

# 运动类营养补充剂对运动能力影响的研究进展

吕品\*

(河南工业职业技术学院, 南阳 473000)

**摘要:** 精心设计的饮食有助于改善身体机能并提升运动能力, 但是只要存在竞技运动, 运动员就希望通过通过摄取运动类营养补充剂来改善其表现, 这样的想法催生了数十亿美元的运动类营养补充剂行业。虽然很多公司都宣称他们的产品可以改善运动员的运动能力, 但是大多都没有客观的科学证据。鉴于此, 本文综述了近年运动类营养补充剂对运动能力影响的科学研究, 以为运动员选择合适的营养补充剂提供科学依据和参考。

**关键词:** 蛋白质; 肌酸; L-肉碱; 维生素

## Research progress on the effects of sports nutritional supplements on exercise ability

LV Pin\*

(Henan Vocational and Technical College of Industry, Nanyang 473000, China)

**ABSTRACT:** A well-designed diet can help improve physical function and improve athletic performance, but as long as there are competitive sports, athletes hope to improve their performance by taking sports nutritional supplements. This idea has spawned billions of dollars in sports category of nutritional supplement industry. Although many companies claim that their products can improve the athletic ability of athletes, most of them have no objective scientific evidence. This paper reviewed recent scientific studies on the impact of sports nutritional supplements on exercise performance, in order to provide a scientific basis and reference for athletes to choose appropriate nutritional supplements.

**KEY WORDS:** protein; creatine; L-carnitine; vitamin

## 0 引言

营养补充剂是一类特殊的食品, 不同于人们日常吃的食物, 也并非营养强化剂。营养补充剂大多制作成丸、片、胶囊、冲剂或口服液的形式, 在进食食物的同时完成营养强化, 独立于日常进食之外服用, 但不能代替普通食物。美国的《膳食补充剂健康教育法》中将膳食补充剂定义为一种为了补充膳食成分的产品, 可能含有维生素、矿物质、草本或其他植物、氨基酸等, 以此增加人们每日从食物摄取的膳食成分或者这些成分的浓缩物、代谢物、提

取物或组合的产品等<sup>[1]</sup>。

为运动员提供合理的饮食可以满足其能量和营养的摄入需要, 但是目前体育行业普遍认为以适当的训练为基础, 适当加入一些运动类营养补充剂可以改善运动员的身体机能, 从而增强运动员的运动能力, 这个理念也催生了估值数十亿美元的运动类营养补充剂行业。运动类营养补充剂是根据运动科学的理论知识研制和生产, 从自然食物中提炼精制而成的精华营养素, 容易消化吸收, 并且可以针对不同的体育运动有选择性地使用。虽然某些公司宣传他们的产品具有改善身体机能, 提高运动能力的作用, 但

\*通信作者: 吕品, 主要研究方向为社会体育、体育教学。E-mail: tietao1987ga@163.com

\*Corresponding author: LV Pin, Henan Vocational and Technical College of Industry, Nanyang 473000, China. E-mail: tietao1987ga@163.com

是通常没有客观科学的证据支持<sup>[2]</sup>。因此,本文综述了近年对运动类营养补充剂对运动能力影响的科学研究,以期对运动员选择合适的营养补充剂提供科学依据和参考。

## 1 蛋白质类

### 1.1 运动员的蛋白质需求

常见的蛋白质类营养补充剂中最常见的是乳清蛋白和大豆蛋白。乳清蛋白中主要含有 $\alpha$ -乳白蛋白、 $\beta$ -乳球蛋白、免疫球蛋白、乳铁蛋白,主要用于促进机体蛋白质合成、提高机体免疫功能、延缓中枢疲劳的发生和发展、提高机体的抗氧化能力以及运动员提供能量。大豆蛋白的主要功能是降低血浆甘油三酯和低密度脂蛋白水平,缓解机体钙流失。足够的蛋白质摄入量对任何运动员都至关重要,传统的蛋白质摄入量建议只是追求氮平衡,但是达到氮平衡只能防止营养缺乏而不能改善身体机能,因此运动员需要更多的蛋白质摄入<sup>[3]</sup>,当前运动员的蛋白质推荐每日摄入量(recommended daily allowance, RAD)大于0.8 g/(kg·d)<sup>[4]</sup>,且力量型运动员比耐力性运动员每日蛋白质需求更高<sup>[5-6]</sup>。在运动训练或比赛达到激烈状况时临时补充蛋白质可以改善其身体机能及运动表现,而且在运动后0~2 h内摄入0.25~0.3 g/kg的优质蛋白可以提供约10 g的必需氨基酸<sup>[7]</sup>,进而可以最大程度地刺激肌肉合成蛋白和其相关的信号蛋白mTOR、p70s6k、Akt的合成<sup>[8]</sup>。但是蛋白质的补充并不是越多越好,JÄGER等<sup>[9]</sup>发现,运动员的每日蛋白质摄入量超出1.2~2.0 g/(kg·d)或单次补充剂量超过0.3 g/kg并没有额外的提高运动员运动能力的好处。COSTA等<sup>[10]</sup>发现,蛋白质补充剂量为1.5 g/(kg·d)与3.0 g/(kg·d)相比,在保持碳水化合物摄入相同的情况下,并没有改善运动员运动能力的作用。因此营养与营养学院(Academy of Nutrition and Dietetics, AND),加拿大营养师(Dietitians of Canada, DC)和美国运动医学学院(American College of Sports Medicine, ACSM)建议运动员全天每3~5 d补充0.30 g/kg的剂量服用蛋白质类营养补充剂<sup>[9]</sup>。

