

肌酸类运动营养品的研究现状及其对运动员的影响

韩 旭, 孟佳珩*

(黑龙江中医药大学体育教研部, 哈尔滨 150040)

摘 要: 随着竞技体育的快速发展, 为了适应高强度、大运动量的训练和比赛, 运动员需要摄入营养补充剂来维持运动能力以及恢复身体状态。而肌酸作为一种天然存在的非蛋白氨基酸化合物, 可以转化为磷酸肌酸从而合成人体活动所必需的物质——ATP, 进而快速提升能量, 增加肌肉的爆发力和耐久力, 提高身体素质和运动成绩。目前, 肌酸已经成为在运动员和健身人群中使用最广泛的运动营养补充剂。本文结合近些年国内外关于肌酸类运动营养品应用的研究, 综述了肌酸的生理功能及其作用机制, 以期对肌酸类营养品在运动领域的应用提供一定的理论指导依据。

关键词: 肌酸; 运动营养品; 生理作用; 运动能力

Research progress of creatine sports nutrition and its effect on athletes

HAN Xu, MENG Jia-Heng*

(Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine Physical Education Department, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: With the rapid development of competitive sports, in order to adapt to the high-intensity, high-volume training and competition, athletes need to take nutritional supplements to maintain athletic ability and restore physical condition. Creatine, as a naturally occurring non-protein amino acid compound, can be converted into phosphocreatine to synthesize ATP, which is necessary for human activities, thus rapidly improving energy, increasing the explosive power and endurance of muscles, and improving physical fitness and performance. Creatine has become the most widely used dietary supplement for sports among athletes and fitness groups. Therefore, based on the research on the application of creatine sports nutrition at home and abroad in recent years, this paper summarized the physiological function and mechanism of creatine, in order to provide a theoretical basis for the application of creatine nutrition in the field of sports.

KEY WORDS: creatine; sports nutrition; physiological effects; sports ability

1 引 言

随着竞技体育的快速发展, 运动员为了维持运动能力以及促进运动后身体机能的快速恢复, 就必须及时补充各种营养物质^[1]。从 20 世纪 90 年代开始, 肌酸(creatine, Cr)就进入运动员的视野, 目前已经成为仅次于复合维生素和

无机盐的, 在运动员和健身人群中使用最广泛的运动营养品^[2]。肌酸是人体内天然存在的一种营养物质^[3], 人体可通过食物(食用牛奶、红白肉、鱼和软体动物)和体内合成 2 条渠道获得肌酸, 前者称为外源性肌酸, 后者称为内源性肌酸, 体内约有 95% 的肌酸被运输到骨骼肌中, 其余少量肌酸分布在大脑、肝、肾以及睾丸^[4]。肌酸的补充可以快速

*通讯作者: 孟佳珩, 副教授, 主要研究方向为运动生理学、运动养生。E-mail: z18906@163.com

*Corresponding author: MENG Jia-Heng, Associate Professor, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China. E-mail: z18906@163.com

提升能量, 增加肌肉的爆发力和耐久力, 提高身体素质和运动成绩^[5]。本文结合近些年国内外关于肌酸类运动营养品应用的研究, 综述了肌酸的生理功能及其作用机制, 以期对肌酸类营养品在运动领域的应用提供一定的理论指导依据。

2 肌酸类营养品的研究现状

肌酸, 又称 N-甲基胍乙酸, 是一种天然存在的非蛋白氨基酸化合物, 同样也是一种存在于人体中的天然营养素, 由精氨酸、甘氨酸及甲硫氨酸等 3 种必需氨基酸组成^[6]。它是制造人体细胞能量——三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP) 不可或缺的化学物质^[7]。肌酸在人体内有 2 种存在形式: 三分之二为磷酸肌酸 (creatine phosphate, CrP), 其余为游离肌酸^[8], 其中大约 1%~2% 的肌肉内的肌酸被降解为肌酸酐 (代谢副产物) 并随尿排出。因此, 身体每天需要补充大约 1~3 g 的肌酸, 以维持正常的 (未补充的) 肌酸存储^[9]。

