



以肠道菌群为靶点的运动性胃肠综合征干预研究进展

耿雪

摘要: 运动性胃肠综合症是由运动引起机体胃肠系统出现功能性紊乱的一种病症,具备发病率高、范围广、原因复杂等特点,严重影响运动员的日常训练及比赛,因此如何有效防治成为研究重点。随着人类元基因组计划的启动,大量研究表明肠道菌群在维持肠道健康方面有着十分重要的作用。相关学者以肠道菌群为靶点,研究运动性胃肠综合症的发病机制后发现保证运动员肠道菌群的多样性和丰度可有效改善其症状,成为防治运动性胃肠综合征的新方法。故本文采用文献资料等方法分析运动性胃肠综合症的发病类型、影响因素及发病机制,剖析以肠道菌群为介入点改善运动性胃肠综合征的作用机理,深入总结前人研究,为运动性胃肠综合症及其防治的相关研究提供理论依据。

关键词: 肠道菌群;运动性胃肠综合症;益生菌

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2017)03-0078-06

DOI: 10.12064/ssr.20170312

Effect of Intestinal Flora on the Improvement of Exercise-induced Gastrointestinal Syndrome

GENG Xue

(Institute of Physical Educational, Soochow University, Soochow 215000, China)

Abstract: Exercise-induced gastrointestinal syndrome is due to the functional disorder of gastrointestinal system caused by exercise. It is characterized by high incidence rate, wide range and complicated causes. It seriously affects the athletes' daily training and competition. How to effectively control the syndrome has become a hot research topic. Following the research on human genome, a large number of studies have indicated that intestinal flora plays an important role in the maintenance of intestinal health. Some scholars used the intestinal flora as the target and studied the mechanism of exercise-induced gastrointestinal syndrome. They found that to ensure the diversity and abundance of athletes' intestinal flora can effectively improve the symptom. This has become a new method of preventing and curing exercise-induced gastrointestinal syndrome. The paper uses the method of literature study to discuss the types, influence factors and mechanism of the exercise-induced gastrointestinal syndrome and analyze the functional mechanism of using intestinal flora to improve exercise-induced gastrointestinal syndrome. By summarizing the achievements of the previous researches, the paper tries to provide theoretical basis for the researches on preventing exercise-induced gastrointestinal syndrome.

Key Words: intestinal flora; exercise-induced gastrointestinal syndrome; probiotics

运动性胃肠综合征 (Exercise-induced Gastrointestinal Syndrome, EIGS) 是指由运动引起的胃肠系统功能紊乱,常伴随着腹痛、恶心、呕吐、便秘、腹泻等一种或几种不良症状的胃肠综合征^[1]。因其发病率高、范围广而成为影响运动员训练、比赛的重要因

素之一。相关研究结果显示,有 20%~70% 的运动员出现过运动性胃肠综合征^[2]。20%~60% 的运动员因过度训练和不完全恢复而产生相关症状^[3]。EIGS 的发病机制复杂,可能与肠道微生态失衡、肠粘膜屏障功能受损、肠道免疫异常、脑肠轴功能紊乱等有关。

收稿日期: 2017-05-09

作者简介: 耿雪,女,硕士在读。主要研究方向:运动人体科学。E-mail: 1565133921@qq.com。

作者单位: 苏州大学体育学院,江苏苏州 215000。



胃肠道有“人体第二大脑”之称,它的健康状况直接影响人们生活的质量。人体肠道内生存着超过1 000万亿个微生物,数量约为人体细胞总数的10倍,基因数量约为人类基因组数量的100多倍^[4]。研究表明人类结肠内微生物细胞密度只有超过1011/g才能生存^[5]。它们按一定的类型、比例、顺序定值在肠黏膜上,构成肠道的生物屏障。参与机体的免疫与调控,通过拮抗作用抑制病原菌的定植,维护机体肠道健康^[6]。微生物学将正常菌群称为人体第九大系统,这些肠道菌群参与机体的消化吸收并产生有益物质,对维持机体胃肠道的稳态、促进机体健康有着重要作用。

