

论著·基础研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2015.31.003

甘氨酸补充对力竭性运动小鼠部分生化指标的影响*

曹进¹,樊晓飞²,李良菊¹,徐姿^{3△}(1. 江苏大学药学院,江苏镇江 212013;2. 江苏大学体育部,江苏镇江 212013;
3. 江苏省昆山市第一人民医院检验科 215300)

[摘要] 目的 探讨甘氨酸补充对一次力竭性运动小鼠部分生化指标的影响。方法 将雄性昆明小鼠分为 3 组,每组 10 只:力竭性游泳运动组(E 组),甘氨酸补充后力竭性游泳组(G 组)及静息正常对照组(S 组)。G 组小鼠采用甘氨酸灌胃处理 4 周,其余两组给予生理盐水。4 周后,E 组和 G 组均做力竭性游泳运动。采样后进行补体溶血活性测定,并测定血清中部分生化指标的水平。结果 与 E 组比较,G 组的力竭性游泳运动时间显著延长($P < 0.01$)。力竭性游泳后,E 组小鼠血清中丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸激酶(CK)、尿素氮、血清铁(Fe^{3+})和补体溶血活性(CHA)的水平较 S 组发生了显著性的变化($P < 0.01$),与 E 组比较,G 组小鼠血清中上述生化指标得到了显著改善($P < 0.01$),其中 ALP 和 LDH 的水平可以恢复到与 S 组相当的水平($P > 0.05$)。结论 力竭性游泳小鼠血清部分生化指标异常,甘氨酸预补充对这些异常有明显的改善作用,可以一定程度地提高小鼠的运动能力。

[关键词] 甘氨酸;力竭性游泳;生化指标;小鼠,近交系**[中图分类号]** R87**[文献标识码]** B**[文章编号]** 1671-8348(2015)31-4327-03

Influence of glycine supplement on partial biochemical indicator in exhaustive exercise mice*

Cao Jin¹, Fan Xiaofei², Li Liangju¹, Xu Zi^{3△}

(1. Pharmaceutical college, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2. Physical Department, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 3. Department of Clinical Laboratory, The First People's Hospital, Kunshan, Jiangsu 215300, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the influence of glycine supplement on partial biochemical indicator in exhaustive exercise mice. **Methods** Divided Kunming's male-mice into 3 group(10/group): exhaustive swimming group(E), exhaustive swimming group with glycine supplement(G) and silent control group(S). Mice in the G group was treated with 4-weeked intragastric administration of glycine, while mice in other 2 groups received physiological saline. After 4 weeks, mice in E and G group did the exhaustive swimming exercise. After sampling, the activity of complement hemolytic activity was measured, and the serum levels of some biochemical indexes were determined. **Results** Time of exhaustive swimming in G group was significantly longer than E group($P < 0.01$). After exhaustive swimming, the ALT, AST, ALP, LDH, CK, N, Fe^{3+} and CHA in E group were significantly changed compared with S group($P < 0.01$); while those indicators in G group were significantly improved than E group($P < 0.01$), the ALP and LDH level can regain to the level of S group($P > 0.05$). **Conclusion** Exhaustive swimming mice can have part indicator abnormality, but Glycine supplement can effectively improve that condition and enhance the exercise ability to some extent.

[Key words] Glycine; exhaustive swimming; molecular biology; mice, inbred strains

甘氨酸是一种人体非必需氨基酸,尽管结构非常简单,但对它的生理功能已有很多报道。甘氨酸除了作为合成其他氨基酸的原料以外,还在多种疾病状态下具有抗炎、免疫调节和细胞保护等作用,因此被作为一种新的抗炎、免疫调节和细胞保护的活性物质用于药物开发^[1]。有多项指标表明,甘氨酸补充对乙醇造成的肝损伤具有保护作用^[2-6],可以缓解脂肪肝、脑水肿、肝纤维化和炎症的发生;甘氨酸在心肌和脑的缺血再灌注模型中具有心肌保护和神经保护作用^[7-10];甘氨酸还可以保护遭辐射大鼠的结肠壁厚度和黏膜上皮层^[11-12],拮抗肠源性内毒素^[13-14],以及对烧伤大鼠的应激性损伤有保护作用^[15-16]。有研究表明,对大鼠给予高剂量的甘氨酸后,可以发现其在脑内的水平升高,并观察到胶质细胞形态学的改变^[17-18]。以上这些研究均表明,甘氨酸补充具有一定的生理学或药理学作用。