### 1.2 蛋白质类运动补充剂对运动能力的影响

目前,对于增加蛋白质摄入对耐力运动员的运动能力影响的研究较少。MACDERMID等<sup>[11]</sup>在能量均衡的高蛋白/中度碳水化合物饮食的前提下,添加蛋白质类营养补充剂对耐力运动的运动员的影响。他以自行车运动员作为研究对象,在进行为期7 d的蛋白质类运动补充剂的干预前后,分别进行了一项自定进度的自行车耐力时间实验,结果发现,摄入了蛋白质类营养补充剂的自行车运动员比对照组的运动员多坚持了20%的时间,说明蛋白质类营养补充剂可以在短期内提高运动员的耐力。VALENTINE等<sup>[12]</sup>发现让举重运动员摄入蛋白质类补充剂,12~24 h后发现这些运动员肌肉中肌肉损伤的标志物(肌酸激酶)的含

量显著降低,说明蛋白质类补充剂可以缓解耐力运动员的肌肉酸痛感,以此提高其运动能力。总的来说,在短期内,为耐力型运动员添加蛋白质类营养补充剂可以改善其耐力,从而提高其运动能力;在剧烈的耐力运动期间或之后添加蛋白质类补充剂可能会抑制与肌原纤维损害相关的血浆蛋白质的升高,并减少肌肉酸痛的感觉,从而提高运动员的运动能力。

对于对抗型运动(如篮球等),大多数研究结果都是补充蛋白质类运动补充剂没有提高运动能力的作用。HOFFMAN等<sup>[13]</sup>在一项针对大学女性橄榄球运动员的研究中,连续12周为实验组补充蛋白质类补充剂(每日2次,每次42 g),结果发现,与安慰剂组相比,两者的运动能力并没有统计学意义上的不同。HIDA等<sup>[14]</sup>研究发现,与对照组相比,每日补充15 g蛋白质类补充剂对于运动员的下肢力量并没有改善作用。JOSSE等<sup>[15]</sup>实验发现,与安慰剂组相比,为女性运动员补充36 g蛋白质类补充剂仅仅可以改善最大卧推压力强度。但是也有少数研究发现蛋白质类运动补充剂可以改善抵抗型运动的运动员的运动能力,TAYLOR等<sup>[16]</sup>报道,让大学女子篮球运动员连续8周在运动前和运动后摄入蛋白质类补充剂与麦芽糊精安慰剂相比,可以显著增加上身力量,从而提高其运动能力。综上所述,在蛋白质类运动补充剂是否可以改善运动员的运动能力上并没有定论,摄入蛋白质类运动补充剂可能对运动员的运动能力的影响还需要后续研究。