1 EIGS

1.1 EIGS 的类型

根据引发部位的不同可将运动性胃肠综合症分为上胃肠道综合症和下胃肠道综合症。上胃肠道综合症的临床表现为呕吐、反胃、烧心等,下胃肠道综合症主要为便秘、腹泻、便血等症状,常发生于急性高强度运动过程中和运动后,尤其是力竭性耐力运动^[7]。如铁人三项等运动项目,据调查,长跑运动员的发生率高达65%^[8]。

不同人群的发生率、症状也不尽相同。乔德才等调查EIGS的流行病学特征,发现运动员及体育学院学生EIGS的主要症状为:腹痛(29%)、腹泻(26%)、便秘(25%)、恶心(11%)^[9]。张文等通过问卷调查等方式对基地运动员进行检查,发现有10.7%的运动员呈阳性体征^[10]。而谢晓伟等调查结果显示有40.28%的大学生在近一个月内的运动或运动后发生过EIGS,其症状以恶心(43.85%)、腹痛(33.18%)、呕吐(27.38%)、反胃(21.58%)为主^[11]。这可能与运动的类型、强度、年龄、运动经验等因素有关,已有研究证明其发病率随着运动强度增加而增加^[12]。

1.2 影响EIGS的因素

1.2.1 运动项目

国内外研究指出不同运动项目EIGS的发生率存在差异。长跑运动中发生EIGS的概率是自行车和游泳项目的两倍,70%的耐力运动员都出现过EIGS症状^[13,14]。张文等调查结果显示:7项全能、800 m、400 m栏出现EIGS症状概率较高,分别为71.4%、55.9%、20.8%,其他项目比例较小^[10]。

除此之外运动强度和运动时间也有一定的关系。高强度、极限运动可使胃肠道因缺血等因素而产

生腹痛、便血等EIGS,专业运动员发生EIGS的概率大约是休闲体育人群的1.5~3倍^[15]。

1.2.2 性别与年龄

不同年龄、性别的EIGS发生率也不同。针对大学生EIGS的调查发现,女生EIGS发生率高于男生($P < 0.01$),一年级大学生EIGS的发生率较高于二年级($P < 0.05$),这与谢晓伟等人的调查结果趋向一致^[11,15]。对专业运动员的调查发现,出现EIGS症状的运动员中女性占有较大比例(70.3%),且与训练时间成反比^[10]。这种性别差异可能是由于女性独特的生理构造、机能所导致的,经过训练可提高生理机能,使机体对运动、压力等应激产生适应,导致EIGS的发生率随着训练时间的增加而降低。也有研究显示年龄小的运动员更易发生EIGS,这可能是由于机体发育不完善,应激能力相对较差导致的。

1.2.3 其他因素

除此之外,运动员的饮食、恢复程度、心理状态、环境温度等都与EIGS的发生有关。据相关研究表明胃肠病史、经常暴饮暴食等因素增加了运动和运动后发生EIGS的风险^[11]。饮食可以通过改变肠道菌群的结构影响宿主的健康^[16]。疲劳积累、环境温度等都可能使机体由于生理惰性等因素而诱发EIGS的发生。

2 EIGS 发病机制

2.1 胃肠道血流量的改变

当激烈运动时,为满足机体呼吸系统和运动系统的需要将血液重新分配。胃肠道血液转移到心肺等内脏器官和骨骼肌中以满足机体运动需要,使胃肠道局部血量降低,导致相关组织细胞受损,继而产生腹痛、呕吐等不良反应。相关研究显示:当运动强度达到70% VO_{2max} 时,机体的内脏血流量减少60%~70%,肠道血流量减少至50%,极限和亚极限运动时会导致机体肠道严重缺血,尤其极限运动会使得内脏血流量减少至20%左右,导致肠上皮细胞凋亡、胃肠组织坏死^[17,18]。目前,肠道缺血已成为导致机体恶心、呕吐、腹痛和便血的主要原因^[13]。

2.2 胃肠道机械性震动和动力学改变

不同运动项目的EIGS的发生率不同,可能是由于运动员胃肠区域在运动中受到机械力不同所导致的。研究表明引起胃肠疼痛的机械因素主要是腹内压的增加和内脏跳动,如举重、自行车等项目在高强度运动中导致腹腔区域胃肠内压明显增加^[19]。目前



