

## 延迟性肌肉酸痛的预防及恢复研究综述

刘波<sup>1</sup> 廖金玉<sup>2</sup> 胡华东<sup>3</sup>

1. 萍乡市第六中学, 江西 萍乡 337055

2. 安源区白源街中心学校, 江西 萍乡 337055

3. 中国民用航空飞行学院航空安全保卫学院, 四川 广汉 618307

**[摘要]** 本综述旨在对国内外学者在延迟性肌肉酸痛领域的研究进行梳理。通过检索知网、Web of Science、PubMed 等学术数据库, 收集相关文献资料并进行阅读, 对延迟性肌肉酸痛的产生原因、机理以及恢复手段和预防方法进行综合总结。研究发现延迟性肌肉酸痛的预防与治疗方面, 多个研究结果表明口服镇痛药或非甾体抗炎药、冰敷、按摩、针灸等方法能够有效缓解疼痛, 促进恢复。本综述对先前的恢复方法进行了总结, 旨在为今后的研究提供参考方向。值得注意的是, 关于延迟性肌肉酸痛的更多恢复方法仍需要学者们进行深入研究。

**[关键词]** 延迟性肌肉酸痛; 运动损伤; 离心运动

DOI: 10.33142/jscs.v4i2.12426

中图分类号: G840

文献标识码: A

## Review of Research on the Prevention and Recovery of Delayed Muscle Soreness

LIU Bo<sup>1</sup>, LIAO Jinyu<sup>2</sup>, HU Huadong<sup>3</sup>

1. Pingxiang No.6 Middle School, Pingxiang, Jiangxi, 337055, China

2. Baiyuan Street Central School in Anyuan District, Pingxiang, Jiangxi, 337055, China

3. Aviation Safety and Security College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan, Sichuan, 618307, China

**Abstract:** This review aims to summarize the research of domestic and foreign scholars in the field of delayed muscle soreness. By searching academic databases such as CNKI, Web of Science, and PubMed, relevant literature materials were collected and read to comprehensively summarize the causes, mechanisms, recovery methods, and prevention methods of delayed muscle soreness. Research has found that in terms of prevention and treatment of delayed muscle soreness, several research results have shown that oral analgesics or NSAIDs, ice compress, massage, acupuncture and moxibustion and other methods can effectively relieve pain and promote recovery. This review summarizes previous recovery methods and aims to provide reference directions for future research, which is worth noting that more recovery methods for delayed muscle soreness still require in-depth research by scholars.

**Keywords:** delayed muscle soreness; sports injuries; centrifugal motion

### 引言

延迟性肌肉酸痛 (DOMS) 在运动爱好者和职业运动员中十分常见, 指机体在经过一段时间的休息后突然恢复运动或进行机体不适应的高强度运动后, 导致肌肉细胞结构发生微损伤而造成的延迟性的肌肉酸痛<sup>[1]</sup>。对于运动爱好者而言, 延迟性肌肉酸痛会影响他们的运动积极性, 对于职业运动员则会影响他们的竞技状态导致运动表现下降。因此不管是在大众健身领域还是在竞技体育领域, 预防和治疗延迟性肌肉酸痛都是一个十分重要的课题。近年来关于该领域研究认为, 冷疗法、拉伸疗法、超声波以及电流疗法对延迟性肌肉酸痛有一定的效果, 但是这种效果是暂时的。更多学者表明对于延迟性肌肉酸痛的预防应更加受到运动员和教练的重视, 应该对运动员的训练强度和身体情况进行及时的监控, 适当调整运动员的运动负荷, 从而降低诱发延迟性肌肉酸痛的可能性。本文通过阅读大量国内外文献, 对延迟性肌肉酸痛的定义、预防和治疗的方法进行回顾和总结, 为运动爱好者和职业运动员预防和治疗