## 2 肌酸

### 2.1 运动员的肌酸需求

肌酸是由精氨酸、甘氨酸以及甲硫氨酸3种氨基酸合成的物质,一般存在鱼、肉等食物中。肌酸对人体运动能力的作用是通过增加骨骼肌、心肌和神经系统的能源合成与储备,以及促进肌纤维摄取蛋白的能力。人体通过食物或膳食得到的肌酸很容易被小肠吸收,但是,机体在摄入瘦肉中肌酸的同时,往往会摄入一定量的脂肪,而膳食中过高的脂肪或过低的糖又会抑制肌肉对肌酸的摄取能力,并降低肌肉中肌酸的利用率,从而影响肌酸的效用,因此,补充适量的外援性肌酸对于提高肌肉中肌酸的含量及运动能力尤为重要。每天在正常饮食中加入1~2 g肌酸,运动员的肌肉肌酸储备饱和度可以达到60%~80%。HARRIS等<sup>[17]</sup>认为运动员可以每周5~7 d,每日4次,每次补充5 g的肌酸类运动补充剂。但是,肌酸补充剂需要长期服用才能达到增加肌酸浓度,改善肌酸合成不足的问题。一旦肌肉肌酸储备达到饱和,仅需每日补充3~5 g肌酸类运动补充剂来维持肌酸储备。GREEN<sup>[18]</sup>认为,对于运动量较大的运动员,每天可能要补充5~10 g肌酸类营养补充剂才能维持肌酸储备。HULTMAN<sup>[19]</sup>发现,每天摄入3 g肌酸类运

动补充剂,持续 28 d 后,可以使运动员的肌肉肌酸含量逐渐增大,但是对运动表现和训练适应性的影响较小。GREENHAFF 等<sup>[20-21]</sup>发现,在肌酸储备量增大后停止肌酸类补充剂的摄入,一般需要 4~6 周,肌酸含量才会回复之前的水平。WALLIMANN 等<sup>[22]</sup>建议,运动员应该每天摄入 3 g 肌酸类运动补充剂。

## 2.2 肌酸类运动补充剂对运动能力的影响

KREIDER 等<sup>[23]</sup>总结了文献中肌酸对运动员运动能力的积极影响,包括加快了单次和往返短跑的速度,增加了训练过程中的肌肉质量与力量适应性,无氧运动的阈值增加,恢复能力增强,训练强度忍受度增强等。大量实验表明,肌酸可以增强肌肉的可用性,并由此提高青少年的急性运动能力和训练适应性<sup>[24-28]</sup>和年轻成年人的运动能力<sup>[29-30]</sup>。TARNOPOLSKY 等<sup>[31]</sup>总结了文献中肌酸类运动营养补充剂可以起到正面帮助的运动,包括可以显著提高 60~200 m 田径短跑、50 m 短距离游泳、长距离骑行、篮球、曲棍球、美式足球、冰球、曲棍球等运动的成绩,可以减少高山滑雪、皮划艇、中长田径比赛、游泳比赛的肌肉酸中毒现象。国际运动营养学会(International Society of Sports Nutrition, ISSN)在肌酸类运动补充剂的使用方面已经得出结论,在增加高强度运动能力和控制体重方面,肌酸一水合物是目前运动员可以使用的最有效的运动营养补充剂<sup>[31-34]</sup>。目前,运动员可以自行购买和使用肌酸类运动营养补充剂,美国每年消耗约 4000000 kg 的肌酸,是肌酸使用量最高的国家<sup>[35-37]</sup>。目前尚无研究报告短期或长期补充肌酸有任何不良作用或溶血作用,而以上研究均报告了该类营养补充剂对运动员的运动表现具有正面影响。

## 3 L-肉碱

### 3.1 运动员的 L-肉碱需求

在机体长时间、高强度的运动下,L-肉碱可以加速体内脂肪的氧化分解,给予机体相应的营养补给。L-肉碱促进了脂肪酸进入线粒体的氧化分解,是脂肪酸转运的载体。L-肉碱可减少机体的糖原消耗,效缓解机体疲劳。在竞技运动中,运动员常以 L-肉碱进行减脂抗疲劳。进行常规饮食的人类体内中 75%的 L-肉碱是从食物中获取的,而食物中的 L-肉碱主要来自于牛肉、鹿肉等红肉,这些肉类中含有 140~190 mg/100 g 的肉碱<sup>[38]</sup>。肉类中 L-肉碱的生物利用率大概是 54%~86%<sup>[39]</sup>,但是实验表明,营养补充剂中的肉碱的吸收率很低,单次服用 2 g 肉碱类运动营养补充剂,吸收率仅为 9%~25%<sup>[40]</sup>,这可能是由于一部分肉碱在肠道中被微生物代谢吸收了。动物实验表明,L-肉碱在肠道中可能被微生物代谢,产生中间体化合物三甲胺,三甲胺随后被肠道吸收,并在肝脏中氧化生成三甲胺-N-氧化物。目前,还没有机构对运动员每日的肉碱推荐摄入量做出相