由于甘氨酸是人体内抗氧化多肽谷胱甘肽的组成成分之一,也是合成肌酸的重要原料,因此甘氨酸补充被认为有助于

人体运动能力的提高。但是,目前甘氨酸在运动中的保护作用研究甚少。运动对机体的刺激作用表现较为复杂,神经内分泌系统及免疫系统可产生双向调节,使机体发生适应性变化^[19],然而过度的力竭性运动可使神经内分泌水平发生较大变化,造成组织细胞的严重缺氧。本研究中将小鼠力竭性游泳作为运动应激反应模型,用以观察力竭性游泳小鼠的血清生化指标的改变,并研究甘氨酸预补充对这些变化的影响。该研究可为进一步探讨甘氨酸补充对人体运动的影响及作用机制打下基础。

1 材料与方法

1.1 动物 雄性昆明小鼠,6 周龄,体质量(20 ± 2)g,由江苏大学实验动物中心提供。小鼠被分为 3 组,每组 10 只:力竭性游泳运动组(E 组),甘氨酸补充后力竭性游泳组(G 组)及静息对照组(S 组)。动物按照国家标准饲料喂养,自由饮食、饮水。G 组给予 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (0.5 mL)甘氨酸,S 组及 E 组给予 0.5 mL/d 的生理盐水连续灌胃 4 周。4 周后实施力竭性游泳。游泳池规格为:长 90 cm、宽 60 cm、高 48 cm、水深 35 cm,

* 基金项目:中国博士后科学基金项目资助(2015M571706)。
△ 通讯作者,E-mail:XUZI_ksrmyy@163.com。

作者简介:曹进(1983-),讲师,博士,主要从事生物活性分子的应用、生物技术药物研究。

水温(30±2)℃。力竭的判断标准为游泳最后下沉入水中,经 10 s 后不能自主返回水面。分别记录各组小鼠的游泳时间。

1.2 方法 采取摘眼球采血,放室温待血液凝固收缩后,2 000 r/min 离心 20 min,吸取上层血清备用。血清补体溶血活性的测定参考文献[20],采用微量 CH50 溶血法进行补体溶血活性(CHA)测定,以 50% 溶血作为判断终点。血清丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸激酶(CK)、尿素氮和血清铁(Fe^{3+})均采用全自动生化鉴定仪测定。

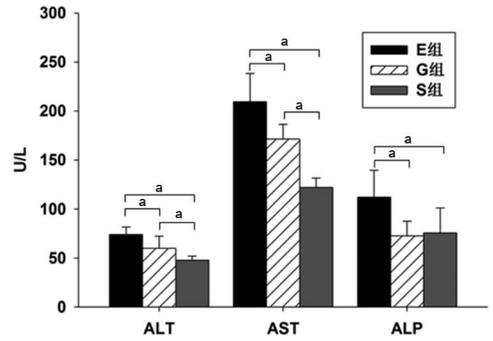
1.3 统计学处理 采用 SPSS13.0 软件进行数据处理,计数资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 *t* 检验及方差分析进行显著性检验,每两组间比较采用 *q* 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 甘氨酸补充对小鼠力竭性游泳运动时间的影响 G 组小鼠游泳时间[(133.9±4.41)min]较 E 组[(151.0±13.5)min]明显延长且差异有统计学意义($t = 4.973, P < 0.01$)。表明甘氨酸补充显著提高了小鼠的最大运动能力。