延迟性肌肉酸痛提供参考。

### 1 延迟性肌肉酸痛 (DOMS) 的定义

延迟性肌肉酸痛 (Delayed-onset muscle soreness, DOMS) 是指机体在进行不适应或大运动量的运动后, 出现肌肉酸痛或僵硬的感觉。依症状表现程度的不同, 可能会出现活动时可减轻的肌肉轻度僵硬, 或是肌肉肿胀、疼痛难耐、身体运动能力受到影响, 并伴随有压痛。延迟性的肌肉酸痛通常在运动后的 24 小时内出现, 24-72 小时到达疼痛高峰, 在 5-7 天后疼痛会基本消失, 由于疼痛不是立即发生, 故而称为延迟性肌肉酸痛<sup>[1]</sup>。

### 2 产生延迟性肌肉酸痛的原因及症状

#### 2.1 引发延迟性肌肉酸痛的原因

1902 年, 国外学者 Hough 首次阐述了延迟性肌肉酸痛, 并将其与运动损伤造成的疼痛区分开, 提出有关运动过程中的肌肉收缩成分及结缔组织损伤的假说<sup>[2]</sup>。20 世纪 70 至 80 年代, 借由免疫细胞学等分析技术, 学者们证实离心收缩运动是导致延迟性肌肉酸痛主要原因。在运动过

程中,肌肉和连接组织因高机械张力牵拉而造成损失,损伤的轻重程度与训练强度、肌肉的训练状态有关。损伤对肌节的机械性破坏,其继发于炎症反应。离心运动导致细胞膜损伤,引发炎症反应,导致前列腺素(prostaglandin E2 [PGE2])和白三烯合成。前列腺素 E2 通过使III型和IV型疼痛传入对化学刺激的影响敏感而直接引起痛觉,而白三烯增加血管通透性并吸引中性粒细胞到损伤部位。中性粒细胞的“呼吸爆发”产生自由基,可加剧对细胞膜的损害。肿胀是由于血液中的细胞和液体随着炎症进入间隙而引起的,可导致疼痛感。损伤模式在整个肌肉中是相对散发性的,发生的压痛似乎在肌腹本身的区域内有所不同。肌节断裂不会延长肌原纤维的长度,通常也不会延伸到整个肌纤维。事实上,相邻的纤维会显得相对正常。这种损伤模式与肌肉劳损相反,后者通常是横跨纤维的肌腱交界处的孤立性断裂。这一点很重要,因为在肌肉拉伤的早期阶段,剧烈的肌肉收缩,尤其是偏心收缩,会加剧损伤。另一方面,有证据表明快速收缩纤维更容易受到偏心收缩引起的损伤,这可能是由于这些纤维的固有弱点或离心运动时快速收缩运动单元的选择性募集。损伤的严重程度和随后症状的时间进程既取决于运动回合的具体情况,也取决于与个人相关的内在因素。例如,运动肌肉的长度比实际收缩强度更重要,更长的肌肉长度运动会造成更大的损伤。肌肉刚度越大的个体在偏心运动后迟发性肌肉酸痛也越大。另外,引发延迟性肌肉酸痛的另一个原因可能与肌肉在大强度离心收缩时的强制性痉挛有关。

## 2.2 延迟性肌肉酸痛的症状

延迟性肌肉酸痛属于 I 型肌肉扭伤的一种,其与其他肌肉疼痛形式不同,主要特征是在身体处于静止状态时不会出现自发性慢性疼痛。只有在肌肉受到牵拉、收缩或触摸等机械刺激时,才会感受到疼痛。因此,延迟性肌肉酸痛的典型特点是在按压时出现疼痛感<sup>[3]</sup>。疼痛最初在肌腹-肌腱连接处出现,随后在 24-48 小时内扩散至整个肌肉或肌群,表现为肌肉僵硬。症状较轻的患者可能仅表现为轻度的肌肉僵硬,在运动时疼痛减轻;而症状较重的患者则可能经历剧烈的疼痛、肌肉肿胀,触摸时感到肌肉压痛,且运动受到影响。延迟性肌肉酸痛不仅仅伴随一般的疼痛感,还会导致身体感到疲劳,从而影响运动表现。

## 3 延迟性肌肉酸痛的机理学说

### 3.1 机械损伤学说

早在 1902 年, Hough 基于他的观察提出了“组织撕裂”理论,他认为运动后的肌肉酸痛可能源于肌肉和/或结缔组织的撕裂。在离心运动中,肌肉由于机械牵拉而受到损伤,这种损伤在运动后演变成延迟性肌肉酸痛。机械性损伤包括对细胞膜、周围结缔组织和细胞骨架的影响。这主要基于离心性运动的氧耗和能耗相对较少,而膜损伤和酸痛却相对较为显著的事实。运动后,血液中肌红蛋白

