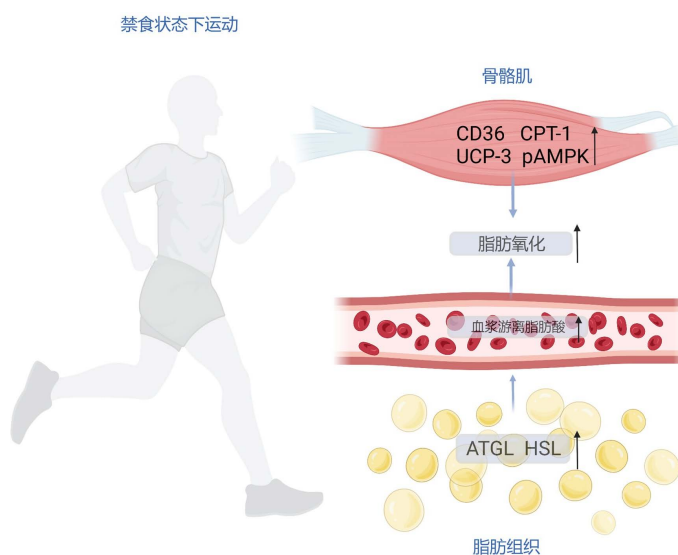
FODMAP 代表“发酵寡糖”(Fermentable Oligosaccharides)、“二糖”(Disaccharides)、“单糖”(Monosaccharides)“和”(and)“多元醇”(Polyols)。运动食品中小麦、蜂蜜和酸奶等 FODMAP 含量较高[27],当这类食物到达结肠时,结肠细菌发酵产生气体,诱发腔扩张并加重胃肠道症状(如腹胀),降低运动表现。例如,当机体大量消耗葡萄糖时易引起胃肿胀,其在自行车运动员身上较为多见[28]。低 FODMAP 饮食即运动员在运动期间食用低 FODMAP 食物,如玉米和藜麦等,以消除 FODMAP 对胃肠道系统的不良影响。调查研究发现,遵循短期低 FODMAP 饮食的运动员在运动和日常生活中胃肠道症状均有所减轻[29],Gaskel [30]也发现低 FODMAP 饮食是减轻运动相关胃肠道症状的有效方法。因此,低 FODMAP 饮食可以作为耐力运动员营养策略里的一项可靠选择。

5.4. 间歇性禁食

近年来间歇性禁食训练较为流行,包括隔日禁食(Alternate day fasting, ADF)、限时进食(Time restricted feeding, TRF)和宗教禁食(Ramadan IF, R-IF)(详见表 1)。禁食状态下运动可提高脂肪组织分解速率,刺激外周脂肪氧化,促使脂肪利用增加。Clayton 团队[31]研究发现:机体在空腹状态下运动较餐后运动燃脂效果提高 70%。Stellingwerff 等[32]对马拉松运动员进行 3 周训练后发现,间歇性禁食训练使机体循环胰岛素水平降低并增加肝糖原分解,对肌糖原水平无影响。同样,De Bock 等[33]研究报道,运动员经 6 周间歇性禁食训练后,血糖水平降低,但柠檬酸合成酶(Citrate synthetase, CS)和线粒体脂肪氧化关键酶活性显著增加,运动员耐力运动水平显著提高,即间歇性禁食可触发机体产生新的生理适应,有利于耐力运动表现。除此之外,Hassane Zouhal 等[34]人也证实了运动前进食会刺激胰岛素释放,脂肪组织中脂肪酸

动员受到抑制，CS 活性受到影响，削弱机体运动适应。

间歇性禁食提高耐力表现的原理可能在于(如图 2)：机体在禁食状态下运动，由于肝糖原合成和糖酵解减弱，血糖水平降低，而血液中甘油和 FFA 含量会因脂肪组织脂解而明显增多，同时运动使肌肉纤维中脂肪氧化相关基因表达水平上调，如脂肪酸转位酶、肉碱棕榈酰转移酶、解偶联蛋白以及 AMPK 活化蛋白激酶等，从而提高骨骼肌脂肪氧化水平，提高运动员耐力表现。