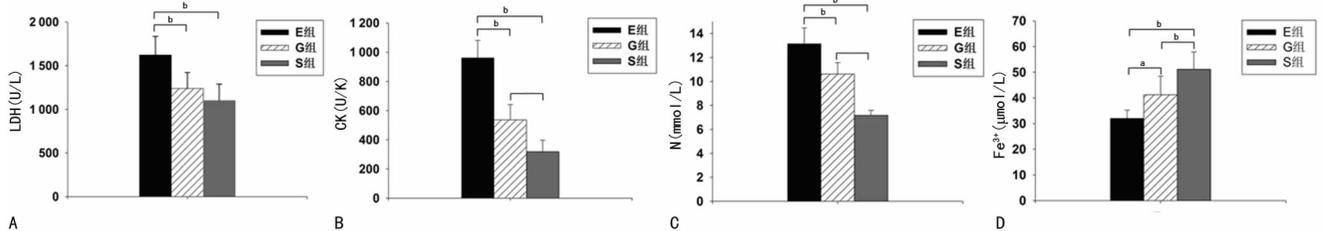
2.2 甘氨酸补充对力竭性游泳小鼠血清中部分生化指标的影响 E、G 及 S 组血清中 ALT、AST 和 ALP 的水平如图 1 所示。统计学方差分析 ALT 和 AST 差异有统计学意义($F = 4.349, P < 0.05; F = 10.05, P < 0.01$);组与组之间两两比较(*q* 检验)差异也有统计学意义($P < 0.01$)。ALP 统计学方差分析差异有统计学意义($F = 4.768, P < 0.01$)。组与组之间两两比较(*q* 检验):E 组与 S 组及 G 组比较差异有统计学意义($P < 0.01$);G 组与 S 组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。E 组、G 组和 S 组血清中 LDH 的水平如图 2A 所示。统计学方差分析结果显示差异有统计学意义($F = 3.57, P < 0.05$)。组与组

之间两两比较:E 组与 S 组及 G 组比较差异有统计学意义($P < 0.01$);G 组与 S 组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。各组血清 CK 水平如图 2B 所示,统计学方差分析结果显示差异有统计学意义($F = 19.16, P < 0.01$),组与组之间两两比较差异均有统计学意义($P < 0.01$)。各组尿素氮水平如图 2C 所示,统计学方差分析结果显示差异有统计学意义($F = 20.27, P < 0.01$),组与组之间两两比较显示差异亦有统计学意义($P < 0.01$)。各组血清 Fe^{3+} 水平如图 2D 所示,统计学分析结果显示差异有统计学意义($F = 3.21, P < 0.05$),E 组与 G 组及 S 组比较差异有统计学意义($P < 0.01$),G 组与 E 组比较差异无统计学意义($P < 0.05$)。



a: $P < 0.01$.

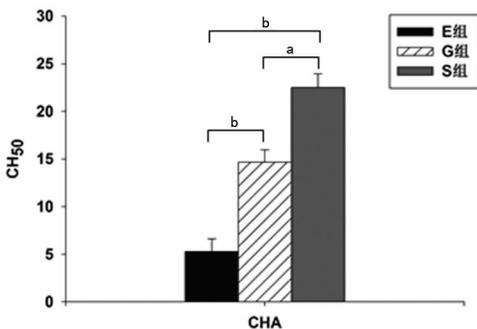
图 1 力竭性游泳对血清中 ALT、AST 和 ALP 的影响及甘氨酸的作用



A: LDH; B: CK; C: 尿素; D: 血铁 Fe^{3+} ; a: $P < 0.05$, b: $P < 0.01$ 。

图 2 力竭性游泳对血清中 LDH、CK、尿素氮和 Fe^{3+} 的影响及甘氨酸的作用

2.3 甘氨酸补充对力竭性游泳小鼠血清总补体的影响 如图 3 所示,血清 CHA E 组显著低于 S 组($P < 0.01$);G 组显著高于 E 组($P < 0.01$),但仍低于 S 组($P < 0.05$)。



a: $P < 0.05$, b: $P < 0.01$ 。

图 3 力竭性游泳对血清总补体的影响及甘氨酸的作用

3 讨论

研究表明,预补充甘氨酸 4 周可以明显延长小鼠力竭性游泳的时间,这说明甘氨酸补充可以增强小鼠的最大操作能

力。从物质合成的角度来看,由于甘氨酸是合成肌酸的重要原料,所以补充甘氨酸具有提高机体运动能力的作用。另外,有多项对大鼠心肌缺血和心脏损伤的研究表明^[15-16,21],甘氨酸对心肌细胞有保护作用。其主要机制有:通过增加谷胱甘肽合成清除缺血再灌注时产生的大量活性自由基,改善对缺氧环境导致的细胞损伤;通过降低无氧酵解产生的乳酸堆积改善细胞能量合成方式;还可以增加 ATP 合成,加快机体能量代谢。以上这些机制都能提高机体的运动能力。

