

运动性疲劳的产生机制及恢复方法研究

曾玉婷

(湖北大学 体育学院, 湖北 武汉 430062)

摘要: 运动性疲劳是运动员在训练中发生的一种生理性现象, 是一种预防性的保护反应, 防止身体的过度消耗或使身体的功能发生损耗。适度疲劳是运动成绩提高的前提, 如果进行积极的恢复可获得超量恢复的效果, 这将有利于运动员整体的运动进度和训练水平的提高。本文对运动性疲劳和恢复相关的研究内容进行了整理与分析, 以期与研究运动疲劳和恢复的相关问题提供参考。

关键词: 运动性疲劳; 疲劳恢复; 过度训练

Research Progress of Sports Fatigue

ZENG Yu-ting

(School of Physical Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: Sports fatigue is a physiological phenomenon that often occurs in the process of physical exercise or training. It is a preventive protective response to prevent fatigue or loss of body function caused by excessive physical consumption. Moderate fatigue is the premise of improving sports performance. If we carry out positive recovery, we can obtain the effect of excessive recovery, which will be conducive to the improvement of athletes' overall sports progress and training level. This paper arranges and analyzes the research contents related to sports fatigue and recovery, in order to provide reference for the research of sports fatigue and recovery.

Key words: Sports fatigue; Fatigue recovery; Overtraining

1 引言

从体育训练的本质上来说, 运动恢复是必须的训练内容要求, 训练和增强的本质是疲劳和恢复之间进行的交替。随着疲劳与恢复的交替进行, 训练者的运动水平逐渐提高, 成绩日益优秀。体育运动的恢复也是运动员不断调整自己状态的有效手段, 并能有效缓解身体和精神上的双重压力, 所以运动性疲劳的恢复是运动员有效保护自己, 并避免受伤的良好手段。

本文查阅湖北大学图书馆, 采集关于运动性疲劳的产生机制和恢复方法的相关内容; 以“运动性疲劳和恢复”为关键词进行搜索查找 2010 年—2021 年的相关文献, 对所获内容进行归纳与整理对得到结果进行总结与分析。

2 运动性疲劳的定义

对于运动疲劳, 在运动科学领域, 1983 年至今比较主流或经典的概念是: 在运动过程中, 当机体生理过程不能继续保持在特定水平上进行和 / 或不能维持预定的运动强度时, 即可称之为运动性疲劳。近年来越来越多学者对运动性疲劳做出了较为合理化和全面化的定义与解释, 他们认为运动性疲劳是在机体生理疲劳与自身感知疲劳的统一, 疲劳被概念化为一种致残症状, 在这种症状中, 表现疲劳和感知疲劳影响着机体和认知功能^[1, 2]。

分类学说中认为疲劳的概念应由两个属性组成: 一是生理性能疲乏性—测试人员因疲劳在一段不连续的时

间内容客观衡量指标性能的下降,即与所相对应的衡量标准相比出现的差异,这主要因为肌肉收缩和中枢神经系统调节肌肉运行的能力。二是自身感知的疲劳性—调节测试人员对于感觉变化的完整程度,即自身感觉变化与初始值之间的差异,这主要取决于机体自身的心理状态变化和内环境的稳定的保持。Kluger等人认为疲劳是指一个人相对于产生疲劳的任务的需求所报告的疲劳度,以使疲劳水平正常化^[1]。而Enoka和Duchateau认为疲劳是一种症状,可以通过报告其自身的疲劳性能特性和状态变化来体现,因此提供对疲劳定义的进一步说明:“疲劳是基于生理疲劳和认知疲劳的整合,使机体出现一种失能的状态”^[2]。

学者只是对运动性疲劳进行概念化的定义与解释,而没有实践性的数据对其理论进行支撑。正如美国运动医学院2015年年会上的演讲表明,人们对疲劳对人类表现所产生的影响知之甚少,造成这种情况的主要原因有两点:一是现有术语无法适应条件的范围,归因于疲劳;二是缺乏实证模型。