注：CD36 (脂肪酸转位酶)、CPT-1 (肉碱棕榈酰转移酶)、UCP-3 (解偶联蛋白)、p-AMPK (磷酸化腺苷酸活化蛋白激酶)、HSL (激素敏感性脂肪酶)、ATGL (甘油三酯脂肪酶)。

Figure 2. Energy supply during fasting training

图 2. 禁食训练状态下的能量供应特征

Table 1. Types of intermittent fasting commonly used in exercise

表 1. 常见的禁食训练方案

类型	方案	运动项目	发现
隔日禁食 (ADF)	禁食日与进食日交替进行	马拉松运动	胰岛素水平下降； 肝糖原分解增强[32]
		自行车运动	血糖水平降低； CS 和 β -HAD 活性增加[33]
限时进食 (TRF)	特定时间段内进食食物或饮料。 如 16:8 (禁食 16 h, 8 h 自由进食)	中长跑运动	体重显著下降； 葡萄糖、胰岛素水平无显著变化[35]
		自行车运动	BW、BMI 下降； VO_{2max} 无变化[36]
宗教禁食 (RIF)	根据特定日期和宗教习惯，一天 禁食时间从 11~22 h 不等	中长跑运动	BW、BMI 无变化； IL-6 短暂上升[37]

注：CS (柠檬酸合成酶)； β -HAD (β -羟酰基-CoA 脱氢酶)；BW (体重)；BMI (体重指数)； VO_{2max} (最大摄氧量)；IL-6 (白介素-6)。

6. 小结

科学训练策略与膳食营养相结合是提高耐力运动表现的重要因素。在科技助力竞技体育发展趋势下,耐力性项目运动成绩不仅取决于运动训练方法,同时与膳食营养干预密不可分。根据运动员自身身体条件及比赛项目所需,在运动前、中、后等不同阶段,有针对性的采用高脂低糖饮食、限制碳水化合物饮食、素食饮食、间歇性禁食等营养策略,合理使用运动营养补充剂,是耐力性项目运动员高效利用能量、提升身体机能、获得更佳运动表现的有力保障。