2.1 肌酸类营养品的分类

目前, 肌酸类营养品主要有以下几种分类^[10-13], 见表 1。

2.2 肌酸在肌肉中的生理作用

肌酸的生理作用主要有以下几方面: ①作为能源物质的作用。骨骼肌的能量来源于三磷酸腺苷 (ATP) 的分解, 而肌酸可以转化为磷酸肌酸从而合成 ATP, 故肌肉内肌酸浓度的提高可以提供快速供能物质, 增加肌肉的力量^[14,15]。②促进肌肉细胞的生长和增大。合理使用肌酸能间接地增大肌肉的体积, 促进肌肉的生长, 同时肌细胞在吸收肌酸时, 也带给细胞更多的水分 (水合作用), 细胞体积由此增大^[16]。③增加瘦体重。肌酸可以增大肌肉蛋白的合成速率, 从而达到增加瘦体重的作用^[17]。Willoughby 等^[18]对 22 名未经训练的男性进行肌酸研究, 发现在 12 周后, 口服肌酸并且无训练的男子在总体重、瘦体重、大腿体积、肌肉力量和肌原纤维蛋白方面均明显高于单纯进行力量训练的男子。④在肌肉酸碱平衡中的作用。人体在短时间高强度的运动过程中, 会产生乳酸, 而乳酸的积累会导致肌肉内的 pH 值下降, 产生肌肉疲劳感。当肌肉细胞中的缓冲

液无法抵抗 pH 值的变化时, 肌肉中的 CrP 会在肌酸激酶的催化下被分解, 生成 ATP 和 Cr, 起到中和 pH 值的作用, 从而减少有害物质对人体的损害, 达到抗疲劳、促进恢复的目的^[19,20]。

2.3 肌酸的其他生理作用

肌酸除了在肌肉中发挥着重要的作用外, 其在许多器官里都有分布, 肌酸在机体不同的位置可能会有不同的生理作用^[21,22]。Andres 等^[23]在研究中发现, 外源性肌酸可以减少神经元细胞的损失。这是因为肌酸激酶-磷酸肌酸系统在细胞能量缓冲和能量传输中起着关键作用, 特别是在像神经元这样能量需求高而波动的细胞中。此外, 肌酸被报道可促进神经前体细胞的分化, 这可能对改善神经细胞替代策略发挥着重要的作用^[24]。因此一些以肌酸合成或运输失调为特征的综合症与精神延迟、孤独症、说话迟、大脑萎缩等都有关系。Pinto 等^[25]在研究中发现, 肌酸补充可能是一种具有降血糖作用的营养治疗辅助剂, 特别是与运动结合使用时。Chilibeck 等^[26]则在研究中发现, 肌酸补充剂对参与阻力训练项目的绝经后妇女在超过 12 个月的时间里保持股骨颈的骨矿密度是有效的, 同时肌酸也增加了骨骼外径, 这可能产生更大的骨头弯曲强度。另外, 股骨颈骨密度与肌酸的变化接近临床显著水平, 有研究发现^[27], 一些患有营养不良的年轻病人服用了肌酸后骨矿物质密度增加了 3%, 骨吸收减少了 30%, 这证明了将来有必要进行更大规模的临床试验来评估肌酸对骨骼健康的影响。由此可见, 肌酸对人体的影响与作用是多方面的, 合理的补充肌酸营养品对人体是有必要的。

3 补充肌酸类营养品对运动员的影响

骨骼肌、脑和神经系统等都是通过肌酸来增加所需的能量^[28]。在肌肉中, 过量的肌酸并不会直接增加肌肉平静时的 ATP 浓度, 而是保证了肌肉在运动的过程中消耗的 ATP 和磷酸肌酸可以再合成, 从而维持了在持续的大强度运动中肌肉的 ATP 浓度, 它可以最大限度地减少肌肉局部乳酸的生成, 从而使身体可以在更长的时间内以更高的强度运动^[29,30]。对于运动员, 通过补充细胞内的肌酸水平浓度, 从而达到提高其运动能力的目的^[31]。

表 1 肌酸类营养品的种类
Table 1 Types of creatine nutrients

肌酸类营养品类型	成分	优势	劣势
经典肌酸	一水肌酸	价格便宜	冲击期长、吸收率低、溶解度低
肌酸化合物	盐酸肌酸、柠檬酸肌酸、磷酸肌酸、肌酸脂化合物	服用剂量小、溶解度高、吸收率高	价格偏高
复合型肌酸	纯肌酸+糖原(葡萄糖)+新型营养强化剂(丙酮酸钙及磷酸盐)	吸收率高	价格高、服用剂量大
细胞酯化肌酸	肌酸+胰岛素激发因子	吸收率高	价格高、服用剂量大