关规定,但是目前有研究证明 L-肉碱可能对人体健康有一些负面作用。

L-肉碱在体内主要依赖肾脏进行代谢,正常情况下,L-肉碱可以在肾小球完全过滤,并在肾小管被完全重吸收。L-肉碱以肉碱酯或酰基肉碱的形式残留在尿液中并排出体外。一些实验证实,L-肉碱的摄入量与肾脏功能具有一定的剂量效应关系。LIU 等<sup>[41]</sup>研究发现,给大鼠口服 0.3~0.6 g/kg L-肉碱,持续 8 周后,大鼠的肾脏重量以及血脂水平都出现了下降的趋势。而且 L-肉碱可以通过有机离子转运蛋白改变肾脏蛋白质含量,进而导致肾脏功能障碍<sup>[42]</sup>。L-肉碱对运动员的肾脏健康是否存在益处或风险在学术界还没有定论,但是到目前为止,适当补充该类运动补充剂对于健康成年人来说是安全的。从各种临床报告来看,每日服用 6000 mg 以下 L-肉碱都没有严重的不良反应,只有一些轻度症状,如尿臭、肠胃气胀、恶心、呕吐、头痛、皮疹等<sup>[43]</sup>。因此,现在无法确定运动员的 L-肉碱需求量。

### 3.2 L-肉碱对运动能力的影响

L-肉碱具有多种生理功能。研究表明,运动员在补充 L-肉碱后,蛋白质的代谢产物—氨的清除速度明显加快<sup>[44-45]</sup>。MADEDDU 等<sup>[46]</sup>观察到,补充 L-肉碱在显著降低体重的同时可提高运动能力。另有研究表明,摔跤运动员在补充 L-肉碱后,疲劳消除的速度显著升高<sup>[47]</sup>。还有学者实验发现,长期补充 L-肉碱可升高竞技运动员血浆睾酮含量,加速脂肪的氧化分解,改善心脏功能,提高运动员的有氧运动能力<sup>[48]</sup>。L-肉碱不仅具有促进脂肪酸氧化的功能,还能增加乙酰辅酶 A 的浓度,并促进乙酰基的清除,故 L-肉碱可参与酮体的生成,故 L-肉碱作为一种营养补剂被广泛应用于减肥和运动训练中。

运动导致的肌肉损伤和疼痛可能会对运动员的运动能力有一定负面影响,而 L-肉碱可以通过各种机制帮助修复各种运动损伤。MAGGINI 等<sup>[49]</sup>以 12 个成年运动员作为研究对象,其中 4 名运动员每天摄入 2 g L-肉碱,持续 5 d,实验组的运动员在服药初期,运动后的力量输出显著增大。但是服药 3 h 后进行第二轮实验时,实验组与安慰剂组并没有显著差异,说明 L-肉碱只在短期有加快肌肉修复的作用。GIAMBERARDINO 等<sup>[50]</sup>研究发现 L-肉碱可以缓解疼痛、压痛,而且其体内肌肉损伤的标志物——肌酸激酶的含量显著减少,这说明 L-肉碱运动补充剂可以有效降低组织损伤和胞质蛋白的流失。VOLEK 等<sup>[51]</sup>的研究发现,L-肉碱可以有效缓解运动造成的组织缺氧,肌肉损伤以及迟发性肌肉酸痛(delayed onset muscle soreness, DOMS),而且可以显著降低肌红蛋白等胞浆蛋白以及激素激酶、丙二醛等的含量,也可以显著减少嘌呤的代谢产物,如次黄嘌呤以及黄嘌呤氧化酶。MIRAJ 等<sup>[52]</sup>认为,每天补充 1~2 g L-肉碱可以在一定程度上帮助运动员提高运动能力,他们

实验发现,连续 3 周每天为运动员补充相当于 2 g *L*-肉碱的 *L*-肉碱-酒石酸盐可增加肌肉细胞上雄激素受体的水平,从而改善运动后恢复所需的蛋白质信号传导。总之,对运动员来说,短期内 *L*-肉碱对高强度训练运动损伤和肌肉疼痛的缓解有较显著的效果,因此, *L*-肉碱可以在比赛和训练中帮助运动员提高运动能力。

## 4 维生素

### 4.1 运动员的维生素需求

运动员对维生素的需要量较多。一方面是运动时机体能量消耗增加,加速了代谢过程,各种酶的活性增加,使得维生素消耗相应增多;同时因大量排汗,使得水溶性维生素尤其是维生素 C 丢失。另一方面,体内必须有充足的维生素储备,这样可改善机体工作能力,提高运动成绩。运动员在摄入维生素不足时,会导致运动能力下降,产生疲劳,抗病能力降低,容易发生损伤,且伤后的康复较慢。其中,维生素 C 可以促进生物氧化,促进物质代谢,增加大脑中的氧含量,从而减轻疲劳,提高运动能力。维生素 B<sub>1</sub> 在体内参与糖中间代谢中丙酮酸和  $\alpha$ -酮戊二酸的氧化脱羧反应,对释放能量起着重要作用。缺乏维生素,丙酮酸堆积,降低能量供应,影响运动能力,维生素 E 能促进毛细血管增生,改善微循环,增加氧的利用率,改善肌肉的营养,增强心脏的功能,提高神经系统的工作能力,增强机体耐力<sup>[53-55]</sup>。