基金项目

江苏省体育局重大体育科研课题(编号: ST211102); 江苏省高校“青蓝工程”资助[2021]。

参考文献

- [1] Rothschild, J.A., Kilding, A.E. and Plews, D.J. (2020) What Should I Eat before Exercise? Pre-Exercise Nutrition and the Response to Endurance Exercise: Current Prospective and Future Directions. *Nutrients*, **12**, Article 3473. <https://doi.org/10.3390/nu12113473>
- [2] Noakes, T.D. (2022) What Is the Evidence That Dietary Macronutrient Composition Influences Exercise Performance? A Narrative Review. *Nutrients*, **14**, Article 862. <https://doi.org/10.3390/nu14040862>
- [3] Philp, A., Burke, L.M. and Baar, K. (2011) Altering Endogenous Carbohydrate Availability to Support Training Adaptations. *Nestlé Nutrition Institute Workshop Series*, **69**, 19-31. <https://doi.org/10.1159/000329279>
- [4] 邱俊. 生酮饮食在运动员中的应用思考[J]. 中国体育教练员, 2022, 30(3): 22-23.
- [5] 康杰, 魏彤. 生酮饮食对体重管理、肌肉合成以及运动表现的影响[J]. 体育科研, 2018, 39(1): 1-16.
- [6] Webster, C.C., Swart, J., Noakes, T.D., et al. (2018) A Carbohydrate Ingestion Intervention in an Elite Athlete Who Follows a Low-Carbohydrate High-Fat Diet. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **13**, 957-960. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0392>
- [7] Tzur, A. and Roberts, B. (2020) The Ketogenic Diet for Bodybuilders and Physique Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, **42**, 108-115. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000573>
- [8] Zinn, C., Wood, M., Williden, M., et al. (2017) Ketogenic Diet Benefits Body Composition and Well-Being But Not Performance in a Pilot Case Study of New Zealand Endurance Athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, **14**, Article 22. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0180-0>
- [9] Phinney, S.D., Bistrian, B.R., Evans, W.J., et al. (1983) The Human Metabolic Response to Chronic Ketosis without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation. *Metabolism*, **32**, 769-776. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(83\)90106-3](https://doi.org/10.1016/0026-0495(83)90106-3)
- [10] Volek, J.S., Freidenreich, D.J., Saenz, C., et al. (2016) Metabolic Characteristics of Keto-Adapted Ultra-Endurance Runners. *Metabolism*, **65**, 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.10.028>
- [11] White, A.M., Johnston, C.S., Swan, P.D., et al. (2007) Blood Ketones Are Directly Related to Fatigue and Perceived Effort during Exercise in Overweight Adults Adhering to Low-Carbohydrate Diets for Weight Loss: A Pilot Study. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, **107**, 1792-1796. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.07.009>
- [12] Jeukendrup, A.E., Moseley, L., Mainwaring, G.I., et al. (2006) Exogenous Carbohydrate Oxidation during Ultra Endurance Exercise. *Journal of Applied Physiology*, **100**, 1134-1141. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00981.2004>
- [13] Murray, R., Seifert, J.G., Eddy, D.E., et al. (1989) Carbohydrate Feeding and Exercise: Effect of Beverage Carbohydrate Content. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **59**, 152-158. <https://doi.org/10.1007/BF02396594>
- [14] 王竹影, 严政, 邵慧秋. 葡萄糖和果糖对小鼠运动能力影响的对比研究[J]. 体育与科学, 2000, 21(5): 32-35.
- [15] Somerville, V., Bringans, C. and Braakhuis, A. (2017) Polyphenols and Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, **47**, 1589-1599. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0675-5>
- [16] 张丹. 膳食纤维食品提高篮球运动员生理机能的作用[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(3): 231-232.
- [17] Domínguez, R., Cuenca, E., Maté-Muñoz, J.L., et al. (2017) Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review. *Nutrients*, **9**, Article 43. <https://doi.org/10.3390/nu9010043>
- [18] Nyakayiru, J., Jonvik, K.L., Trommelen, J., et al. (2017) Beetroot Juice Supplementation Improves High-Intensity Intermittent Type Exercise Performance in Trained Soccer Players. *Nutrients*, **9**, Article 314.