3 产生机制

现在关于运动性疲劳的产生机制的研究没有一个统一的定性与结论,然而,随着科学的进步与发展,简单的能量消耗或代谢产物的堆积不足以对运动性疲劳的产生机制进行解释,进而演变为对多链路,综合效应的理解。

3.1 传统学说

1) “堵塞”学说

在人体运动期间,因为能量代谢活性的增加使一些代谢产物的积累不能及时排除,从而使肌肉工作能力减弱。乳酸是当前研究最多的物质,乳酸的堆积引起的疲劳可通过多个路径产生。由于剧烈的无氧运动使体内的平衡系统被打乱,使糖原消耗、蛋白质和氨基酸的代谢能力增强,降低了体内糖的存在和过多消耗,使血液中乳酸值增强,在肌肉中产生堆积,随着其数量的不断增加,使尿素的产量增加,导致肌肉中氢离子浓度的升高,PH值产生持续下降,让训练者处在酸性环境下^[3,4]。这将妨碍神经—肌肉结点有效传递兴奋性,从而使肌肉不能及时给出相应反应;从另一方面来说,体内积蓄了大量的乳酸和其他堆积代谢产物的话,磷脂果糖激酶的活性就会被阻碍,从而阻碍了整个糖酵解过程,ATP生合成速度下降,导致能量供给不足^[5]。

乳酸的堆积是导致运动性疲劳发生的主要因素,只有解决乳酸堆积的问题,使清除代谢产物的速率增加,才能提高运动者的积极性,促进运动性疲劳恢复。而乳酸的堆积大多出现在剧烈的无氧运动中,学者应该更全

面地对各种强度的运动性疲劳产生的原因进行分析。

2) “衰竭”学说

疲劳的能量消耗在不同的运动条件下是不同的。在运动的强度过高并且时间较短时,肌肉的ATP-CP和其他高能磷酸物含量的减少直接导致运动性疲劳的产生。在运动的强度中等时间过长时,葡萄糖为主要的消耗物,随着时间的继续增加,肌肉糖原和肝脏糖原的产生酵解,血液中葡萄糖浓度减少,影响神经系统功能,同时引起各种器官和系统功能的降低,使身体不能维持预定的强度,从而引起运动性疲劳^[6,7],祝自新在实验中发现力竭SD大鼠的肌肉糖原和血液中葡萄糖含量明显减少($p<0.05$)^[8]。运动的时间过长时,导致运动性疲劳发生的主要原因是脂肪能量的减弱。

糖原是保持机体进行长时间运动的主要消耗物,根据该理论来判断,长时间运动使糖原含量明显减少,从而产生运动性疲劳,而及时补充糖类物质可以促进疲劳的恢复。该理论的可以更全面的分析碳水化合物、蛋白质和其他微量元素对于运动性疲劳的促进作用。

3) 内环境稳定性失调学说

疲劳是由于PH值的降低,水盐类代谢的变化和血浆渗透性的变化而产生,剧烈运动中血液中PH值下降^[9]会使蛋白酶的活性被抑制,破坏免疫球蛋白,影响人体的免疫系统,使人体的抵抗力下降,降低人体免疫力^[10]。美国哈佛大学的疲劳研究所报告说,在高温下工作的劳动者因为过度出汗而不能工作。但是,喝0.04~0.14%氯化钠溶液可以克服疲劳。

当运动性疲劳产生使人体免疫力下降时,及时补充氯化钠溶液可以克服疲劳,该理论的不足之处在于只是单一地从免疫力方面来解释运动性疲劳,当人体感冒发烧脱水时也需要补充氯化钠溶液,所以免疫力只是运动性疲劳产生的因素之一,没有进行全面的解释。

4) 突变学说

根据变化理论来说,肌肉疲劳是由能量消耗、强度和兴奋性或活动性损失的改变引起的。

运动性疲劳的产生是体内多个环节共同参与的综合反应,存在着不同途径的衰减突变过程,避免了用单一的指标对运动性疲劳进行评定^[11,12]。

运动性疲劳的产生和能量代谢,肌肉力,兴奋性或活性的角度相关,改变了单个指标来研究运动疲劳的缺点,具有一定的借鉴意义。

5) “自由基损伤学说”