### 4.2 维生素对运动能力的影响

维生素是人体不能合成而依靠外源补充的必须营养素。研究认为维生素 A、B、C、E 都有可以有效抑制细胞的脂质氧化,具有强的抗氧化性和自由基清除能力。维生素 A 是通过调控机体硒蛋白 Trx R 的基因表达及信号通路 MAPK 调节花生四烯酸(arachidonic acid oil, ARA)释放,通过调控硒蛋白 Trx R 的基因表达调节 NO 的合成以发挥其抗氧化功能<sup>[56-57]</sup>。适量补充维生素 A 有利于机体运动疲劳恢复,提高运动能力。维生素 B 的缺乏可使人体运动能力下降。WOOL 等<sup>[57]</sup>的研究表明,维生素 B 族能够明显的延长小鼠的游泳时间、增加肝糖原含量和降低 BLA 含量。研究发现给 45 岁以上健康人持续 12 周补充 6 mg/d 或 25 mg/d 的维生素 B<sub>2</sub> 能够改善血浆酸吡哆醛水平和红细胞内 GSH-Px 的活性<sup>[58]</sup>, SMITH 等<sup>[59]</sup>的研究表明维生素 B<sub>2</sub> 对于提高运动耐力有较好的效果。研究发现限制维生素 B<sub>6</sub> 摄入,机体红细胞内的谷胱甘肽合成速受到影响<sup>[60]</sup>,谷胱甘肽下降会引起 AMPK 活性降低<sup>[61]</sup>。顾洪雁等<sup>[62]</sup>的动物实验证实,连续 15 d 给小鼠补充 8 mg/d 的维生素 C,小鼠机体的 SOD 活性增强、MDA 含量降低及脂质过氧化产生的自由基减少。金其贯等<sup>[63]</sup>实验研究发现,连续 8 周给

大鼠灌胃 50 mg 的维生素 E 并进行游泳训练,大鼠的血浆内皮素下降和一氧化氮升高。TAULER 等<sup>[64]</sup>研究表明,复合维生素能够显著的提高运动员机体的抗氧化性及抑制运动中产生氧自由基,但是当机体的维生素不足和过量时,都会引起运动能力下降。如何根据运动量和强度补充适量维生素,维生素如何复合以及如何与其他有机成分复合联合使用提高机体运动能力的机制,未来还需进行更多的探索研究。

## 5 结束语

长期以来,蛋白质类营养补充剂一直是学术界的研究热点,但是对于蛋白质类营养补充剂是否可以有效提高运动员的运动能力一直没有定论;对于肌酸类运动营养补充剂,目前尚无研究报告短期或长期补充该类补充剂有任何不良作用或溶血作用,而大量研究则报告了该类营养补充剂对运动员的运动能力具有一定提高作用,因此此类营养补充剂目前很受运动员的欢迎;多项研究证实 *L*-肉碱确实有加速运动损伤修复,提高运动能力的作用,但是 *L*-肉碱对肾脏的毒性还没有定论,因此不建议运动员长期服用;各类维生素都对运动员的运动能力提高具有一定积极作用,因此运动员可以适量补充维生素补充剂。未来,我们可以探究各种营养物质对身体健康的影响以及对运动员运动能力的影响,这样不仅有利于运动营养食品开发与产业发展,同时,能帮助运动员合理的应用并实现得到更好成绩的运动目标。