含量增加,尿中三甲基组氨酸和羟脯氨酸的含量也上升。在离心运动中,肌细胞膜和周围结缔组织受到反复拉伸,导致部分胶原断裂和细胞膜轻微受损。这会导致肌细胞膜的通透性异常,蛋白质和其他细胞成分的流失,如肌酸激酶(CK)的释放,最终引起细胞水肿和一系列延迟性反应,导致细胞功能受损<sup>[2]</sup>。Brown 等人认为,离心运动并不导致肌细胞内质网的损伤,因为尽管肌肉电-机械延迟增加,但舒张功能并不受影响,这可能是延迟性肌肉酸痛能够自然消失的结构基础。收缩成分的损伤涉及肌原纤维在被动牵拉时的损伤和肌微丝的降解,原因更为复杂,可能包括蛋白质空间结构的破坏以及 ATP 能量转换障碍。一些学者认为,细胞收缩成分的机械性损伤可能与 ATP 酶水解速度有关:在横桥作退让性摆动时,如果 ATP 酶水解速度与牵拉速度适应,则不会发生损伤;然而,当 ATP 酶水解速度落后于被动牵拉速度时,损伤可能发生。有证据表明,离心运动的速度是诱发延迟性肌肉酸痛的比力量更为重要的因素<sup>[3]</sup>。

### 3.2 肌肉痉挛学说

根据 Devris (1966) 的研究,他观察到肌肉酸痛时肌电活动显著增加,从而提出了“局部缺血-痉挛”理论。该理论认为运动会参与工作的肌肉局部缺血,缺血引发疼痛,而疼痛又导致肌纤维痉挛。肌纤维的痉挛进一步加重了局部缺血,形成了一种恶性循环<sup>[2]</sup>。Devries、Herman 等指出,肌肉疼痛触发了正反馈环路:缺血引起肌肉收缩,产生痉挛,导致一些致痛物质产生,反过来引起肌肉的强直痉挛,进而导致更多的致痛物质产生,从而使局部疼痛加重。根据这一假说,痉挛是延迟性酸痛的原因,而疼痛的程度取决于涉及的运动单位数目,其依据是酸痛时电活动的增加。然而,Mc Glynn 等研究发现,尽管肌肉在离心收缩后的电活动增加,但电活动的大小与酸痛的程度并无线性关系<sup>[4]</sup>。Doherty 等的研究报告显示,肌肉痉挛导致肌张力增加,并伴随着血清磷酸肌酶(CPK)的上升。

### 3.3 急性炎症反应学说

该理论认为延迟性肌肉酸痛是由机械性损伤引发的一系列炎症反应,其中钙离子在其中扮演了触发作用。延迟性肌肉酸痛的炎症反应在运动后的 24 小时内开始显现,表现为运动后 5~11 小时内单核细胞明显增加,运动后 96 小时内中性粒细胞显著增加,同时嗜酸、嗜碱性粒细胞也有所增加<sup>[2]</sup>。Smith 通过对进行跑台运动的小鼠进行远端跖肌组织学检查发现,肌纤维间隙内有大量炎症细胞聚集。Kuiper 则让大鼠在-10°坡度的跑台上进行下坡跑运动 2 小时后,在比目鱼肌中发现中性多核细胞的聚集浸润。Armstrong 观察到大鼠运动后即刻肌组织间质出现巨噬细胞。Mishra 及其团队通过让兔子进行离心运动诱发肌肉损伤,并在服用抗炎药物后观察到在肌肉收缩功能

明显恢复的同时,肌球蛋白表达也明显增强。根据以上实验结果,一些学者认为在大负荷运动后,首先发生急性炎症过程,由细胞外基质断裂引发炎症细胞浸润和聚集,而巨噬细胞则合成释放大量前列腺素(PGE<sub>2</sub>)。PGE<sub>2</sub>的升高可能通过间接激活疼痛感受器而引发肌肉疼痛<sup>[3]</sup>。