力竭性游泳小鼠由于极限运动,全身的血流重新分布,使得机体多脏器(肝脏、心脏、肾脏)及组织细胞缺血缺氧,缺氧环境可导致糖酵解产物乳酸的堆积和脂质过氧化损伤引起细胞膜通透性升高,从而促使各种酶,如 ALT、AST、ALP、CK 释放进入血液循环^[16,22],引起血清水平的升高,而细胞内重要酶的丢失又会导致细胞能量代谢障碍。预先补充甘氨酸的力竭性游泳小鼠,血清中 ALT、AST、CK 比静息小鼠虽有所增高,但比预先未补充甘氨酸的力竭性游泳小鼠的血清水平有所下降。张水军等^[23]的研究和本文结果类似并表明:肝脏缺血可引起肝脏 Kupffer 细胞代谢功能的改变,出现多种自稳态失调,进

而导致肝细胞的损伤坏死,使得 ALT、AST 升高,补充甘氨酸后,抑制 Kupffer 细胞的活化和细胞因子的释放,使得 ALT、AST 均有所下降。这些结果表明,甘氨酸补充可以改善缺血缺氧导致的细胞膜通透性增加,保护细胞的完整性和正常功能。

LDH 是调节无氧代谢和有氧氧化十分关键的酶。本研究表明力竭游泳后小鼠的 LDH 增高,预先补充甘氨酸可降低力竭性小鼠血清中的 LDH 水平。有研究表明,在狗肾脏细胞中 ATP 耗尽引起细胞损伤会导致 LDH 的释放^[24]。秦霞等^[8]发现,甘氨酸可以通过与细胞膜上的甘氨酸受体(GlyR)反应,对被剥夺 ATP 的细胞发挥保护作用,其机制可能是通过抑制细胞自噬体的形成来减轻细胞 ATP 耗竭所引起的损伤反应^[25-26]。这些研究和本研究结果都表明力竭性运动引发的细胞缺氧和 ATP 耗竭会引起血清中 LDH 水平上升,而甘氨酸补充可以对细胞起到保护作用。

本实验结果显示,力竭性游泳后小鼠血清尿素增高,这可能因为力竭性游泳使得肾脏组织细胞 ATP 耗尽,细胞严重缺血缺氧,继而出现排泄功能障碍,从而导致尿素氮水平的增高。有研究提示,甘氨酸补充可以对抗缺氧引起的肾脏损伤,降低肾脏代谢综合征(MS)的严重程度,维持肾脏的功能^[27]。因此,可以认为 G 组小鼠肾脏排泄尿素的功能受到预先补充甘氨酸的保护,使得小鼠力竭性游泳后血清尿素氮的水平较 E 组有所下降。

血清 Fe³⁺ 是指与转铁蛋白结合的铁。本研究发现,力竭性游泳组小鼠血清 Fe³⁺ 明显下降,预先补充甘氨酸的力竭性游泳小鼠血清 Fe³⁺ 明显高于单纯游泳小鼠。周庆功等^[28]的研究证实了小鼠力竭运动后血液中 Fe³⁺ 的下降,该现象是因为剧烈运动可引起高血容量反应,造成血清 Fe³⁺ 水平相对下降。而甘氨酸补充对于血清 Fe³⁺ 水平的维持是小鼠运动能力提高的原因之一。

本研究结果显示,G 组小鼠的 CHA 明显高于 E 组,也就是说甘氨酸预补充提高了机体的 CHA。由于力竭性运动可导致暂时的免疫缺陷^[29],机体处于高度的应激状态,作为免疫反应的重要角色——补体系统也必然高度激活,连续的运动加重了补体系统的负担,导致体内补体成分大量消耗,造成总补体水平及溶血活性减低;同时,力竭性游泳快速消耗氧气与能量物质,产生大量代谢产物,加速了补体的消耗;另外,力竭性运动使得血流量的重新分布亦可引起血清补体水平相对降低^[30]。甘氨酸预补充能够有效提高机体的 CHA,然而补体系统和有氧运动的关系涉及很多方面,其具体的作用方式还有待于进一步的深入研究^[31]。