## 参考文献

- [1] 王思. 能量补充类运动食品的研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, (14): 4568-4573.  
WANG S. Research status of energy supplement sports food [J]. J Food Saf Qual, 2020, (14): 4568-4573.
- [2] BERACRB DRRC. Plant-derived natural agents as dietary supplements for the regulation of glycosylated hemoglobin: A review of clinical trials [J]. Clin Nutr, 2020, 39(2): 331-342.
- [3] VITALE K, GETZIN A. Nutrition and supplement update for the endurance athlete: Review and recommendations [J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1289-1299.
- [4] GILLEN JB, WEST DWD, Williamson EP, et al. Low-carbohydrate training increases protein requirements of endurance athletes [J]. Med Sci Sport Exerc, 2019, 51(11): 1-5.
- [5] LDN EKMR, HILARY TR. The safe recipe style guide: A new tool to improve food safety [J]. J Acad Nutr Diet, 2020, 120(4): 660-662.
- [6] PHILLIPS SM, VAN LLJC. Dietary protein for athletes: From requirements to optimum adaptation [J]. J Sports Sci, 2011, 29(1): 29-38.
- [7] KERKSICK CM, ARENT S, SCHOENFELD BJ, et al. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2017, (14): 33-38.
- [8] NOAKES TD. Physiological models to understand exercise fatigue and

- the adaptations that predict or enhance athletic performance [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 2000, (10): 123–145.
- [9] JÄGER R, KERKSICK CM, CAMPBELL BI, *et al.* International society of sports nutrition position stand: Protein and exercise [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2017, (12): 14–20.
- [10] COSTA RJS, HOFFMAN MD, STELLINGWERFF T. Considerations for ultra-endurance activities: Part 1—nutrition [J]. *Res Sports Med*, 2019, (27): 166–181.
- [11] MACDERMID PW, STANNARD SR. A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: Effects on endurance cycling performance [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2006, (16): 65–77.
- [12] VALENTINE RJ, SAUNDERS MJ, TODD MK, *et al.* Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2008, (18): 363–378.
- [13] HOFFMAN JR, RATAMESS NA, KANG J, *et al.* Effect of protein intake on strength, body composition and endocrine changes in strength/power athletes [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2006, (3): 12–18.
- [14] HIDA A, HASEGAWA Y, MEKATA Y, *et al.* Effects of egg white protein supplementation on muscle strength and serum free amino acid concentrations [J]. *Nutrients*, 2012, (4): 1504–1517.
- [15] JOSSE AR, TANG JE, TARNOPOLSKY MA, *et al.* Body composition and strength changes in women with milk and resistance exercise [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, (42): 1122–1130.
- [16] TAYLOR LW, WILBORN C, ROBERTS MD, *et al.* Eight weeks of pre- and post exercise whey protein supplementation increases lean body mass and improves performance in division III collegiate female basketball players [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2016, (41): 249–254.
- [17] HARRIS RC, SODERLUND K, HULTMAN E. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation [J]. *Clin Sci*, 1992, 83(3): 367–374.
- [18] GREEN AL. Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans [J]. *Am J Physiol*, 1996, 271(5): 821–826.
- [19] HULTMAN E. Muscle creatine loading in men [J]. *J Appl Physiol*, 1996, 81(1): 232–237.
- [20] GREENHAFF PL. Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man [J]. *Clin Sci*, 1993, 84(5): 565–571
- [21] KIM HJ. Studies on the safety of creatine supplementation [J]. *Amino Acids* 2011, 40(5): 1409–1418.
- [22] WALLIMANN T, TOKARSKA-SCHLATTNER M, SCHLATTNER U. The creatine kinase system and pleiotropic effects of creatine [J]. *Amino Acids*, 2011, 40(5): 1271–1296.
- [23] KREIDER RB, JUNG YP. Creatine supplementation in exercise, sport, and medicine [J]. *J Exerc Nutr Biochem*, 2011, 15(2): 53–69.