### 3.4 骨骼肌超微纤维的变化

在80年代之后,运动生理学逐渐进入了对骨骼肌超微结构的深入研究阶段。我国学者丁文京、杨锡让等对延迟性肌肉酸痛时骨骼肌肌原纤维形态进行了观察,结果表明在延迟性疼痛时,骨骼肌超微结构发生了明显变化。他们认为延迟性疼痛时肌原纤维的变化是导致肌肉工作能力下降的重要原因<sup>[3]</sup>。

随后部分学者关注到延迟性肌肉酸痛的超微结构。研究发现,延迟性酸痛发生时,肌细胞收缩结构包括Z带和中线会出现扭曲、断裂或消失等不同程度的变化。当肌节因中线消失导致的粗丝螺旋卷曲而发生缩短时,临近的肌节则相应的发生不同程度的拉长,这不仅改变了肌原纤维的走向,也会导致肌原纤维断裂、肌丝走向紊乱或稀疏,乃至局部收缩结构的完全消失。他们认为肌肉的工作负荷超出原本习惯时,收缩结构会因肌肉收缩结构蛋白的分解代谢强于合成代谢的降解优势而出现改变或解体。

学者田野指出,延迟性肌肉酸痛可能与细胞间隔游离钙离子大量内流引起胞浆钙离子浓度增加有关。高胞浆钙抑制了细胞呼吸,同时高胞浆钙激活了钙依赖蛋白水解酶,对Z线、肌钙蛋白、原肌凝蛋白产生破坏作用<sup>[4]</sup>。

### 3.5 其他学说

延迟性肌肉酸痛的其他学说包括自由基损伤学说、代谢失调学说、收缩/弹性成分张力学说、钙离子损伤学说、肌肉温度上升、肌膜亏负观点等。运动应激产生的活性氧会对运动造成氧化应激损失和导致运动性疲劳,因此,部分学者认为延迟性肌肉酸痛是运动疲劳的一种特殊表现。运动疲劳状态下,线粒体氧化磷酸化偶联程度和ATP合成能力降低使运动性疲劳的线粒体膜分子机制易于遭受氧化损伤,从而导致线粒体内多种酶活性(如ATP合成酶系、DNA修复酶系、抗氧化酶系及其他酶系)改变,故线粒体的热机效率原理可作为延迟性肌肉酸痛的一种可能性机制<sup>[2]</sup>。

## 4 延迟性肌肉酸痛的恢复治疗

对于DOMS的恢复治疗,国内外的学者都提出了许多有效的方法,而在此提出是恢复治疗,原因是延迟性肌肉酸痛不是一种病,可以几天后自行恢复,也可以通过各种康复手段加速恢复,基于此,该章节对恢复治疗的手段分为如下几类。

### 4.1 DOMS的药物治疗

促进肌肉功能恢复和缓解延迟性肌肉酸痛症状的众多治疗方式之一是非甾体抗炎药。非甾体类抗炎药物在剧烈运动后通过抑制COX酶从而抑制PGE<sub>2</sub>的合成发挥作用。

尽管有强大的疗效理论基础,但非甾体抗炎药治疗延迟性肌肉酸痛的价值是模棱两可的。非甾体抗炎药,如阿司匹林、萘普生、氟比洛芬和布洛芬是COX抑制剂,是单作用药物。其他非甾体抗炎药如双氯芬和酮洛芬是双作用的非甾体抗炎药,阻断花生四烯酸代谢的COX和LIPOX途径。因此一种非甾体抗炎药可能比单作用非甾体抗炎药具有更强的抗炎作用。

Hasson等人<sup>[25]</sup>的研究发现,在离心运动前4小时或后24小时分别摄入400或1200mg的布洛芬,可以显著增强四头肌力量的恢复,并进一步减少运动后48小时的延迟性肌肉酸痛。

Donnelly等人<sup>[27]</sup>对20名受试者在运动后1.5-72小时内使用预防性剂量双氯芬酸(150mg),采用交叉设计,两组下坡跑步间隔10周。与安慰剂组相比,双氯芬酸组在第一次发作后某些部位延迟性肌肉酸痛明显减少。