近年来越来越多的研究表明甘氨酸对许多器官、组织、细胞都具有保护作用。其保护作用主要体现在对抗缺血缺氧、抗炎性反应、抗缺血/再灌注损伤等方面。本研究发现小鼠的力竭性游泳造成的组织细胞缺血缺氧和 ATP 耗竭可引起血液部分生化指标的异常,预先补充甘氨酸对力竭性游泳小鼠有明显的保护作用,对于恢复生化指标和 CHA 具有一定的作用。甘氨酸补充可提高小鼠的运动能力,这对理解甘氨酸对人体运动能力的影响打下了基础。而甘氨酸对运动动物的生理指标保护作用的机制还有待于进一步探讨。

参考文献

[1] 谷俊朝,马涛,王宇. 甘氨酸保护作用机制与相关疾病探讨[J]. 北京医学,2005,27(9):560.
[2] Senthilkumar R, Viswanathan P, Nalini N. Effect of glycine on oxidative stress in rats with alcohol induced liver

injury[J]. Pharmazie,2004,59(1):55-60.

- [3] Barakat HA, Hamza AH. Glycine alleviates liver injury induced by deficiency in methionine and or choline in rats [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci,2012,16(6):728-736.
[4] Senthilkumar R, Nalini N. Glycine prevents hepatic fibrosis by preventing the accumulation of collagen in rats with alcoholic liver injury[J]. Pol J Pharmacol, 2004, 56(1): 121-128.
[5] Senthilkumar R, Sengottuvelan M, Nalini N. Protective effect of glycine supplementation on the levels of lipid peroxidation and antioxidant enzymes in the erythrocyte of rats with alcohol-induced liver injury[J]. Cell Biochem Funct,2004,22(2): 123-128.
[6] Senthilkumar R, Nalini N. The potential beneficial effect of glycine on the carbohydrate moieties of glycoproteins in an experimental model of alcohol-induced hepatotoxicity[J]. J Med Food,2004,7(1):108-113.
[7] 钟孝正,陈琪. 甘氨酸对心肌缺血再灌注损伤的保护作用及机制研究[J]. 中国病理生理杂志,2010,26(10):1953.
[8] 秦霞,蒋莉,张咏梅,等. 甘氨酸改善缺氧性 MDCK 细胞损伤的作用依赖于 ERK1/2、Akt 及 p38MARK 信号通路[J]. 南京医科大学学报,2012,32(10):1337-1342.
[9] 谢剑梅,杨阁,李建,等. 甘氨酸纳米脂质体的制备及其在脑缺血/再灌注中的神经保护作用研究[J]. 中国药理学通报,2012,28(9):1331-1332.
[10] 王国华,姜正林,李霞,等. 甘氨酸受体激动剂对大鼠局灶性脑缺血再灌注损伤的神经保护作用[J]. 临床神经病学杂志,2010,23(1):38-41.
[11] de Aguiar Picanco E, Lopes-Paulo F, Marques RG, et al. L-arginine and glycine supplementation in the repair of the irradiated colonic wall of rats[J]. Int J Colorectal Dis, 2011,26(5):561-568.
[12] Diestel CF, Marques RG, Lopes-Paulo F, et al. Role of L-glutamine and glycine supplementation on irradiated colonic wall[J]. Int J Colorectal Dis, 2007, 22(12): 1523-1529.
[13] 武雯,刘近春,李俊华,等. 甘氨酸对非酒精性脂肪性肝肠组织 MIF 表达的影响[J]. 中国病理生理杂志,2010,26(10):2029.
[14] 吴惠文,韩德五,许瑞龄,等. 甘氨酸对高果糖饮食诱导的大鼠胰岛素抵抗及认知功能损害的影响[J]. 中国病理生理杂志,2012,28(2):302-307.
[15] 李腾,彭靖,吕尚军,等. 甘氨酸对烧伤大鼠心肌细胞能量代谢的影响[J]. 重庆医学,2012,41(33):3476-3478.
[16] 彭靖,李腾,吕尚军,等. 甘氨酸减轻烧伤大鼠心肌损害的实验研究[J]. 重庆医学,2012,41(36):3804-3806.
[17] 刘宏雁,吕国薇,王维忠. 小鼠脑内甘氨酸水平在缺氧适应中的变化[J]. 生理学报,2001,53(6):461-464.
[18] 张东民,张佳民,马万云,等. 急性力竭运动对大鼠下丘脑氨基酸神经递质的影响[J]. 高等学校化学学报,2002,23(2):230-233.
[19] 甘露,黄庆军,张亚超,等. 力竭性游泳对小鼠自主行为和免疫功能的影响[J]. 中国运动医学杂志,2004,23(4):434-435.
[20] 武建国. 实用临床免疫学检验[M]. 苏州:江苏科技出版社,1989.