有关运动对胃肠道动力学的影响存在争议,部分研究表明运动对小肠或结肠蠕动没有影响,急性高强度运动对肠道内容物的过境时间亦没有改变^[20]。而另一部分研究显示运动可以加速小肠蠕动尤其是结肠部分的腔体蠕动,大大减缓肠道内容物的过境时间^[21]。

2.3 肠道微生态失衡

人体肠道正常菌群可分为与宿主共生的生理性细菌、致病菌和条件致病菌,这些肠道菌群通过自身及其代谢产物参与宿主的营养代谢、免疫调节等环节。健康机体与与宿主共生的生理性细菌占主导地位,当受到各种生理和环境应激刺激时,可使致病菌数量增加,条件致病菌转变为致病菌,肠道菌群失调、微生态平衡被打破,导致代谢紊乱引起腹泻等不良症状。相关研究表明运动员在大强度运动后胃肠道菌群中大肠杆菌的数量明显增多^[18]。王韶轩等研究在心理应激状态下小鼠肠源性细菌变化的结果显示,应激组小鼠近端小肠、大肠的大肠杆菌数量明显多于对照组($P < 0.01$),乳酸杆菌与大肠杆菌比值低于对照组($P < 0.01$)^[22]。由于肠道微生态的平衡与机体肠道健康息息相关,有学者认为肠道微生态的多样性应该成为新的健康评价指标。

此外年龄和饮食等因素引起的胃肠道生理变化,也影响着肠道菌群的群落结构。人体肠道微生物的组成和多样性在不同年龄段人群中存在差异,一般情况下肠道菌群的丰度和多样性直至成年才能趋向稳定^[4]。与基因相比,饮食可以改变 57% 的肠道菌群,短期摄入动物性食物或植物性食物均可改变肠道菌群的组成和功能^[23,24]。David 等通过联合宏基因组等技术,研究饮食对肠道菌群的影响发现,动物性食物对肠道菌群的影响比植物性食物大很多^[4]。为满足比赛训练的需要,不同项目运动员的膳食结构存在差异。尤其是对体重有严格要求的运动项目,运动员为拿到优异的成绩严格控制摄入食物的能量,在极短的时间内改变体重,这对机体消化系统和胃肠道的健康都是极大的挑战。

2.4 肠屏障功能的破坏

肠屏障是机体抵御病原菌等有害物质的第一道防线,肠道黏膜与肠道菌群共同协作,参与维护机体健康^[4,25]。其中约有 50 几种蛋白参与调节肠粘膜通透性,如紧密连接复合体通过控制物质进出,维持肠屏障的正常功能^[26]。当运动、压力等应激作用于机体导致体内肠道菌群结构发生改变,细菌易位产生大

量炎症因子如脂多糖(LPS)、白细胞介素-1(IL-1)、TNF等,使得紧密连接复合体开放增加,肠道黏膜通透性增加,产生“肠漏”,破坏肠屏障功能^[27]。史艳莉等对大学生 EIGS 肠屏障功能测试,结果显示阳性体征受试者运动后的血浆 D-乳酸、内毒素(LPS)、外周血 DAO 活性水平较运动前明显升高($P < 0.05$),与阴性体征受试者相比也有明显上升($P < 0.05$)。提示 EIGS 运动员肠屏障功能异常,血浆 D-乳酸、内毒素(LPS)、外周血 DAO 活性水平与运动性胃肠综合征肠屏障功能损伤有关^[28]。Katrin 等对急性大强度运动小鼠的肠屏障完整性研究发现,久坐和运动的小鼠小肠组织存在明显差异。运动后的小鼠肠道通透性明显增加,小肠上皮细胞凋亡显著,尤其在回肠段的 Gt 和 Isc^[29]。