O'Grady等人<sup>[27]</sup>在离心箱步运动前14天至后13天给27名受试者预防性剂量双氯芬酸(150mg)。不仅延迟性肌肉酸痛减少,CK活性也降低,活检肌肉的组织学评估表明损伤更小。因此,短期和长期服用双氯芬酸似乎对延迟性肌肉损伤有一些积极的影响,一种可能的解释是双氯芬酸作为一种双重作用的非甾体抗炎药,抑制了花生四烯酸代谢的COX和LIPOX途径,从而提供了一种潜在的更大的抗炎作用。

### 4.2 DOMS的补剂治疗

由离心肌肉活动引起的延迟性肌肉酸痛(DOMS)与炎症反应和活性氧(ROS)的产生有关,而活性氧是维持炎症和氧化应激的两种物质。姜黄素是一种强大的抗氧化反应促进剂<sup>[34]</sup>,Franchek Drobic等人对20名健康男性志愿者进行下坡跑实验,实验将人员分为两组,每日两次(200mg姜黄素双剂量),或匹配的安慰剂。结果显示,与安慰剂组相比,姜黄素组的受试者报告下肢疼痛较轻,姜黄素组肌肉损伤和炎症标志物的增加趋势较低,但仅在运动后2小时观察到白细胞介素-8的显著差异。

Yoshiharu Shimomura, Asami Inaguma<sup>[33]</sup>研究了支链氨基酸(BCAA)补充对深蹲运动引起的延迟性肌肉酸痛(DOMS)的影响。结果显示,在两项试验中,延迟性肌肉酸痛均在第2天和第3天出现峰值,但在BCAA试验中,疼痛水平明显低于安慰剂。在运动后2天(第3天)测量最大自主等长收缩期间的腿部肌肉力量,BCAA补充抑制了安慰剂试验中观察到的肌肉力量下降(到对照条件下记录值的80%)。这些结果表明,BCAA的补充可能抑制肌肉损伤。

M. A. Ciarnberardino等<sup>[40]</sup>对6名未受训练的受试者进行单盲实验,研究口服左旋肉碱对四头肌20分钟后离心运动引起的疼痛、压痛和CK释放的影响。实验结果显示,与安慰剂相比,左旋能显著减轻疼痛、压痛和CK



释放。

张慧、时震宇<sup>[11]</sup>等学者对 24 名运动员进行分组实验,研究大蒜素与联合抗氧化剂干预对运动员大强度离心运动后不同时机肌肉酸痛程度、血 CK-MM、CK、LDH 活性的影响。研究结果显示,三组运动员运动后肌肉酸痛程度均呈递增趋势,B、C 组运动员运动后各时相肌肉酸痛程度与血 CK-MM、CK、LDH 活性均低于 A 组同时相。大蒜素和联合抗氧化剂可减少运动员大强度离心运动后骨骼肌细胞内 CK-MM、CK、LDH 的大量逸出,对保护细胞膜完整性、降低运动应激程度、对防治运动性骨骼肌微损伤有积极作用,可有效减轻运动员大、高强度运动后延迟性肌肉酸痛程度。

#### 4.3 DOMS 的按摩、针灸治疗

J E Hilbert 等人<sup>[22]</sup>对 18 名志愿者在运动诱导延迟性肌肉酸痛,24h 后进行 20 分钟的按摩,结果显示峰值扭矩、中性粒细胞、疼痛的不愉快和情绪等没有差异,但是在 48 小时后,按摩组的疼痛强度明显低于对照组;运动损伤后 2 小时进行按摩,没有改善腓绳肌功能,但能减轻肌肉损伤后 48 小时的疼痛强度。

金文泉<sup>[15]</sup>对 20 名男运动员进行随机分组实验,研究灸血海、风市及足三里穴对 DOMS 引起的 CPK、肌力以及痛阈变化的影响。实验表明,灸疗对 DOMS 引起的 CPK 升高,并且对 DOMS 引起的肌力下降,有促进其恢复的作用,以及实验组痛阈变化的百分值均大于对照组。