- [24] JULEN FL, DIEGO FL, JULIO CG, *et al.* Effect of ten weeks of creatine monohydrate plus HMB supplementation on athletic performance tests in elite male endurance athletes [J]. *Nutrients*, 2020, 12(1): 2–14.
- [25] GUINGAND DLD, PALMER KR, SNOW RJ, *et al.* Risk of adverse outcomes in females taking oral creatine monohydrate: A systematic review and meta-analysis [J]. *Nutrients*, 2020, 12(6): 12–16
- [26] WHINTON AK, DONAHOE K, GAO R, *et al.* Repeated application of a novel creatine cream improves muscular peak and average power in male subjects [J]. *J Streng Cond Res*, 2020, (6): 12–15.
- [27] CUTSEM JV, ROELANDS B, PLUYM B, *et al.* Can creatine combat the mental fatigue-associated decrease in visuomotor skills? [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, (1): 1–5.
- [28] SILVA AJ. Effect of creatine on swimming velocity, body composition and hydrodynamic variables [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2007, 47(1): 58–64.
- [29] GALVAN E. Acute and chronic safety and efficacy of dose dependent creatine nitrate supplementation and exercise performance [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2016, (13): 12.
- [30] VOLEK JS. The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to short-term resistance training overreaching [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2004, 91(5-6): 628–637.
- [31] TARNOPOLSKY MA, MACLENNAN DP. Creatine monohydrate supplementation enhances high-intensity exercise performance in males and females [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2000, 10(4): 452–463.
- [32] ZIEGENFUSS TN. Effect of creatine loading on anaerobic performance and skeletal muscle volume in NCAA division I athletes [J]. *Nutrition*, 2002, 18(5): 397–402.
- [33] AYOAMA R, HIRUMA E, SASAKI H. Effects of creatine loading on muscular strength and endurance of female softball players [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2003, 43(4): 481–487.
- [34] JOHANNSMEYER S. Effect of creatine supplementation and drop-set resistance training in untrained aging adults [J]. *Exp Gerontol*, 2016, (83): 112–119.
- [35] JAGER R. Analysis of the efficacy, safety, and regulatory status of novel forms of creatine [J]. *Amino Acids*, 2011, 40(5): 1369–1383.
- [36] FRACZEK B. Prevalence of the use of effective ergogenic aids among professional athletes [J]. *Rocz Panstw Zakl Hig*, 2016, 67(3): 271–278.
- [37] NCAA. National Study of Substance Use Habits of College Student-Athletes. 2014. [EB/OL]. [2017-03-05]. [http://www.ncaa.org/sites/default/files/Substance%20Use%20Final%20Report\\_FINAL.pdf](http://www.ncaa.org/sites/default/files/Substance%20Use%20Final%20Report_FINAL.pdf). Accessed 22 Apr 2015.
- [38] VAZ FM, WANDERS RJ. Carnitine biosynthesis in mammals [J]. *Biochem J*, 2002, (361): 417–429.
- [39] REBOUCHE CJ, CHENARD CA. Metabolic fate of dietary carnitine in human adults: Identification and quantification of urinary and fecal metabolites [J]. *J Nutr*, 1991, (121): 539–546.
- [40] HARPER P, ELWIN CE, CEDERBLAD G. Pharmacokinetics of bolus intravenous and oral doses of l-carnitine in healthy subjects [J]. *Eur J Clin Pharmacol*, 2019, (35): 69–75
- [41] LIU L, ZHANG D, WANG M, *et al.* The adverse effects of long-term l-carnitine supplementation on liver and kidney function in rats [J]. *Hum Exp Toxicol*, 2015, (34): 1148–1161.
- [42] KRAEMER WJ. Nutrition and enhanced sports performance || physiological basis for creatine supplementation in skeletal muscle and the central nervous system [J]. 2019, (1): 581–594.
- [43] HATAMKHANI S, KARIMZADEH I, ELYASI S, *et al.* Carnitine and sepsis: a review of an old clinical dilemma [J]. *J Pharm Pharm Sci*, 2013, 16: 414–423.
- [44] 付乐. L-肉碱及运动对超重小鼠心肌 H-FABP 和 PPAR $\alpha$  的影响[D]. 南京: 南京体育学院, 2015.
- FU L. The effect of L-carnitine and exercise on H-FABP and PPAR $\alpha$  in the