自由基是指外层电子轨道具有非成对电子的基团。主要包括氧自由基、羟自由基、过氧化氢及单线态氧等。由于自由基化学性质较为活泼,可与机体内糖类、核酸、

蛋白质和脂类等物质进行反应, 因此自由基能破坏细胞的结构, 并造成细胞功能的降低。

抗氧化防御功能的降低会在运动过程中出现, 这和自由基清除具有相关性。如超氧化物歧化酶(SOD)的减少, 这将有利于自由基冲击细胞膜结构, 破坏其功能^[13]。体内自由基生成的速率大于抗氧化酶系统清除自由基的速率时, 会使细胞膜的完整性受损以及细胞膜流动性下降, 从而使肌肉的兴奋性降低、产生溶血功能障碍、削弱有氧能力等诸多机体反应^[14], 还会致中枢乙酰胆碱(Ach)浓度下降, 从而导致运动疲劳^[15]。

自由基、钙超载、脑组织缺血缺氧等均可综上所述, 学者认为自由基的出现会破坏细胞结构, 从而使运动性疲劳出现, 该理论学者涉及到了运动身体性疲劳和心理性疲劳这两方面, 不足之处在于两者的结合性不强, 有的学者只是单一的分析身体性疲劳或心理性疲劳, 在日后的研究中可以加强二者的结合。

6) 中枢性疲劳理论

Jochen Baumeister 认为人的运动控制是建立在感觉刺激、中枢神经系统(CNS)信息处理和运动行为之间的动态相互作用的基础上。疲劳状态会影响到运动行为的精确性^[16]。

王霆等人在分析优秀射箭运动员的中枢疲劳中认为运动员的各个部分(如肌肉)活动都受中枢神经(运动神经)支配, 所以, 将肌肉疲劳也归咎于中枢神经系统疲劳引起^[17]。杨东升等人在实验中发现大鼠力竭运动过程中功率谱重心频率的变化与其运动能力行为学表现具有较强的相关性, 中枢神经系统兴奋性的下降可能主要导致了运动能力的降低^[18]。有学者通过小鼠研究发现皮层一纹状体通路突触可塑性异常可能是运动疲劳发生或维持的机制之一, 进一步细化了中枢疲劳理论^[19]。

肌肉疲劳与中枢疲劳有密切的相关性, 中枢疲劳使运动者缺乏运动的动机, 使其兴奋性下降, 从而降低运动能力与表现。根据该理论, 运动性疲劳的恢复中提高中枢系统的兴奋性是一个关键部分。

7) 其他理论

有学者在研究中指出当机体出现疲劳时候, 人的本体感觉出现偏差, 是造成损伤的一大诱因^[20, 21]。但是关于此方法的研究较少, 存在着争议。

4 恢复方法

近年来, 多种多样的关于疲劳恢复方法和手段油然而生, 主要分为营养学方法、药理学方法、物理学方法和心理学方法四个部分来进行总结归纳。

4.1 营养学方法

有学者进行的小鼠研究实验发现: 维生素C和维生素B复合体及其组合大大延长了小鼠的力竭游泳时间, 可以有效减少运动中小鼠的乳酸含量, 但是联合效果更加明显。根据实验结果可以推断, 维生素C和维生素B复合体可以提高乳酸脱氢酶的活性, 并且可以提高肝糖的备用能力, 从而促进疲劳的恢复^[5]。而糖原、蛋白质、氨基酸、脂肪、无机盐、水、维生素、碳水化合物、磷酸盐等能量物质的辅助, 也可以有效减轻运动引发的疲劳^[22]。