3.1 对高强度间歇训练能力的影响

肌酸是运动员最常用的营养助剂之一。研究一致表明,补充肌酸会增加肌肉中的肌酸浓度,这可能有助于解释所观察到的补充肌酸对高强度运动性能的改善,进而促进更大的训练适应性^[32]。关于补充肌酸对短时间高强度运动能力的影响,大部分研究倾向于肌酸的助力作用,尤其是对大强度短时间的周期性运动,助力效果更为明显^[33]。Da 等^[34]对 8 名优秀男子足球运动员进行肌酸补充对高强度间歇训练的影响研究,通过地面反作用力的垂直分布和肌电图数据表明,补充肌酸的运动员在冲击控制力方面更加具有优势,并且肌肉激活方面也有显著的改变。Ramírez 等^[35]研究了增强训练和肌酸补充干预女足运动员训练中最大强度和耐力表现的影响,结果表明,6 周后肌酸组在跳跃和重复短跑性能测试中的改善更大。但也有不同的研究结果, Kinugasa 等^[36]通过研究表明,短期补充肌酸并不影响短时间内重复短跑的表现。这可能的原因,补充肌酸只能对总肌酸池肌肉中肌酸浓度低于 120 mmol/kg (70 kg 重的个体)的干肌个体起作用^[37]。而 Kreide 等^[38]综述了大量的文献和报道得出,虽然有个别研究认为肌酸补充没有强力作用,大多数研究指出短期补充肌酸(如 5~7 d, 20 g/d)可使总肌酸含量增加 10%~30%,使磷酸肌酸储存增加 10%~40%,同时提高最大力量(5%~15%),单次冲刺时完成的工作(1%~5%),以及在重复冲刺时完成的工作(5%~15%)。

3.2 对有氧耐力运动能力的影响

关于补充肌酸有氧的长时间耐力运动的研究相对较少。从理论上讲,长时间的耐力运动依赖于线粒体有氧供能,线粒体产生的大量 ATP 必须通过肌酸-磷酸肌酸穿梭转运到受能体——收缩蛋白才能被利用,补充肌酸对这类运动应该有一定的帮助^[39,40]。但是,通过实验研究结果表明,补充肌酸对于耐力性有氧运动没用任何有效作用^[41]。Vieira 等^[42]对健康男性在一轮有氧运动后补充肌酸进行下肢肌肉耐力的测试,发现短期补充肌酸对下肢肌肉耐力没有任何影响。Balsom 等^[43]对训练有素的长跑运动员进行 6 d 的肌酸补充,结果发现其耐力运动成绩并没有提高,反而是有所下降。这可能的原因是:补充肌酸会使运动员的体重增加,导致了有氧供能能力相对下降。同样的, Engelhardt^[44]在报告中指出,短跑运动员比长跑运动员有更高的三磷酸腺苷和肌肉中总肌酸的含量,而赛道速度自行车运动员比公路自行车运动员有更高的含量; Chwalbińska^[45]则研究了口服肌酸对运动员有氧和无氧运动成绩的影响,结果表明肌酸的补充可以提高无氧运动的耐力表现,而对于有氧运动则没有明显作用。

3.3 对运动损伤修复的影响

由于肌酸特殊的生理作用,其在运动损伤修复中发

挥着重要的作用^[46]。Jacobs 等^[47]研究了补充肌酸(20 g/d, 连续 7 d)对颈椎脊髓损伤患者上肢工作能力的影响,结果表明,补充肌酸后,血氧吸收峰和通气无氧阈值均升高。Cella 等^[48]则通过对大鼠进行补充肌酸的研究,结果发现,补充肌酸可防止荷瘤大鼠体重下降和骨骼肌萎缩。Eijnde 等^[49]则在报告中指出,补充肌酸可以抵消固定过程中肌肉 GLUT4 蛋白含量的下降和随后康复训练中 GLUT4 蛋白含量的增加。相反, Tyler 等^[50]报道,在前交叉韧带手术后恢复的患者中,补充肌酸(7 d, 20 g/d, 之后 5 g/d)对肌力或功能能力没有显著影响。虽然并不是所有的研究都显示出益处,但有证据表明,在一些人群中,肌酸的补充可能有助于减少固定后的肌肉萎缩,并促进运动相关康复期间的恢复。因此,补充肌酸可以帮助运动员和有临床症状的人从损伤中恢复。