韩秀兰等<sup>[9]</sup>对 40 个健康的成年人分组进行力竭性离心运动实验,其中一组人员在运动后立即接受 DMS 治疗仪治疗,对照组不接受任务康复治疗。结果显示,DMS 治疗组的研究对象主观体力恢复较快,在治疗后的第三天,疼痛感明显改善,第五天达到无痛感觉,DMS 治疗可以使肌肉内毛细血管开放增多,加强局部的血液供给,改善肌肉营养,将组织代谢物带离局部肌肉,能够明显缓解运动后出现的体感疲劳和疼痛感,并能够缩短疼痛持续时间,加快运动员体力恢复。

Gregory E. P. Pearcey<sup>[31]</sup>对 8 名健康且身体活跃的男性分组进行运动后滚动泡沫轴实验。在研究报告的大多数动态性能指标中得知,泡沫滚动有效地减少了迟发性肌肉酸痛(DOMS)和相关的损害。运动后立即和其后的每 24 小时在高密度滚轮上进行一次 20 分钟的泡沫滚动,可以减少肌肉压痛和多关节动态运动减少的可能性。

#### 4.4 DOMS 的冷水浸泡治疗

Kylie Louise Sellwood 等<sup>[23]</sup>对 40 名未经过训练的志愿者进行双盲对照实验。结果显示,随着时间的推移,在大多数疼痛参数、压痛、等长强度、肿胀、跳跃距离或血清 CK 的变化方面,组间未观察到显著差异。24 小时坐立时疼痛有显著差异,干预组比对照组疼痛增加更大。

ROGER ESTON 等<sup>[24]</sup>对 15 名女性进行分组实验,评估冷水浸泡对剧烈离心运动后运动性肌肉损伤症状的影响。

结果显示,肌肉压痛、肌酸激酶活性和上臂周长增加,等长力量和肘关节放松角度减少。离心运动后第二、三天,冷冻治疗组肘关节放松角度大于对照组,肌酸激酶活性低于对照组,虽然冷水浸泡可能会降低剧烈偏心运动后肌肉僵硬程度和运动后损伤量,但似乎没有降低对压痛和力量损失的感知。

赵辰砚等<sup>[8]</sup>探讨冷疗对减轻大强度训练后肌肉延迟性疼痛症状的影响,学者将 16 名男子竞走运动员为冷疗组和冷热交替治疗组。结果显示,在两种方案中,单纯冷疗降低白细胞介素 6 水平的作用更加显著,对前列腺素水平的下降更为有效,更有助于减轻延迟性肌肉酸痛的程度。

#### 5 延迟性肌肉酸痛的预防

根据上述国内外学者对 DOMS 的研究可以得知,DOMS 的产生主要是进行不习惯运动、剧烈运动或离心运动导致,同时,也与运动的幅度有关,即肌肉被拉长的长度。上述的方法均为发生延迟性肌肉酸痛后的恢复处理,但使用方法还是需要因人而异。因为运动诱导的延迟性运动酸痛在不处理的情况下,5~7 天可以自行恢复,但如果疼痛者是运动员的话,可能会因为疼痛的原因,而致使其改变正常的运动模式,容易造成运动损伤;也可能因为疼痛而减少活动度,影响运动表现。因此,对于比赛期的运动员发生 DOMS 时,可以服用非甾体抗炎药物、左旋肉碱、大蒜素等补剂减少疼痛感,以及结合按摩、针灸等方法加速恢复。而普通的运动爱好者在发生 DOMS 时,可以选择按摩、冰敷等方法缓解恢复即可。

同时需要注意的是,过往已有研究证明,活动前拉伸对于 DOMS 并没有显著的影响,同时也可以解释为延迟性运动酸痛与其他运动损伤的发生机理不一样。但需要注意的是,拉伸对 DOMS 的症状没有显著影响,不代表运动前不需要进行拉伸,运动前拉伸可以提高身体的放松程度、减少肌紧张、减少关节肌肉拉伤等。