在进行营养补充时要考虑到运动项目的不同特点, 合理膳食, 按照不同的比例和时间进行补充。

4.2 药理学方法

补充高剂量紫芝多糖粉对SD大鼠运动性能和抗运动负载疲劳的影响最好, 并且在一定范围内具有量化反应关系^[8]。当归红花汤能有效改善小鼠在糖酵解供能条件下所导致的运动性疲劳, 并提高小鼠的耐缺氧、抗疲劳和无氧运动能力^[23]。三仙汤能改善大鼠的抗运动性疲劳能力, 促进疲劳恢复^[24]。高F值玉米肽加速实验大鼠血乳酸的清除, 增加力竭运动时间, 提高运动能力^[25, 26]。

中药对于消除运动性疲劳具有促进作用, 但是学者的研究大多是在鼠类动物身上进行的实验, 对于人体运动性疲劳的促进作用尚不明确。而且体育界对于药物的取用含有一些争议, 因此用药需谨慎, 尽量应服用一些天然成分的药物, 不能服用含有兴奋剂成分的药物, 尤其是参加奥运会等国际赛事的专业运动员。

4.3 物理学方法

睡眠和休息; 温(热)浴; 针灸; 按摩等。

冷热交换技术能缓解运动疲劳, 使运动表现能力增强^[27]。按摩、水疗、针灸对于缓解运动后疲劳具有较好效果^[28]。在竞技举重训练导致的运动性疲劳恢复中合理进行中医刮痧干预治疗, 能提升运动员的恢复效果, 体现为自主神经调节中副交感神经活动明显增强; 中医刮痧干预还可提高运动员的睡眠质量, 从而提升抗运动性疲劳效果^[29]。

物理学方法可以促进机体的血液循环和新陈代谢, 加速代谢产物的排出, 使肌肉和大脑神经得到放松, 还能提高机体氧储备量。所以我们需要合理安排训练计划, 训练与休息放松相结合, 这样才能促进运动性疲劳的恢复, 更好地提高运动成绩。

4.4 心理学方法

音乐渐进放松联合音乐心率训练法, 更有助于心血管系统、中枢神经系统和心理状态的恢复, 且简便, 有

于推广使用^[30]。而潜意识的音乐疗法有着更好的调节呼吸、促进机体代谢、缓解物理和精神紧张的运动引发的疲劳恢复的效果^[31]。音乐能增加运动者的积极性,降低运动者的乳酸堆积,缩短机体的恢复时间,能够很好地调节身体和精神^[32]。音乐能有效延长跑步时间,延迟参与锻炼者主观疲劳感的感受,觉醒并激发参加者的积极感情,促进其积极参加体育运动,具有改善主观疲劳和主观情绪的效果^[33]。音乐有利于心血管系统、中枢神经系统、呼吸系统和心理状态的恢复,在音乐的选择上要与个人的喜好、不同的运动特点和时间相结合,如运动中可以用急促的音乐来提高自己的运动积极性,运动后可以用舒缓的音乐来放松自己,从而起到延缓主观疲劳的作用。

有学者通过实验研究发现瑜伽疗法对与运动性心理疲劳有良好的促进作用:瑜伽可以减轻篮球运动员^[34]和田径中长跑运动员^[35, 36]训练后的血乳酸水平,减轻运动员的心理疲劳,优化运动员训练后的心境状态。瑜伽还对拉丁舞者^[37]、足球运动员^[38]、滑冰运动员^[39]、标枪运动员^[40]、赛艇运动员^[41]的运动性心理疲劳有良好的促进作用,并能加强运动员的专项能力。

有学者通过实验发现PNF从本体感觉、心理角度和自我感觉上都能对运动性疲劳起到很好的干预效果^[20, 21]。拉伸对于运动员的心理疲劳恢复具有良好的促进作用,并能使运动员的训练水平提高,所以训练与放松需要结合起来,只有将运动员的心理疲劳重视起来,才能显著提高其训练成绩。

5 讨论

当前,关于运动引发疲劳的机制没有一致的结论,缺乏与实践相结合的实用性研究,一部分恢复手段的实验对象为小鼠,脱离了运动员。对运动员体内抗氧化剂补充的研究并未针对不同项目,规划不同的恢复方法。应该结合当前运动训练中的体能训练计划、运动员身体机能的监控与评定、营养的补充和预防过度训练等因素相结合,在研究中创建出一套实用的评定指标方法。