2.5 免疫功能异常

消化道(GIT)是人体与外界接触面积最大的器官,应对来自外界各种抗原的刺激,也是机体最大的免疫器官。人体内 70%~80% 的免疫细胞聚集在肠道形成肠道相关淋巴组织,对维持机体健康、肠道内环境的稳态有重要作用^[30]。由于运动应激打破胃肠内环境的稳态,使得肠上皮细胞凋亡、肠道菌群结构被打破、肠道通透性增加,导致细菌易位,致病菌及其抗原通过肠道黏膜而产生过度免疫,释放多重炎症因子使肠道处于“病理性炎症状态”。冯玮等研究发现长期大强度运动导致大鼠促肾上腺皮质激素显著升高引发免疫反应,释放 IL-6、IL-12、TNF- α 等炎性细胞因子,小肠组织中的 sIgA 和 IL-8 显著升高($P < 0.01$; $P < 0.05$)炎症反应加强^[31]。也有部分学者研究结果显示耐力运动员小肠组织的 sIgA 分泌下降,现阶段对造成不同结果的原因还不太清楚,有待进一步的研究^[32]。

2.6 神经-内分泌-免疫系统的变化

EIGS 是由运动应激导致机体胃肠系统产生功能性紊乱的疾病,在应激状态下,机体通过下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA轴)释放激素参与机体调控。当运动应激刺激机体时,下丘脑产生促肾上腺皮质激素释放激素(CRH)作用于垂体前叶,释放促肾上腺皮质激素(ACTH)作用于肾上腺完成机体的免疫代谢。研究表明当运动达到 60% VO_{2max} 时即刺激机体通过 HPA 轴释放激素以满足机体运动需要,当达到 80% VO_{2max} 时可使运动后的 ACTH 显著增加^[32,33]。此外,有学者认为 HPA 轴的激活也与脑肠轴有关,两者共同协作参与调控胃肠功能^[34]。研究表明运动应激刺



激大脑释放 GABA、NPY、多巴胺等神经递质参与调节胃肠道功能的同时也刺激胃肠道产生并释放多巴胺、NE 和去甲肾上腺素前体,影响中枢神经系统。如乳酸菌通过迷走神经影响中枢神经系统和 GABA 受体的表达,现已认为肠道菌群和脑肠轴之间具有双向调节的机制,但具体机理还知之甚少^[35,36]。

运动对胃肠道的的影响机制比较复杂,与机体的消化、内分泌、免疫、微生物等有关,是各个系统相互协调、共同影响所致,也可能与运动时间、强度、训练时间间隔等有关,目前还缺乏相关的研究证明,没有统一的定论。

3 微生态制剂疗法

因 EIGS 具备发病率高、范围广、原因复杂等特点,严重影响运动员的日常训练及比赛,如何有效预防并治疗成为解决问题的关键。随着人们对 EIGS 发病机制研究的深入,发现肠道菌群在维持人体肠道机能上起重要作用。据相关研究表明,运动员肠道菌群存在个体差异性,但在激烈运动条件下,稳定的菌群结构可能是运动员保持良好技能状态的重要原因之一^[37]。因此保证运动员肠道菌群的多样性和丰度成为当前学者研究有效防治 EIGS 的核心问题。相较于雷尼替丁、吗丁啉等药物治疗,微生态制剂作为纯生物产品,无任何化学成分,具备无耐药性和无残留等特点而广泛受到学者们的青睐^[4]。

3.1 微生态制剂的分类

现微生态制剂包括益生菌、益生元和合生元三大类。益生菌是指摄入足量的活菌,可对宿主健康有确定的促进作用,并组成明确的微生物。包括乳杆菌属、双歧杆菌属和链球菌属等,其中以双歧杆菌和乳酸菌最具代表^[38]。益生元是通过选择性刺激一种或几种菌落中细菌的生长和活性,而对宿主产生有利效果从而改善寄主健康的膳食补充剂。如多糖、多元醇、低聚糖、植物纤维、植物中草药提取物等,有效的益生元在通过胃肠道时大部分是不会被消化的^[4]。合生元是同时含有益生元和益生菌的混合制剂,可使益生菌在益生元的作用下发挥更好的生物效用,改善肠道菌群的结构和数量。目前,针对益生菌的研究较多,临床应用效果较好^[38]。