4 结 语

肌酸作为一种有效和安全的运动营养品,不仅可以增强肌肉的质量和力量,还具有抗疲劳的作用,对肌病、中枢神经系统疾病、骨病以及衰老等也均有一定的好处,在人体中扮演着重要的角色。虽然关于肌酸在人体的生理功能机制探索已有较大进展,但是长期补充肌酸对骨骼肌结构、代谢和功能的影响以及长期补充肌酸对运动员的副作用尚未阐明。因此肌酸作为营养补充剂在运动领域的应用及其作用机制仍需更加深入、系统的研究。

参考文献

- [1] 秦振聚, 张波, 傅茂柱. 浅谈肌酸补充与运动能力[J]. 健康教育, 2012, (8): 261-263.
Qin ZJ, Zhang B, Fu MZ. Creatine supplementation and exercise ability [J]. Health Edu, 2012, (8): 261-263.
- [2] Kreider RB, Melton C, Rasmussen CJ, et al. Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes [J]. Mol Cell Biochem, 2003, 244(1-2): 95-104.
- [3] Lanhers C, Pereira B, Naughton G, et al. Creatine supplementation and upper limb strength performance: A systematic review and meta-analysis [J]. Sports Med, 2017, 47(1): 163-173.
- [4] 阮湘程. 肌酸对运动能力的影响[J]. 饮食保健, 2017, 4(15): 332.
Ruan XC. Effects of creatine on exercise ability [J]. Diet Health Care, 2017, 4(15): 332.
- [5] Rawson ES, Dolan E, Bryan SME. Creatine supplementation in sport, exercise and health [J]. Diet Suppl Sport Exer, 2019: 63.
- [6] Lanhers C, Pereira B, Naughton G, et al. Creatine supplementation and upper limb strength performance: A systematic review and meta-analysis [J]. Sports Med, 2017, 47(1): 163-173.
- [7] 苏玉慧. 对运动营养肌酸补充的一些新认识[J]. 运动, 2016, (17): 155-156.
Su YH. A new understanding of creatine supplementation in sports [J]. Sports, 2016, (17): 155-156.
- [8] 李小娜. 磷酸肌酸临床应用研究进展[J]. 中南药学, 2018, 16(6):