- myocardium of overweight mice [D]. Nanjing: Nanjing Institute of Physical Education, 2015.
- [45] 甄静. 补充左旋肉碱结合运动对体重正常和超重大学生脂代谢及最大摄氧量的影响[D]. 南京: 南京体育学院, 2014.
- ZHEN J. The effect of *L*-carnitine supplementation combined with exercise on the lipid metabolism and maximum oxygen uptake of normal-weight and overweight students [D]. Nanjing: Nanjing Institute of Physical Education, 2014
- [46] MADEDDU C, DESSI M, PANZONE F, *et al.* Randomized phase III clinical trial of a combined treatment with carnitine + celecoxib +/- megestrol acetate for patients with cancer-related anorexia/cachexia syndrome [J]. *Clin Nutr*, 2012, 31(2): 176–182
- [47] MELS CM, JANSEN VRP, WESTHUIZEN FH, *et al.* Increased excretion of  $\epsilon$ -carnitine species after a therapeutic acetylsalicylic acid dose: Evidence for an inhibitory effect on short-chain fatty acid metabolism [J]. *ISRN Pharm*, 2011, (2011): 851870.
- [48] 彭丽娜, 王东良. 外源性补充左旋肉碱及不同强度运动对骨骼肌线粒体功能的影响[J]. 甘肃科技, 2009, (6): 42–45.
- PENG LN, WANG DL. The effect of exogenous supplementation of *L*-carnitine and different intensity exercises on skeletal muscle mitochondrial function [J]. *Gansu Sci Technol*, 2009, (6): 42–45.
- [49] MAGGINI S, BÄNZIGER KR, WALTER P. *L*-carnitine supplementation results in improved recovery after strenuous exercise—A preliminary study [J]. *Ann Nutr Metab* 2000, (44): 86–88.
- [50] GIAMBERARDINO MA, DRAGANI L, VALENTE R, *et al.* Effects of prolonged *L*-carnitine administration on delayed muscle pain and ck release after eccentric effort [J]. *Int J Sports Med*, 1996, (17): 320–324.
- [51] VOLEK JS, KRAEMER WJ, RUBIN MR, *et al.* *L*-carnitine *L*-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress [J]. *Am J Physiol Endocrinol*, 2002, (282): 474–482.
- [52] MIRAJ SS. Benefits of vitamin D in sport nutrition [J]. *Sports*, 2019, (1): 497–508.
- [53] DANA M, LIS K. Effects of different vitamin-C enriched collagen derivatives on collagen synthesis [J]. *Int J Sport Nutr Exercise Metab*, 2019, (1): 14–20.
- [54] PRITCHETT KL, PRITCHETT RC, STARK L, *et al.* Effect of vitamin D supplementation on 25(OH)D status in elite athletes with spinal cord injury [J]. *Int J Sport Nutr Exercise Metab*, 2019, 29: 18–23.
- [55] HALLIDAY TM, PETERSON NJ, THOMAS JJ, *et al.* Vitamin D status relative to diet, lifestyle, injury and illness in college athletes [J]. *Med Sci Sports Exercise*, 2010, (42): 335–343.
- [56] 金鹿, 闫素梅. 维生素 A 抗氧化功能的机制[J]. 动物营养学报, 2015, 27(12): 3671–3676.
- JIN L, YAN SM. The mechanism of vitamin A antioxidant function [J]. *J Anim Nutr*, 2015, 27(12): 3671–3676.
- [57] WOOL FK, MANORE MM. B-vitamin and exercise: does exercise alter requirements? [J]. *Int J Sport Nutr Exercise Metab*, 2006, 16(5): 453–484.
- [58] 韩磊, 马爱国, 梁惠. 不同剂量维生素 A 摄入对大鼠 DNA 损伤的影响 [J]. 中国公共卫生, 2004, 20(8): 943–945.
- HAN L, MA AG, LIANG H. Effects of different doses of vitamin A intake on DNA damage in rats [J]. *Chin Pub Health*, 2004, 20(8): 943–945.
- [59] SMITH GI, ATHERTON P, REEDS DN, *et al.* Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: A randomized controlled trial [J]. *Am J Clin Nutr*, 2011, 93(2): 402–412
- [60] LAMERS Y, OROURKE B, UILBERT IR, *et al.* Vitamin B<sub>6</sub> restriction tends to reduce the red blood cell glutathione synthesis rate without affecting red blood cell or plasma glutathione concentrations in healthy men and women [J]. *Am J Clin Nutr*, 2009, 90(2): 336–343.
- [61] GUAN Y, CUI ZJ. Celastrol attenuates oxidative stress in the skeletal muscle of diabetic rats by regulating the-AMPK- PGC1 $\alpha$ -SIRT3 signaling pathway [J]. *Int J Mol Med*, 2016, 37(5): 1229–1238.
- [62] 顾洪雁, 张媛英, 翟静, 等. 维生素 C 和芦丁对力竭运动小鼠组织自由基代谢的影响[J]. 中国临床康复, 2005, (44): 144–146.
- GU HY, ZHANG YY, ZHAI J, *et al.* Effects of vitamin C and rutin on free radical metabolism in exhaustive exercise mice [J]. *Chin Clin Rehab*, 2005, (44): 144–146.
- [63] 金其贯, 徐碧君. Vitamin E 对大运动量大鼠内皮细胞内分泌功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19: 278–281.
- JIN QG, XU BJ. Effect of vitamin E on endocrine function of endothelial cells in rats with high exercise [J]. *Chin J Sport Med*, 2000, 19: 278–281.
- [64] TAULER P, AGUILO A, FUENTESPINA E, *et al.* Diet supplementation with vitamin E, vitamin C and beta-carotene cocktail enhances basal neutrophil antioxidant enzymes in athletes [J]. *Pflügers Archiv*, 2002, 443(5-6): 719–797.

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介

吕品, 主要研究方向为社会体育、体育教学。

E-mail: tietao1987ga@163.com