异性,使 RNP 能够定点将 II 组内含子插入相应特异的 Ag43 基因碱基 1 812/1 913 之间。图 3 结果表明,用 Nhe I 和 Hind III 二种酶切方法均将重组质粒 pACD4K-Ag43 切出预想的片段,同时按照图 1 的 PCR 扩增策略能够从诱导 Ag4 基因敲除菌中扩增到相应的 PCR 反应产物,这 3 种 PCR 产物的 DNA 序列经基因测序分析也发现 Ag43 基因的 1 812/1 813 位点间确实插入了一段 II 组内含子的 DNA 序列,说明本研究获得了 Ag43 基因正确敲除的新的菌株 JM109(Δ Ag43)。

Ag43 是大肠埃希菌表面表达的一个独特分子,该分子 α 结构域受热至一定温度后就能从 β 结构域分离,溶于加热的水溶液中,离心将菌沉淀后液体上清中就含有单一的 α 结构域分子。细菌鞭毛和菌毛是典型的细菌表面抗原分子,有人已经设想利用细菌鞭毛或菌毛作为细菌表面表达嵌合抗原分子的载体^[8]。但是,利用细菌鞭毛或菌毛表达嵌合抗原分子存在较明显的缺点,主要表现为表达的分子受到表达分子大小的制约,插入外源分子也会影响载体蛋白的结构和功能,同时还降低载体的拷贝数^[8]。另外,大多数细胞表面表达的抗原分子还受限于宿主细菌的背景,将这类细胞表面表达分子作为外源抗原分子的展示分子不具有普适性。显然,作为外源抗原分子的展示载体的细菌表面抗原分子必须能够适应较大的外源插入分子,同时还应具有较高的拷贝数及常见表达宿主的普适性。研究结果表明,一个大肠埃希菌细胞表面就有多达 50 000 个 Ag43 抗原分子,利用基因工程将 Ag43 构建成一个重组原核表达载体后,发现这一重组原核表达载体也能够肺炎克雷伯杆菌和绿脓杆菌中大量表达,表达外还能够改变宿主细菌的形态结构^[7]。此外,将 Ag43 作为外原抗原分子的表达载体比菌毛载体具有更好的表达能力,菌毛载体只能表达 20~30 个氨基酸的外源抗原分子,但 Ag43 载体表达的外源抗原分子则可高达 500 个氨基酸^[7]。研究结果还表明,Ag43 的免疫原性很强,同时还具有很多的 T 和 B 淋巴细胞抗原表位,可以促使免疫系统产生高强度的免疫应答^[9]。本研究获得的 Ag43 基因敲除菌 JM109(Δ Ag43)来自常用基因程表达宿主菌 JM109,如果同时和一个可以表达 Ag43 嵌合分子的表达载体结合,二者就可以构成一个制备外源抗原分子的嵌合蛋白疫苗的表达式系统,在制备疫苗和研究 Ag43 基因功能等方面都具有良好的应用前景。

参考文献

[1] Sherlock O, Dobrindt U, Jensen JB, et al. Glycosylation of

(上接第 4329 页)