3.2 益生菌治疗 EIGS 的可能机制

3.2.1 改善肠道菌群结构,促进肠道生态的平衡

人体肠道菌群通过与肠道黏膜表面贴合的紧密程度分为表层的腔菌群、中层的厌氧菌和深层的膜

菌群共 3 个生物层,其数量、结构的稳定与肠道健康有着密切的关系^[39]。益生菌的摄入可增加有益菌的数量,通过吸附作用紧贴在小肠长皮细胞表面,并阻止致病菌的粘附,减少致病菌的数量,从而达到改善肠道菌群结构的作用^[4]。刘伯阳等研究表明青春双歧杆菌二元蛋白酸奶可有效增加有益菌双歧杆菌和乳杆菌的数量,降低肠杆菌和肠球菌的数量以形成稳定的微生态位^[40]。

3.2.2 增强肠道屏障功能

肠屏障主要由肠上皮细胞构成,其完整性是保证肠道健康的基础,研究表明适当补充有益菌可以有效改善长期运动应激下的肠道屏障功能^[41]。根据相关研究显示,益生菌通过刺激肠上皮细胞分泌 β 防御素来加强肠上皮细胞自我保护的同时增加紧密连接蛋白对其进行保护。此外还有数据表明,益生菌对受损的肠道屏障功能有修复作用。其代谢产物如短链脂肪酸(SCFA)可通过刺激肠上皮细胞增殖和黏膜生长起到增强肠道屏障的作用,尤其是 SCFA 中的丁酸可通过增加结肠血流等途径改善微循环对结肠黏膜和结肠细胞的增殖起主要作用^[4]。

3.2.3 增强宿主的免疫功能

许多研究表明,益生菌可通过抑制 TOLL 受体的表达对 TIL-NF- κ B 信号传导通路进行干预,导致 NF- κ B 的激活失败,从而达到降低炎症效应、加强肠道黏膜的免疫功能^[42]。刘志刚等研究表明服用微生态制剂后,受试运动员的胃肠功能、运动持久力、抗感冒、抗疲劳能力均增强^[43]。后期将其应用于小鼠,发现其小肠内 IgA 含量、IL-2 水平、血清抗体效价和淋巴细胞转化率均提高^[44]。

3.2.4 产生抑菌物质等代谢产物参与维护肠道环境

有益菌除了通过营养竞争、占位阻碍病原菌的入侵与定值外,其代谢产物在保护肠道功能上也体现了重要的作用,包括乙酸、丙酸、丁酸等短链脂肪酸、细菌素、胞外多糖等,都参与调整菌群关系,维持优势菌群的稳定性。其中过氧化氢、短链脂肪酸(乙酸和乳酸)和胞外糖苷酶等对某些致病菌有抑制作用。如细菌素可以消除宿主体内与之相似或相同具有竞争性的病原微生物,为有益菌提供生存和增殖的机会。乳酸、乙酸等酸性物质可以通过降低宿主肠内 PH 值,使肠道处于酸性环境中,促进肠道蠕动,通过拮抗作用抑制病原菌的定值^[4]。

4 益生菌治疗 EIGS 的疗效

研究表明,益生菌通过调整宿主肠内微生物群



落和种群结构、维护肠道环境、增强肠道屏障功能和免疫功能来提高宿主的肠道健康，有效防治 EIGS 的发生。Manfred 等研究表明适当补充益生菌可有效改善男性运动员因长期运动应激导致的肠屏障功能的破坏，对肠道出血和低度炎症也有较好的恢复作用^[41]。但研究结果并不统一，如采用单一的鼠李糖乳杆菌对长期运动大鼠进行干预后发现大鼠肠内 sIgA 和 IL-8 均无明显变化^[31]。不同属种的鼠李糖乳杆菌在应激条件下的 NF-κB 和 IL-8 表达水平也不同^[45]。由此可以看出在同一菌属不同菌种的益生菌在宿主肠道免疫功能的改善上效果不一定相同，因此在选择益生菌的种类和服用的剂量上仍有待进一步研究，不能忽略多菌种的协同作用等因素在实际应用中的影响作用。

5 小结

EIGS 因其发病率高、范围广而严重影响运动员的训练和比赛状态，随着研究的不断深入，多项研究发现肠道菌群在发病机制中扮演着十分重要的角色，这一发现也为如何有效、无副作用的治疗 EIGS 提供新的方向。随着微生物技术的进步，促进了微生物作用机制的研究，为如何有效选择益生菌治疗 EIGS 提供可能。但现阶段对 EIGS 的发病机制了解不多，微生物如何参与维持肠道健康的机理还不清楚，不同种属的微生物及其剂量对治疗 EIGS 的效果也不甚了解。如今，对微生态制剂治疗 EIGS 更多停留在实验研究阶段，临床应用循证较少，仍需相关学者进一步的探索。

参考文献：

[1] 田野.运动生理学高级教程[M].北京:高等教育出版社, 2003:156-157.