- <https://doi.org/10.3390/nu9030314>
- [19] Edge, J., Bishop, D. and Goodman, C. (2006) Effects of Chronic NaHCO₃ Ingestion during Interval Training on Changes to Muscle Buffer Capacity, Metabolism, and Short-Term Endurance Performance. *Journal of Applied Physiology*, **101**, 918-925. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01534.2005>
- [20] Satija, A. and Hu, F.B. (2018) Plant-Based Diets and Cardiovascular Health. *Trends in Cardiovascular Medicine*, **28**, 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2018.02.004>
- [21] Potthast, A.B., Nebl, J., Wasserfurth, P., *et al.* (2020) Impact of Nutrition on Short-Term Exercise-Induced Sirtuin Regulation: Vegans Differ from Omnivores and Lacto-Ovo Vegetarians. *Nutrients*, **12**, Article 1004. <https://doi.org/10.3390/nu12041004>
- [22] Fogarty, M.C., Hughes, C.M., Burke, G., *et al.* (2013) Acute and Chronic Watercress Supplementation Attenuates Exercise-Induced Peripheral Mononuclear Cell DNA Damage and Lipid Peroxidation. *British Journal of Nutrition*, **109**, 293-301. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000992>
- [23] Craddock, J.C., Neale, E.P., Peoples, G.E. and Probst, Y.C. (2020) Plant-Based Eating Patterns and Endurance Performance: A Focus on Inflammation, Oxidative Stress and Immune Responses. *Nutrition Bulletin*, **45**, 123-132. <https://doi.org/10.1111/mbu.12427>
- [24] Król, W., Price, S., Śliż, D., *et al.* (2020) A Vegan Athlete's Heart—Is It Different? Morphology and Function in Echocardiography. *Diagnostics*, **10**, Article 477. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10070477>
- [25] 魏琪, 苏晓东. 植物性饮食对运动能力的影响及建议[J]. 体育科技文献通报, 2021, 29(3): 179-181.
- [26] Lis, D.M., Stellingwerf, T., Shing, C.M., *et al.* (2015) Exploring the Popularity, Experiences, and Beliefs Surrounding Gluten-Free Diets in Nonceliac Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **25**, 37-45. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0247>
- [27] Lis, D.M. (2019) Exit Gluten-Free and Enter Low FODMAPs: A Novel Dietary Strategy to Reduce Gastrointestinal Symptoms in Athletes. *Sports Medicine*, **49**, 87-97. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01034-0>
- [28] Sloan, T.J., Jalanka, J., Major, G.A.D., *et al.* (2018) A Low FODMAP Diet Is Associated with Changes in the Microbiota and Reduction in Breath Hydrogen But Not Colonic Volume in Healthy Subjects. *PLOS ONE*, **13**, e0201410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201410>
- [29] Lis, D.M., Ahuja, K.D., Stellingwerf, T., *et al.* (2016) Case Study: Utilizing a Low FODMAP Diet to Combat Exercise-Induced Gastrointestinal Symptoms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **26**, 481-487. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0293>
- [30] Gaskell, S.K., Taylor, B., Muir, J., *et al.* (2020) Impact of 24-H High and Low Fermentable Oligo-, Di-, Monosaccharide, and Polyol Diets On Markers of Exercise-Induced Gastrointestinal Syndrome in Response to Exertional Heat Stress. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **45**, 569-580. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0187>
- [31] Slater, T., Mode, W.J.A., Pinkney, M.G., *et al.* (2022) Fasting before Evening Exercise Reduces Net Energy Intake and Increases Fat Oxidation, But Impairs Performance in Healthy Males and Females. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **33**, 11-22. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2022-0132>
- [32] Stellingwerf, T. (2012) Case Study: Nutrition and Training Periodization in Three Elite Marathon Runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **22**, 392-400. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.5.392>
- [33] De Bock, K., Derave, W., Eijnde, B.O., *et al.* (2008) Effect of Training in the Fasted State on Metabolic Responses during Exercise with Carbohydrate Intake. *Journal of Applied Physiology*, **104**, 1045-1055. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01195.2007>
- [34] Zouhal, H., Saeidi, A., Salhi, A., *et al.* (2020) Exercise Training and Fasting: Current Insights. *Open Access Journal of Sports Medicine*, **11**, 1-28. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S224919>
- [35] Brady, A.J., Langton, H.M., Mulligan, M., *et al.* (2021) Effects of 8 Wk of 16:8 Time-Restricted Eating in Male Middle- and Long-Distance Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **53**, 633-642. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002488>
- [36] Moro, T., Tinsley, G., Longo, G., *et al.* (2020) Time-Restricted Eating Effects on Performance, Immune Function, and Body Composition in Elite Cyclists: A Randomized Controlled Trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, **17**, Article 65. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00396-z>
- [37] Chennaoui, M., Desgorces, F., Drogou, C., *et al.* (2009) Effects of Ramadan Fasting on Physical Performance and Metabolic, Hormonal, and Inflammatory Parameters in Middle-Distance Runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **34**, 587-594. <https://doi.org/10.1139/H09-014>