- [21] Zhang Y, Lv SJ, Yan H, et al. Effects of glycine supplementation on myocardial damage and cardiac function after severe burn[J]. *Burns*, 2013, 39(4): 729-735.
- [22] 周军利, 黄跃生, 党永明. 甘氨酸对缺血缺氧心肌细胞能量代谢的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2008, 8(6): 1093-1095.
- [23] 张水军, 史冀华, 唐哲. 甘氨酸对脑死亡大鼠供肝损伤的防护作用[J]. *中华器官移植杂志*, 2004, 25(5): 264-266.
- [24] 秦杰, 谢立平. 氨基酸在肾功能保护中的作用研究进展[J]. *国外医学泌尿系统分册*, 2003, 23(4): 374-377.
- [25] 秦霞, 曹剑秋, 柏惠, 等. 甘氨酸对 ATP 耗竭诱生性细胞自噬的作用及其机制[J]. *南京医科大学学报*, 2009, 29(12): 1633-1637.
- [26] Pan C, Bai X, Fan L, et al. Cytoprotection by glycine against ATP-depletion-induced injury is mediated by glycine receptor in renal cells[J]. *Biochem J*, 2005, 390(Pt

the self-recognizing Escherichia coli Ag43 autotransporter protein[J]. *J Bacteriol*, 2006, 188(5): 1798-1807.

- [2] Wallecha A, Correnti J, Munster V, et al. Phase variation of Ag43 is independent of the oxidation state of OxyR[J]. *J Bacteriol*, 2003, 185(7): 2203-2209.
- [3] Ulett GC, Webb RI, Schembri MA. Antigen-43-mediated autoaggregation impairs motility in Escherichia coli[J]. *Microbiology*, 2006, 152(Pt 7): 2101-2110.
- [4] Kjaergaard K, Schembri MA, Hasman H, et al. Antigen 43 from Escherichia coli induces inter- and intraspecies cell aggregation and changes in colony morphology of Pseudomonas fluorescens[J]. *J Bacteriol*, 2000, 182(17): 4789-4796.
- [5] Gabig M, Herman-Antosiewicz A, Kwiatkowska M, et al. The cell surface protein Ag43 facilitates phage infection of Escherichia coli in the presence of bile salts and carbohydrates[J]. *Microbiology*, 2002, 148(Pt 5): 1533-1542.
- [6] Roche A, McFadden J, Owen P. Antigen 43, the major phase-variable protein of the Escherichia coli outer membrane, can exist as a family of proteins encoded by multiple alleles[J]. *Microbiology*, 2001, 147(Pt 1): 161-169.
- [7] Kjaergaard K, Hasman H, Schembri MA, et al. Antigen 43-mediated autotransporter display, a versatile bacterial cell surface presentation system[J]. *J Bacteriol*, 2002, 184(15): 4197-4204.
- [8] Rani DB, Bayer ME, Schifferli DM. Polymeric display of immunogenic epitopes from herpes simplex virus and transmissible gastroenteritis virus surface proteins on an enteroadherent fimbria[J]. *Clin Diagn Lab Immunol*, 1999, 6(1): 30-40.
- [9] Henderson IR, Owen P. The major phase-variable outer membrane protein of Escherichia coli structurally resembles the immunoglobulin A1 protease class of exported protein and is regulated by a novel mechanism involving Dam and oxyR[J]. *J Bacteriol*, 1999, 181(7): 2132-2141.

(收稿日期: 2015-07-11 修回日期: 2015-07-21)

2): 447-453.

- [27] Perez-Torres I, Ibarra B, Soria-Castro E, et al. Effect of glycine on the cyclooxygenase pathway of the kidney arachidonic acid metabolism in a rat model of metabolic syndrome[J]. *Can J Physiol Pharmacol*, 2011, 89(12): 899-910.
- [28] 周庆功, 刘伟. 力竭运动小鼠体内部分元素水平的变化[J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(12): 997-998.
- [29] 赵敬国, 王福文. 力竭性运动对心脏影响的研究[J]. *山东体育科技*, 2000, 22(2): 42-46.
- [30] 郝选明, 万文君, 黄海, 等. 补体系统对有氧运动的免疫应答与适应特征[J]. *中国运动医学杂志*, 1999, 18(3): 242-244.
- [31] 张玮, 洪熊. 有氧运动对补体的影响[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11(30): 6047-6049.

(收稿日期: 2015-06-08 修回日期: 2015-07-16)