#### 6 结语

本文对延迟性肌肉酸痛的定义、产生原因、预防和康复方法进行了综述。延迟性肌肉酸痛不是一种疾病,通常不需要治疗,但疼痛相对较严重时,口服镇痛药或者非甾体抗炎药、冰敷、按摩、针灸等方法可以缓解疼痛,加速恢复。对于它的发生,DOMS 通常在运动计划的前几次发生,因此,有效的制定训练计划并长期坚持是一种很好的预防方法,同时在进行运动时也要遵循循序渐进的原则;每周只进行一次运动,一次就把身体练得十分疲惫,效果不如每周进行 3~5 次中等或中等以上强度的运动。

#### [参考文献]

- [1]莫冬丽.运动性肌肉酸痛产生机制及防治进展[J].北京体育师范学院学报,1996(1):48-51.
- [2]洪长青,陶江.运动性延迟性肌肉酸痛研究进展(综述)[J].四川体育科学,1999(2):12-14.

- [3]张海平,刘建军,董敏辉.延迟性肌肉酸痛的研究进展[J].沈阳体育学院学报,2007(3):52-55.
- [4]陈宝庆.运动后延迟性肌肉酸痛的研究历史、现状及其防治(综述)[J].体育科技,1985(4):38-42.
- [5]吕晓虹,高月,刘强,等.运动性肌肉损伤:机制、磁共振定量评价及治疗研究进展[J].中国组织工程研究,2021,25(14):2280-2286.
- [6]张双燕,张翔,任秀红.延迟性肌肉酸痛的机制及其理论研究[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(24):4746-4749.
- [7]张国海,王人卫.肌肉贴对延迟性肌肉酸痛和肌肉功能恢复的影响[J].体育科学,2017,37(12):46-51.
- [8]赵辰砚,马旭,刘建军,等.不同冷疗方案对延迟性肌肉酸痛治疗作用的对比[J].中国组织工程研究,2017,21(24):3827-3832.
- [9]韩秀兰,许轶,田潇飞,等.深部肌肉刺激疗法对延迟性肌肉酸痛的疗效研究[J].中国康复医学杂志,2015,30(11):1144-1147.
- [10]樊贤进.全身震动训练对离心运动诱导的延迟性肌肉酸痛影响[J].天津体育学院学报,2013,28(5):456-460.
- [11]张慧,时震宇,赵广高,等.大蒜素与联合抗氧化剂干预对运动员DOMS和CK-MM、CK等的影响[J].武汉体育学院学报,2011,45(3):59-63.
- [12]胡柏平,王勇,刘艳秋.运动性延迟性肌肉酸痛与线粒体的热机效率原理的探讨[J].北京体育大学学报,2006(4):506-508.
- [13]周卫平.缺血再灌注损伤—延迟性肌肉酸痛的产生机制[J].渝西学院学报(自然科学版),2005(1):86-89.
- [14]田野,马鹏鹏,郭时杰,等.连续运动后延迟性肌肉损伤的适应性研究[J].中国运动医学杂志,2003(2):138-142.
- [15]金文泉.灸血海、风市及足三里穴对延迟性肌肉酸痛的影响[J].成都体育学院学报,1994(3):87-93.
- [16]Byrnes, W. C., Clarkson, P., & M., et al. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1985, 17(3):710-5.
- [17]Cheung, K., Hume, P. A., Maxwell, & L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors[J]. *Sports Medicine*, 2003, 33(2):145-64.
- [18]Chen, C. H., Lin, M. J., & Ye, X. Comparisons of exercise-induced muscle damage after two closely scheduled sprinting exercise[J]. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019, 28(1):1-9.
- [19]Bobbert, M. F., Hollander, A. P., & Huijing, P. A. (). Factors in delayed onset muscular soreness of man[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1986, 18(1):75-81.
- [20]Schwane, J. A., Watrous, B. G., Johnson, S. R., & Armstrong, R. B. Is lactic acid related to delayed-onset muscle soreness? [J]. *Phys Sportsmed*, 1983, 11(3):124-131.
- [21]O'Fallon, K. S. The inflammatory response to acute muscle injury. [D]. Amherst: University of Massachusetts Amherst, 2014.
- [22]Armstrong, R. B., Warren, G. L., & Warren, J. A. Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury[J]. *Sports medicine (Auckland, N. Z.)*, 1991, 12(3):184-207.
- [23]Zainuddin, Z., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function[J]. *Journal of athletic training*, 2005, 40(3):174-180.
- [24]Isabell, W. K., Durrant, E., Myrer, W., & Anderson, S. The effects of ice massage, ice massage with exercise, and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness[J]. *Journal of Athletic Training*, 1992, 27(3):208.
- [25]Sellwood, K. L., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., & Hinman, R. Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2007, 41(6):392-7.
- [26]Close, G. L., Ashton, T., Cable, T., Doran, D., Holloway, C., & Mcardle, F., et al. Ascorbic acid supplementation does not attenuate post-exercise muscle soreness following muscle-damaging exercise but may delay the recovery process[J]. *British Journal of Nutrition*, 2006, 95(5):976-981.
- [27]Donnelly, A. E., Maughan, R. J., & Whiting, P. H. Effects of ibuprofen on exercise-induced muscle soreness and indices of muscle damage[J]. *Bulletin - British Association of Sport and Medicine*, 1990, 24(3):191.
- [28]Craig, J. A., Bradley, J., Walsh, D. M., Baxter, G. D., & Allen, J. M. (1999). Delayed onset muscle soreness: lack of effect of therapeutic ultrasound in humans[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1999, 80(3):0-323.
- [29]Donnelly, A. E., McCormick, K., Maughan, R. J., Whiting, P. H., & Clarkson, P. M. Effects of a non-steroidal anti-inflammatory drug on delayed onset muscle