[2] Waterman J. J., Kapur R. Upper gastrointestinal issues in athletes[J].*Curr. Sports Med. Rep.*,2012, 11(2):99-104.

[3] Purvis D., Gonsalves S., Deuster P. A. Physiological and psychological fatigue in extreme conditions: Overtraining and elite athletes[J]. *PM. R.*,2010,(2):442-450.

[4] 《乳业科学与技术》丛书编委会.乳业生物技术国家重点实验室.益生菌[M].北京:化学工业出版社,2015.

[5] 德央,刘丽军,白肃,等.肠道微生物在健康成人中的角色地位[J].*西藏科技*,2015,(5):43-44.

[6] Black J. G.微生物学:原理与探索[M].蔡谨,译.北京:化学工业出版社,2007.

[7] 乔德才,刘谨彦,赵立平.运动性胃肠综合征研究现状

[J].*中国运动医学杂志*,2004,23(4):73-75.

[8] Deibert P., Koenig D., Dickhuth H. H., et al. The gastrointestinal system: the relationship between an athlete's health and sport performance. *Int. Sport Med. J.*,2005,6(3):130-140.

[9] 乔德才,高峰,李海鹏.运动性胃肠综合征的流行病学特征[J].*中国临床康复*,2005,9(4):166-167.

[10] 张文,关良劲,魏东凌,等.运动性胃肠综合征 64 例临床分析[J].*中国运动医学杂志*,2006,25(1):119-120.

[11] 谢晓伟,吴寿枝,张萍,等.大学生运动性胃肠综合征及其影响因素的调查研究[J].*皖南医学院学报*,2015,34(5):497-500.

[12] Lamprecht M., Bogner S., Schippinger G., et al. Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial[J]. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*, 2012, 9:45.

[13] Rinze W. F., Robert H. G., Ad B. H., et al. Abdominal symptoms during physical exercise and the role of gastrointestinal ischaemia: a study in 12 symptomatic athletes [J]. *Br. J. Sports Med.*, 2012, 46:931-935.

[14] Moses F. M. Exercise-associated intestinal ischemia[J]. *Curr. Sports Med. Rep.*,2005,4:91-95.

[15] 钟晓兰,郝珊,曾小琼,等.大学生运动性胃肠综合征影响因素调查[J].*中国当代医药*,2016,23(27):160-162.

[16] Fasano A. Leaky gut and autoimmune diseases[J]. *Clin. Rev. Allergy Immunol.*,2012,42(1):71-78.

[17] Holland A. M.,Hyatt H. W., Smuder A. J., et al. Influence of endurance exercise training on antioxidant enzymes, tight junction proteins, and inflammatory markers in the rat ileum[J]. *BMC Res. Notes*, 2015,8(1):514.

[18] 乔德才,刘谨彦,陈敬,等.中长跑运动员胃肠菌群区系结构分布特征的微生态研究[J].*中国运动医学杂志*, 2004,23(6):613-616.

[19] Casey E., Mistry D. J., MacKnight J. M. Training room management of medical conditions: sports gastroenterology[J]. *Clin. Sports Med.*,2005,24:525-540.

[20] Rao K. A., Yazaki E., Evans D. F., et al. Objective evaluation of small bowel and colonic transit time using pH telemetry in athletes with gastrointestinal symptoms[J]. *Sports Med.*,2004,38:482-487.

[21] Nieuwenhoven M. A., Brouns F., Brummer R. J. Gastrointestinal profile of symptomatic athletes at rest and during physical exercise[J].*Appl. Physiol*, 2004, 91:429-434.

[22] 王韶轩,王金轩.心理应激模型小鼠肠道推进运动和肠源性细菌变化及意义[J].*山东医药*,2007,47(35):35-36.