体育补剂的立法应该更加明确,一些具有抗疲劳性质的中药虽然没有禁用,但未来的前景未知。在服用补剂和传统中药进行恢复时,运动员需要适量服用、依法服用,否则会损害身体健康,得不偿失。对于外周疲劳的恢复研究重复性研究过多,对于中枢疲劳的恢复研究过少。心理治疗在消除疲劳的过程中是不可忽视的。在体育训练中,运动员的神经能量消耗大于身体能量消耗,应该考虑身体和心理的恢复。体育锻炼后,运动员可以调整大脑皮层,通过语言、建议、诱导等方法加速消除疲劳。

参考文献

- [1] Kluger B M, Krupp L B, Enoka R M. Fatigue and fatigability in neurologic illnesses proposal for a unified taxonomy [J]. *Neurology*, 2013, 80 (4): 409-416.
- [2] Enoka R M, Duchateau J. Translating fatigue to human performance [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, 48 (11): 2228-2238.
- [3] 王昊. 高山红景天总苷对运动性疲劳大鼠中枢系统单胺类神经递质影响的研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2011.
- [4] 韩宇, 刘思琪, 郑璇, 等. 维生素 C 和 B 族维生素复合体对小鼠运动性疲劳的影响 [J]. *中国西部科技*, 2015, 14 (12): 92-95.
- [5] 苑伟, 李士博, 马迎春, 等. 红景天纳米粉对小鼠抗缺氧和抗疲劳作用的实验研究 [J]. *西北药学杂志*, 2011, 26 (2): 122-123.
- [6] 关鑫. 红景天的临床功效与药理作用研究 [J]. *中国医药导报*, 2010, 7 (32): 14+18.
- [7] 盖磊煜, 郑秀海. 红景天对运动性疲劳小鼠中枢神经系统神经递质变化的影响 [J]. *中国医学创新*, 2016, 13 (25): 15-18.
- [8] 祝自新. 紫芝在力竭大鼠抗运动性疲劳和抗组织损伤中的作用 [J]. *体育科学*, 2012, 32 (9): 75-80.
- [9] 胡光星, 张焕峰. 中药黄芪的药理及临床应用价值分析 [J]. *临床医药文献电子杂志*, 2019, 6 (93): 166+169.
- [10] 张梅. 运动疲劳训练对大鼠海马 NOS 活性的影响及中药的干预作用研究 [J]. *辽宁中医药大学学报*, 2011, 13 (3): 188-190.
- [11] 蔡明明, 王蕴红, 张冰, 等. 六味地黄汤抗大鼠运动性疲劳实验研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2007 (1): 56-59.
- [12] 陈松海, 刘秋琼, 麦颖娟, 等. 六味地黄汤对运动性疲劳小鼠的作用及血清乳酸、睾酮的影响 [J]. *中药材*, 2011, 34 (11): 1769-1770.
- [13] 王丛笑, 方素萍, 马丽华, 等. 理气调补汤对运动性疲劳大鼠血清 β 内啡肽和白细胞介素 2 影响的研究 [J]. *现代生物医学进展*, 2010, 10 (4): 646-648.
- [14] 张彩, 徐划萍. 柴胡疏肝散抗小鼠运动性疲劳的拆方研究 [J]. *中华中医药学刊*, 2011, 29 (9): 2049-2051.
- [15] 邹妍苇. 黄芪总皂苷抗运动性疲劳的作用及其机制研究 [D]. 江西科技师范大学, 2019.
- [16] Baumeister J, Reinecke K, Schubert M, et al.

Effects of induced fatigue on brain activity during sensorimotor control [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112 (7): 2475-2482.

[17] 王霆, 王德堃, 邓兴国. 脑电非线性动力学分析在优秀射箭运动员中枢疲劳研究中的应用[J]. *体育科学*, 2010, 30 (2): 64-69+82.