- soreness and indices of damage[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 1988, 22(1): 35-38.
- [30] Butterfield, David, Lynn, Draper, David, & O. The effects of high-volt pulsed current electrical stimulation on delayed-onset muscle soreness[J]. *Journal of Athletic Training*, 1997, 32(1): 15-15.
- [31] Pearcey, G. E. P., Bradbury-Squires, D. J., Kawamoto, J. E., Drinkwater, E. J., Behm, D. G., & Button, D. C. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures[J]. *J Athl Train*, 2015, 50(1): 5-13.
- [32] MD Weber, Servedio, F. J., & Woodall, W. R. The effects of three modalities on delayed onset muscle soreness[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1994, 20(5): 236.
- [33] Shimomura, Inaguma, Watanabe, Yamamoto, Muramatsu, & Bajotto, et al. Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness[J]. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2010, 20(3): 236-44.
- [34] Drobnic, F., Riera, J., Appendino, G., Togni, S., Franceschi, F., Valle, X., Pons, A., & Tur, J. Reduction of delayed onset muscle soreness by a novel curcumin delivery system (Meriva®): a randomised, placebo-controlled trial[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2014(18): 11-31.
- [35] Allen, J. D., Mattacola, C. G., & Perrin, D. H. Effect of microcurrent stimulation on delayed-onset muscle soreness: a double-blind comparison[J]. *Journal of Athletic Training*, 1999, 34(4): 334.
- [36] Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors[J]. *Sports medicine (Auckland, N. Z.)*, 2003, 33(2): 145-164.
- [37] Lenn, J., Uhl, T., Mattacola, C., Boissonneault, G., Yates, J., & Ibrahim, W., et al. The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(10): 1605-1613.
- [38] Gleeson, M., Almey, J., Brooks, S., Cave, R., Lewis, A., & Griffiths, H. (1995). Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans[J]. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 1995, 71(2): 137-142.
- [39] Buroker, K. J., & Schwane, J. A. Does postexercise static stretching (stch) alleviate exercise-induced delayed muscle soreness (ms)?[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19(1997)(Supplement), 1987(216).
- [40] Wolfe, S. A. Effects of prolonged l-carnitine administration on delayed muscle pain and ck release after eccentric effort[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 1996, 17(5): 320-324.

作者简介：刘波（1993—），男，汉族，江西萍乡人，硕士，中级职称，萍乡市第六中学，研究方向：体育教学与训练；廖金玉（1992—），女，汉族，江西赣州人，本科，初级职称，安源区白源街中心学校，研究方向：体育教学与训练；胡华东（1987—），男，汉族，四川人，本科，学生队辅导员，中国民用航空飞行学院航空安全保卫学院，研究方向：体育学科。