- [23] Zhang C., Zhang M., Wang S., et al. Interactions between gut microbiota host genetics and diet relevant to development of metabolic syndromes in mice[J]. ISME J., 2010, 4:232-241.
- [24] David L. A., Maurice C. F., Carmody R. N., et al. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome [J]. Nature, 2014, 505(7484):559-563.
- [25] Oliveira E. P., Burini R. C., Jeukendrup A. Gastrointestinal complaints during exercise: Prevalence, etiology, and nutritional recommendations[J]. Sports Med., 2014, 44(1):79-85.
- [26] Gareau M. G., Silva M. A., Perdue M. H. Pathophysiological mechanisms of stress-induced intestinal damage [J]. Curr. Mol. Med., 2008, 8(4):274-281.
- [27] Zuhl M., Schneider S., Lanphere K., et al. Exercise regulation of intestinal tight junction proteins[J]. Br. J. Sports Med., 2014, 48(12):980-986.
- [28] 史艳莉,洪长青,代方梅.大学生运动性胃肠综合症肠屏障功能变化与监测[J].中国运动医学杂志,2010,29(3):275-277.
- [29] Katrin G., Karsten K., Christian A., et al. Acute exercises induce disorders of the gastrointestinal integrity in a murine model[J].Eur. J. Appl. Physiol., 2014, 114(3):609-617.
- [30] Goto Y., Kiyono H. Epithelial barrier: an interface for the cross-communication between gut flora and immune system[J]. Immunological Reviews, 2012,245(1):147-163.
- [31] 冯玮,曹建民.长期运动应激对大鼠肠道免疫机能的影响和益生菌的干预效果[J].中国运动医学杂志,2016,35(9):832-836.
- [32] Erick P., Roberto C. B. The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract[J].Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care,2009,12(5):533-553.
- [33] Angeli A., Minetto M., Dovio A., et al. The overtraining syndrome in athletes:A stress-related disorder[J]. Endocrinol Invest., 2004, 27(6):603-612.
- [34] 朱孟华,史立军.肠道菌群在肠易激综合征中的病理生理作用[J].胃肠病学和肝病杂志,2016,25(1):105-107.
- [35] Allison C., Nuria M. Exercise-induced stress behavior, gut microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes[J].Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2016, 13(1):43.
- [36] Bravo J. A., Forsythe P., Chew M. V., et al. Ingestion of lactobacillus strain regulates emotional behavior and central gaba receptor expression in a mouse via the vagus nerve[J].Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2011, 108:16050-16055.
- [37] 乔德才,陈敬,魏桂芳,等.采用DNA指纹图谱技术分析中长跑运动员肠道菌群结构特征[J].中国运动医学杂志,2004,23(5):517-521.
- [38] 张学娜,金世禄.肠道菌群失调与肠易激综合征[J].中华临床医师杂志,2011,5(22):6703-6705.
- [39] 魏晓,刘威,袁静,等.人类肠道菌群与疾病关系的元基因组学研究进展[J].中国微生物学杂志,2011,23(1):75-80.
- [40] 刘伯阳,姚淑娟,刘吉成.青春双歧杆菌双元蛋白酸奶对肠道的保护作用[J].中国临床康复,2005,9(35):41-43.
- [41] Manfred L., Simon B., Gert S., et al. Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial[J].Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2012, 9(1):45.
- [42] 付连军,郝景锋,宋永利,等.益生菌对肠道黏膜免疫影响的研究进展[J].中国畜牧兽医,2013,40(2):113-116.
- [43] 刘志刚,冯海峰,庄俊涛,等.农业院校高水平运动员肠道菌群区系与身体素质的关系探讨[J].山东农业大学学报(自然科学版),2015,46(6):874-879.
- [44] 刘志刚,冯海峰.运动员肠道乳杆菌分离株对小鼠免疫功能的增强作用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(2):177-180.
- [45] Ossowski I. V., Pietila T. E., Rintahaka J., et al. Using Recombinant Lactococci as an Approach to Dissect the Immunomodulating Capacity of Surface Piliation in Probiotic Lactobacillus rhamnosus GG[J].Plos One, 2013, 8(5):1-12.

(责任编辑:何聪)