- 803–806.
- Li XN. Progress in clinical application of creatine phosphate [J]. *Central South Pharm*, 2018, 16(6): 803–806.
- [9] Balsom PD, Söderlund K, Ekblom B. Creatine in humans with special reference to creatine supplementation [J]. *Sports Med*, 1994, 18(4): 268–280.
- [10] Kaviani M, Abassi A, Chilibeck PD. Creatine monohydrate supplementation during eight weeks of progressive resistance training increases strength in as little as two weeks without reducing markers of muscle damage [J]. *J Sports Med Phy Fit*, 2019, 59(4): 608–612.
- [11] Miller DW, Vennerstrom JL, Faulkner MC. Creatine oral supplementation using creatine hydrochloride salt: U.S. Patent 10,342,771 [Z].
- [12] Signoretti S, Di Pietro V, Vagnozzi R, *et al.* Transient alterations of creatine, creatine phosphate, N-acetylaspartate and high-energy phosphates after mild traumatic brain injury in the rat [J]. *Mol Cell Biochem*, 2010, 333(1-2): 269–277.
- [13] Lee N, Kim I, Park S, *et al.* Creatine inhibits adipogenesis by downregulating insulin-induced activation of the phosphatidylinositol 3-kinase signaling pathway [J]. *Stem Cell Dev*, 2015, 24(8): 983–994.
- [14] Greenhill C. Obesity: Role for creatine metabolism in energy expenditure [J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2017, 13(11): 624.
- [15] Andren-Sandberg A. Creatine as a substance for better performance [J]. *Anti-Doping Libr*, 2016: 1–152.
- [16] 杨则宜, 弭苗苗. 肌酸作为运动营养品使用的研究和应用[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(13): 369–372, 377.
- Yang ZY, Mi MM. Research and application of creatine as sports nutrition product [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(13): 369–372, 377.
- [17] 娄国际. 体育运动中体内肌酸的作用与应用[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2010, 38(1): 127–129.
- Lou GJ. Function and application of creatine in sport training [J]. *J Henan Inst Sci Technol (Nat Sci Ed)*, 2010, 38(1): 127–129.
- [18] Willoughby DS, Rosene J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2001, 33(10): 1674–1681.
- [19] 金宏. 肌酸提高运动能力的作用[J]. *氨基酸和生物资源*, 2001, 23(4): 32–36.
- Jin H. Effect of creatine on exercise performance [J]. *Amino Acids Biotic Res*, 2001, 23(4): 32–36.
- [20] Zajac A, Waskiewicz Z, Pilis W. Anaerobic power, creatine kinase activity, lactate concentration, and acid-base equilibrium changes following bouts of exhaustive strength exercises [J]. *J Strength Cond Res*, 2001, 15(3): 357–361.
- [21] 孙卫华, 王艺. 大脑肌酸缺乏综合征的研究进展[J]. *中华儿科杂志*, 2010, 48(6): 445–448.
- Sun WH, Wang Y. Advances in studies on cerebral creatine deficiency syndrome [J]. *Chin J Ped*, 2010, 48(6): 445–448.
- [22] Tarnopolsky MA, Beal MF. Potential for creatine and other therapies targeting cellular energy dysfunction in neurological disorders [J]. *Annal Neurol*, 2001, 49(5): 561–574.
- [23] Andres RH, Ducray AD, Schlattner U, *et al.* Functions and effects of creatine in the central nervous system [J]. *Brain Res Bull*, 2008, 76(4): 329–343.
- [24] Darabi S, Tiraihi T, Noori-Zadeh A, *et al.* Creatine and retinoic acid effects on the induction of autophagy and differentiation of adipose tissue-derived stem cells into GABAergic-like neurons [J]. *J Babol Univ Med Sci*, 2017, 19(8): 41–49.
- [25] Pinto CL, Botelho PB, Pimentel GD, *et al.* Creatine supplementation and glycemic control: A systematic review [J]. *Amino Acid*, 2016, 48(9): 2103–2129.
- [26] Chilibeck PD, Candow DG, Landeryou T, *et al.* Effects of creatine and resistance training on bone health in postmenopausal women [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2015, 47(8): 1587–1595.
- [27] Gerber I, ap Gwynn I, Alini M, *et al.* Stimulatory effects of creatine on metabolic activity, differentiation and mineralization of primary osteoblast-like cells in monolayer and micromass cell cultures [J]. *Eur Cell Mater*, 2005, 10: 8–22.
- [28] Brosnan ME, Brosnan JT. The role of dietary creatine [J]. *Amino Acid*, 2016, 48(8): 1785–1791.
- [29] 崔生林, 张冬雪, 王海燕, 等. 浅析肌酸的补充与运动能力[J]. *张家口医学院学报*, 2003, 20(2): 49–50.
- Cui SL, Zhang DX, Wang HY, *et al.* Analysis on creatine supplementation and motor ability [J]. *J Zhangjiakou Med Coll*, 2003, 20(2): 49–50.
- [30] Gaddi AV, Galuppo P, Yang J. Creatine phosphate administration in cell energy impairment conditions: a summary of past and present research [J]. *Heart Lung Circul*, 2017, 26(10): 1026–1035.
- [31] Schäfer LU, Hayes M, Dekerle J. Creatine supplementation improves performance above critical power but does not influence the magnitude of neuromuscular fatigue at task failure [J]. *Experi Physiol*, 2019, 104(12): 1881–1891.
- [32] Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, *et al.* International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine [J]. *J Inter Soc Sport Nutr*, 2017, 14(1): 18–33.
- [33] 王一民, 王新军, 熊正英. 肌酸补充对运动能力的影响[J]. *商洛师范学院专科学校学报*, 2004, 18(3): 117–119, 125.
- Wang YM, Wang XJ, Xiong ZY. The Influence on exercising ability of the supplement of creatine [J]. *J Shangluo Teacher Coll*, 2004, 18(3): 117–119, 125.
- [34] Da SAAP, Acquesta FM, Lancha JAH, *et al.* Creatine supplementation can improve impact control in high-intensity interval training [J]. *Nutrition*, 2019, 61: 99–104.
- [35] Ramírez-Campillo R, González-Jurado JA, Martínez C, *et al.* Effects of plyometric training and creatine supplementation on maximal-intensity exercise and endurance in female soccer players [J]. *J Sci Med Sport*, 2016, 19(8): 682–687.
- [36] Kinugasa R, Akima H, Ota A, *et al.* Short-term creatine supplementation does not improve muscle activation or sprint performance in humans [J]. *Europ J Appl Physiol*, 2004, 91(2-3): 230–237.
- [37] Hultman E, Soderlund K, Timmons JA, *et al.* Muscle creatine loading in men [J]. *J Appl Physiol*, 1996, 81(1): 232–237.
- [38] Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations [J]. *Mol Cell Biochem*, 2003, 244(1-2): 89–94.
- [39] 刘大川, 贾炳善, 李秀英. 补充肌酸对有氧和无氧运动能力的影响[J]. *北京体育师范学院学报*, 1998, 10(1): 21–23.
- Liu DC, Jia BS, Li XZ. Effects of creatine supplementation on aerobic and anaerobic exercise capacity [J]. *J Beijing Norm Univ Phy Edu*, 1998,