[18] 杨东升, 刘晓莉, 乔德才. 大鼠运动性疲劳形成和恢复过程ECoG的动态研究[J]. *体育科学*, 2012, 32 (4): 53-59.

[19] 马婧, 陈慧敏, 刘晓莉, 等. CB1受体参与运动疲劳损害小鼠皮层-纹状体通路eCB-LTD的调节[J]. *体育科学*, 2018, 38 (3): 27-33.

[20] 张硕, 陈苏英. PNF技术对运动性疲劳恢复的影响研究[J]. *当代体育科技*, 2021, 11 (9): 38-41.

[21] 徐建武, 陈克梦, 马馨, 等. PNF拉伸对机体局部大负荷运动后快速恢复的效果[J]. *中国运动医学杂志*, 2015 (10): 962-966+954.

[22] 苏志超. 马拉松运动性疲劳的恢复[J]. *体育世界(学术版)*, 2017 (8): 169-170.

[23] 蒋丽, 殷劲. 当归红花汤对糖酵解供能条件下力竭性游泳训练小鼠耐缺氧能力、抗疲劳能力的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2013, 33 (18): 4492-4494.

[24] 高天宇. 三仙汤对小鼠运动性疲劳影响的实验研究[D]. 哈尔滨体育学院, 2019.

[25] 张海欣, 陈亮, 金振涛, 等. 普通玉米肽与高F值玉米肽抗氧化能力比较研究[J]. *食品科技*, 2015 (7): 177-180.

[26] 贾绍辉. 高F值玉米肽通过改善骨骼肌线粒体功能提高机体抗运动疲劳能力[C]//第十一届全国体育科学大会, 2019.

[27] 王润极. 冷疗对不同项目类型运动员运动疲劳恢复效果的对比研究[D]. 首都体育学院, 2017.

[28] 胡武清. 针灸疗法消除运动性疲劳与其它疗法的比较[J]. *体育世界(学术版)*, 2020 (3): 176+51.

[29] 王兴泽, 于杰, 陈佩杰. 基于心率变异性监测中

医刮痧抗运动性疲劳的效果[J]. *上海体育学院学报*, 2021, 45 (7): 76-83.

[30] 王法涛, 李时慧. 音乐渐进放松配合音乐心率训练对运动性疲劳消除的研究[J]. *中国体育科技*, 2012, 48 (4): 108-112+136.

[31] 赵亮. 潜意识音乐疗法对运动性疲劳消除的研究[C]//第六届中国音乐家协会音乐心理学学会学术研讨会论文集. 2017.

[32] 王铁栓. 音乐类型和运动强度对低心肺耐力大学生运动疲劳的影响[D]. 河北师范大学, 2018.

[33] 肖世成. 音乐类型与运动时间对低心肺耐力大学生运动疲劳的影响[D]. 河北师范大学, 2019.

[34] 张惠. 瑜伽在篮球运动员大强度训练后疲劳恢复的实验研究[D]. 吉林体育学院, 2017.

[35] 王蕾, 伊兴峰. 瑜伽在中长跑恢复训练中的运用[J]. *佳木斯大学社会科学学报*, 2011, 29 (5): 168-170.

[36] 胡伟. 瑜伽在中学生中长跑恢复训练中的应用研究——以娄底市一中校田径运动队为例[D]. 广州体育学院, 2017.

[37] 高洁. 瑜伽对拉丁舞运动疲劳恢复作用的实验研究[D]. 西安体育学院, 2015.

[38] 丁志远. 瑜伽对足球运动性疲劳恢复的研究[J]. *科技展望*, 2016 (5): 278.

[39] 马娜. 瑜伽放松术在速度滑冰疲劳恢复训练中的实验研究[D]. 东北师范大学, 2014.

[40] 邹朝顺. 瑜伽对消除标枪运动员运动疲劳的效果的实验研究[D]. 广州体育学院, 2019.

[41] 单清华. 瑜伽训练对赛艇运动员功能动作能力与划船技术的影响[J]. *山东体育科技*, 2015, 37 (3): 62-66.