- 10(1): 21–23.
- [40] 王雷, 张立. 磷酸肌酸在医学及运动中的应用[J]. 武汉体育学院学报, 2002, 36(5): 37–39.
- Wang L, Zhang L. Utilization of creatine phosphate in medicine and in sports field [J]. J Wuhan Inst Phy Edu, 2002, 36(5): 37–39.
- [41] 贺杰, 许豪文. 补充肌酸对代谢及运动能力的影响[J]. 西安体育学院学报, 2003, 20(2): 45–47.
- He J, Xu HW. Effects of creatine supplementation on metabolism and exercise performance [J]. J Xi'an Inst Phy Edu, 2003, 20(2): 45–47.
- [42] Vieira IP, De PAG, Gentil P, *et al.* Effects of creatine supplementation on lower-limb muscle endurance following an acute bout of aerobic exercise in young men [J]. Sports, 2020, 8(2): 12–15.
- [43] Balsom PD, Harridge SDR, Soderlund K, *et al.* Creatine supplementation per se does not enhance endurance exercise performance [J]. Acta Physiol Scand, 1993, 149(4): 521–523.
- [44] Engelhardt M, Neumann G, Berbalk A, *et al.* Creatine supplementation in endurance sports [J]. Med Sci Sports Exercise, 1998, 30(7): 1123–1129.
- [45] Chwalbińska-Moneta J. Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training [J]. Inter J Sport Nutr Exer Metabol, 2003, 13(2): 173–183.
- [46] 魏源, 李良鸣, 邢文华, 等. 运动性骨骼肌微损伤和修复的机制研究[J]. 广州体育学院学报, 2010, 30(5): 96–98.
- Wei Y, Li LM, Xin WH, *et al.* Research on mechanism of the micro-injury and repair of the skeletal muscle after eccentric exercise [J]. J Guangzhou Phy Edu Inst, 2010, 30(5): 96–98.
- [47] Jacobs PL, Mahoney ET, Cohn KA, *et al.* Oral creatine supplementation enhances upper extremity work capacity in persons with cervical-level spinal cord injury [J]. Arch Phy Med Rehabil, 2002, 83(1): 19–23.
- [48] Cella PS, Marinello PC, Borges FH, *et al.* Creatine supplementation in walker-256 tumor-bearing rats prevents skeletal muscle atrophy by attenuating systemic inflammation and protein degradation signaling [J]. Eur J Nutr, 2019: 1–9.
- [49] Eijnde OB, Ursø B, Richter EA, *et al.* Effect of oral creatine supplementation on human muscle GLUT4 protein content after immobilization [J]. Diabetes, 2001, 50(1): 18–23.
- [50] Tyler TF, Nicholas SJ, Hershman EB, *et al.* The effect of creatine supplementation on strength recovery after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial [J]. American J Sports Med, 2004, 32(2): 383–388.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

韩 旭, 助教, 主要研究方向为运动生理学、运动养生。
E-mail: k960836@163.com

孟佳纮, 副教授, 主要研究方向为运动生理学、运动养生。
E-mail: z18906@163.com